

Gestion des Adventices des Principales Cultures du Maroc

Mohamed BOUHACHE & Abdelkader TALEB (Ed)



Association Marocaine de Protection des Plantes



Gestion des Adventices des Principales Cultures du Maroc

Mohamed BOUHACHE & Abdelkader TALEB (Editeurs)

**Ex-Professeurs à l'Institut Agronomique et
Vétérinaire Hassan II, Rabat**

**Première édition
2022**

Association Marocaine de Protection des Plantes

**B. P. 6475, Rabat-Instituts, Maroc
Site Web: www.amppmaroc.org,
E-mail: amppmaroc@gmail.com**

Imprimerie Dar Al Qalam
Bloc P, Avenue Annour – Rabat –Maroc
E-mail: daralkalam@yahoo.fr
Site Web: www.darlqalam.ma
Tél: 05 37 29 94 90

Dépôt Légal: 2022MO1792
ISBN: 978-9954-582-04-6
Mai 2022

Tous droits réservés. Toute reproduction même partielle est interdite sans l'autorisation des auteurs.

SOMMAIRE

Préface	7
Avant-propos	9
Liste des contributeurs	11
Abréviations et sigles	12

PREMIERE PARTIE: GESTION DES ADVENTICES DES PRINCIPALES CULTURES

Introduction générale: enjeux et défis de la gestion des adventices	15
1. Importance de l'agriculture au Maroc	15
2. Voies d'amélioration de la couverture des besoins	16
3. Changement climatique et gestion des adventices	20
4. Biotechnologies et gestion des adventices	21
5. Nouvelles technologies et gestion des adventices	24
6. Conclusion	25
Caractérisation de la flore adventice du Maroc	29
1. Introduction	29
2. Caractérisation globale	29
3. Principales adventices problématiques	32
4. Conclusion	36
Gestion des adventices des céréales d'automne	39
1. Introduction	39
2. Caractérisation de la flore adventice	40
3. Impact des adventices sur les céréales	44
4. Période critique de désherbage du blé	45
5. Gestion des adventices	45
6. Conclusion	53
Gestion des adventices du maïs	57
1. Introduction	57
2. Caractérisation de la flore adventice	59
3. Impact de la flore adventice sur le maïs	61
4. Période critique de désherbage du maïs	62
5. Gestion des adventices	64
6. Conclusion	71
Gestion des adventices des rizières	75
1. Introduction	75
2. Caractérisation de la flore adventice	77
3. Impact de la flore adventice sur le riz	78
4. Période critique de désherbage du riz	80
5. Gestion des adventices	81
6. Résistance des adventices aux herbicides	85
7. Conclusion	87
Gestion des adventices des légumineuses alimentaires	91
1. Introduction	91
2. Caractérisation de la flore adventice	93
3. Impact des adventices sur les légumineuses alimentaires	94
4. Gestion des adventices	95
5. Conclusion	104

Gestion des adventices de la betterave à sucre	109
1. Introduction	109
2. Caractérisation de la flore adventice	110
3. Impact de la flore adventice sur la betterave à sucre	115
4. Période critique de désherbage de la betterave à sucre	118
5. Gestion des adventices	120
6. Conclusion	126
Gestion des adventices de la canne à sucre	131
1. Introduction	131
2. Caractérisation de la flore adventice	132
3. Impact des adventices sur la culture	133
4. Période critique de désherbage de la canne	134
5. Gestion des adventices	134
6. Conclusion	139
Gestion des adventices du tournesol	141
1. Introduction	141
2. Caractérisation de la flore adventice	142
3. Impact de la flore adventice sur le tournesol	145
4. Période critique de désherbage du tournesol	146
5. Gestion des adventices	146
6. Conclusion	149
Gestion des adventices du colza	153
1. Introduction	153
2. Caractérisation de la flore adventice	154
3. Impact de la flore adventice sur le colza	156
4. Gestion des adventices du colza	159
5. Conclusion	167
Gestion des adventices de l'arachide	173
1. Introduction	173
2. Caractérisation de la flore adventice	174
3. Impact des adventices sur l'arachide	175
4. Gestion de la flore adventice	175
5. Conclusion	178
Gestion des adventices de la vigne	181
1. Introduction	181
2. Caractérisation de la flore adventice	183
3. Impact de la flore adventice sur la vigne	185
4. Période critique de désherbage	187
5. Gestion des adventices	187
6. Conclusion	196
Gestion des adventices des vergers d'agrumes	201
1. Introduction	201
2. Caractérisation de la flore adventice	202
3. Impact des adventices sur les agrumes	208
4. Gestion des adventices dans les vergers d'agrumes	209
5. Conclusion	213

DEUXIEME PARTIE: GESTION DES PROBLEMES PARTICULIERS

Gestion des adventices en agriculture de conservation	219
1. Introduction	219
2. Agriculture de conservation: définition et concept	219
3. Evolution, atouts et tendances de l'agriculture de conservation dans le monde	221
4. Agriculture de conservation au Maroc: facteurs et enjeux de transition	223
5. Problématique des mauvaises herbes en semis direct	225
6. Gestion des mauvaises herbes en semis direct	232
7. Conclusion	235
Gestion des plantes parasites: cas de l'orobanche et de la cuscute	241
1. Introduction	241
2. Orobanche	241
3. Cuscute	252
4. Conclusion	257
Gestion des adventices vivaces	263
1. Introduction	263
2. Caractérisation de la flore adventice vivace	263
3. Nuisibilité des adventices vivaces	264
4. Eléments biologiques clés des adventices vivaces	267
5. Gestion des adventices vivaces	276
6. Conclusion	282
Gestion des plantes exotiques envahissantes	287
1. Définition et concepts	287
2. Plantes exotiques envahissantes du Maroc	288
3. Impacts des plantes exotiques envahissantes	290
4. Processus d'invasion	293
5. Gestion des plantes exotiques envahissantes	298
6. Conclusion	302

TROISIEME PARTIE: BONNES PRATIQUES DE DESHERBAGE

Utilisation des herbicides et environnement	309
1. Bref historique des herbicides	309
2. Importance d'utilisation des herbicides au Maroc	309
3. Homologation des herbicides	311
4. Evaluation à posteriori des risques des herbicides	312
5. Conclusion	321
Bonnes pratiques en matière d'utilisation des herbicides	325
1. Introduction	325
2. But et exigences de la lutte chimique	326
3. Démarche générale applicable sur le terrain	326
4. Choix de l'herbicide et mise en œuvre de techniques de lutte	326
5. Facteurs actifs du milieu sur les herbicides	329
6. Conditions de réussite de l'application des herbicides	331
7. Devenir des herbicides dans le milieu	332
8. Rotation des herbicides	332
9. Précautions d'emploi des herbicides	333
10. Conclusion	333

Page laissée vierge

Préface

Avec la parution du présent ouvrage collectif, une grande nouvelle étape vient d'être franchie dans le domaine de la gestion des adventices ou des mauvaises herbes. Ainsi, les professionnels de la protection des plantes, les ingénieurs agronomes et/ou phytiatres, les techniciens et exploitants agricoles disposeront désormais d'un recueil de connaissances techniques et d'approches pratiques pour faire face aux mauvaises herbes associées aux plantes cultivées au Maroc. C'est aussi un précieux outil de travail pour les jeunes étudiants en formation agricole auxquels cet ouvrage fournit beaucoup de connaissances recherchées à travers une bibliographie éparse et demandant de longues heures d'investigation et/ou de fouille.

Ce livre se propose de donner une synthèse des résultats obtenus principalement au cours de trente à quarante dernières années de collaboration entre enseignants, ingénieurs et chercheurs dans le domaine de la protection des végétaux en général et particulièrement dans le domaine de la malherbologie. Le mérite de tant de qualités, pour un ouvrage concis, consacré au vaste domaine de la malherbologie, revient à une équipe de chercheurs et d'enseignants membres de l'AMPP et sous l'œil vaillant des Professeurs BOUHACHE et TALEB auxquels nous adressons nos vives félicitations pour la réussite d'un tel défi.

Au sein de l'AMPP, nous sommes persuadés que cet œuvre, qui est aussi le fruit d'une étroite collaboration entre plusieurs spécialistes de divers départements de l'agriculture du Royaume du Maroc, contribuera à améliorer le niveau et/ou la qualité de la gestion des mauvaises herbes des cultures, et par conséquent, la production végétale au Maroc. A titre d'exemple, dans une agriculture traditionnelle ou vivrière, le désherbage manuel absorbe couramment du temps et de l'énergie et ce depuis la préparation du terrain jusqu'à la récolte. L'introduction des herbicides dans la pratique agricole a donc permis la libération des personnes pour faire autre chose que le désherbage et des gains de temps considérables avec l'abandon de l'intervention manuelle au profit de l'intervention chimique (traitement avec pulvérisateur).

Actuellement, le désherbage des cultures est une nécessité, non seulement à cause des baisses de rendement dues à la concurrence exercée par les mauvaises herbes, mais aussi parce que la présence de plantes indésirables affecte la qualité des récoltes, bien sûr le désherbage chimique des cultures a véritablement bouleversé les anciennes pratiques (culturelle, désherbage manuel, désherbage mécanique, pâturage, etc.). Aussi, l'intensification récente des systèmes de production agricole, avec l'introduction de la monoculture et les variétés hautement sélectionnées pour leur rendement, le succès généralisé de la lutte chimique induisait l'apparition de phénomènes de résistance qui impose des efforts techniques pour limiter le cortège des espèces résistantes. En même temps, une attention particulière doit être faite en face de l'intensification des échanges intercontinentaux de produits végétaux favorisant, en outre, surtout les introductions malencontreuses de nouvelles espèces végétales et/ou animales (e.g. graines d'espèces exogènes).

Ce qui fait plaisir dans notre métier (protection des plantes); depuis un bon bout de temps; avec la participation et/ou la collaboration sur le terrain de nos spécialistes (enseignants, chercheurs, conseillers et les professionnels), beaucoup de problèmes de désherbage ont reçu des solutions plus ou moins satisfaisantes, et on tend à viser des cultures encadrées et des cibles plus précises. Les utilisateurs agriculteurs en général, et ceux des zones irriguées ou à pluviométrie élevée en particulier sont préoccupés tout particulièrement par l'utilisation optimale des produits disponibles, et comme dans tout combat, c'est la parfaite connaissance de l'ennemi qui est garante de la victoire car de meilleures connaissances dans ce domaine peuvent déboucher sur une efficacité accrue et une diminution des risques de phytotoxicité sur les cultures à protéger.

Avec le cumule de leurs expériences sur le terrain et par la surveillance sanitaire des cultures, nos spécialistes viennent aujourd'hui mettre leurs savoir-faire dans cet ouvrage collectif pour qu'il soit diffusé auprès de tous les agents concernés par les aspects traités ou présentés (information tirée d'observations au champ ou d'études réalisées sur le terrain; aux laboratoires ou dans les stations expérimentales). Le nombre et la qualité des thèmes abordés ainsi que les illustrations qui accompagnent chaque sujet traité témoignent du souci constant de l'AMPP pour mettre à la portée des professionnels et des producteurs-agriculteurs des connaissances et des moyens exploitables à leur portée. Il offre aux formateurs et aux praticiens des bases méthodologiques et des connaissances pratiques leur permettant une vision plus large, plus dynamique et plus efficace de la lutte contre les adventices en matière de défense des cultures. Il constitue aussi un élément de réflexion et d'organisation du plus grand intérêt pour les praticiens ainsi que pour tous les agriculteurs.

Au terme de cet ouvrage intitulé « **Gestion des adventices des principales cultures du Maroc** », nous tenons à exprimer toute notre gratitude à l'équipe marocaine de Malherbologiste et/ou de phytiares animée et coordonnée par les professeurs Bouhache et Taleb. Ils ont eu, en effet, la sagesse d'équilibrer leurs propos les plus avancés par une approche agronomique des problèmes faisant largement appel à tous les collègues spécialistes chacun dans le domaine qu'il perfectionne en matière de technique de gestion et de lutte contre les mauvaises herbes.

L'AMPP fidèle à sa mission, a voulu répondre depuis sa création il y a une trentaine d'années à ces exigences; il l'a fait en adaptant progressivement le niveau général de ses activités, a organisé et développé la communication pour permettre à ces derniers de s'adapter aux évolutions des conditions de production et de commercialisation. En premier lieu, elle s'adresse aux étudiants et aux enseignants du secteur de l'enseignement technique agricole, long et supérieur et de la formation professionnelle. Pour les différentes filières de production agricole, elle leur apporte, de façon raisonnée, des références scientifiques et techniques nécessaires à leur réflexion et à l'enseignement en matière de malherbologie.

Notre objectif, dans cet ouvrage, est d'identifier des voies d'innovation pertinentes et de clarifier les contributions que peuvent apporter les différents acteurs pour permettre le transfert du savoir auprès des agriculteurs – producteurs chacun dans son domaine de production. L'AMPP se tient à votre disposition pour accomplir la mission principale de son existence à savoir la diffusion des connaissances en matière de la protection des plantes.

Mohamed MIHI
Président de l'AMPP

Avant-propos

L'un des grands défis de l'agriculture contemporaine (ailleurs et au Maroc) est de produire plus avec moins d'énergie et/ou d'intrants pour répondre aux besoins alimentaires d'une population qui ne cesse de croître tout en préservant au maximum l'environnement. Le gain de ce pari passe inéluctablement, entre autres, par une utilisation raisonnée des facteurs de production et par le contrôle des ennemis des cultures y compris les mauvaises herbes. Etant subjectif et relatif, le concept de mauvaise herbe ou d'adventice renferme une facette de nuisibilités directe ou indirecte vis-à-vis des cultures, de l'Homme, des animaux et d'autres milieux nécessaires aux activités humaines.

Les mauvaises herbes (ou plantes indésirables là où elles se trouvent) sont considérées comme l'une des contraintes biologiques et/ou techniques à l'amélioration des rendements des cultures, au moment où il est demandé aux agriculteurs d'augmenter la productivité des cultures sur des superficies cultivables limitées et dans un contexte devenu de plus en plus difficile, hostile et précaire. L'augmentation des productions agricoles végétales et animales est une nécessité pour notre survie, tandis que le climat change et devient de plus en plus imprévisible et hostile à cause du réchauffement planétaire. Par conséquent, les ressources en sol et en eau continuent à être réduites et/ou détériorées quantitativement et qualitativement. Ce contexte de production est encore plus compliqué et hostile à cause de l'émergence du phénomène d'invasion biologique et des limites relevées chez certaines méthodes de lutte actuellement utilisées par les agriculteurs notamment le phénomène de résistance des adventices aux herbicides.

Une gestion réussie des mauvaises herbes permet de limiter leur impact négatif, conserver le potentiel de production des cultures (quantité et qualité) et de limiter les risques de ré-enherbement des parcelles et l'enrichissement du stock grainier des sols en semences des adventices pour les cultures suivantes ou les cultures des parcelles voisines. La gestion à long terme des mauvaises herbes est un enjeu principal de la durabilité des systèmes de production. La nature ne fait pas de distinction entre les bonnes et les mauvaises herbes, mais ce qualificatif s'acquiert dans un contexte particulier et à une échelle donnée. La conception d'une telle gestion nécessite une connaissance approfondie des communautés adventices (composition floristique, diversité, écologie, biologie des espèces qui les composent, etc.) et des méthodes de lutte (principes, avantages et inconvénients).

Plus de trois décennies que les malherbologistes marocains essayaient de fournir les connaissances fondamentales ou/et pratiques nécessaires pour réussir la gestion des adventices des principales cultures pratiquées dans les différentes régions du pays. Cependant, une grande partie de cette information reste classée dans les thèses, les mémoires de fin d'études ou les rapports de promotion de carrière ou dans les rapports d'activité des organismes concernés. L'autre partie est diffusée sous forme d'articles dans des revues scientifiques nationales, internationales ou des communications dans des congrès nationaux et internationaux. Malgré les nombreuses études réalisées dans le domaine, nous avons remarqué l'absence ou la rareté des documents de synthèse scientifique ou/et technique utiles pour aider ou orienter les agriculteurs, les techniciens voire les ingénieurs à gérer avec succès les adventices des cultures.

Cet ouvrage collectif, conçu et rédigé par les enseignant-chercheurs et les chercheurs malherbologistes et les ingénieurs phytiares ayant beaucoup travaillé sur la problématique des adventices, vient de compléter les travaux précédents et les deux à trois ouvrages sur le désherbage des céréales d'automne. Ainsi, ce document a le mérite d'aborder la gestion des adventices des principales cultures pratiquées dans les différentes régions de notre pays. Il concrétise les résultats de recherche obtenus durant les 30 dernières années et constitue en quelque sorte un certain héritage pour les générations futures notamment les futurs malherbologistes. Il se veut être un document de référence en la matière et utilisable par les différents

acteurs de notre agriculture (ingénieurs, techniciens, agriculteurs et étudiants en formation agricole). Les différentes contributions sont ventilées en trois parties distinctes mais cohérentes:

Gestion des adventices des principales cultures: les céréales d'automne, le maïs, le riz, les légumineuses alimentaires, la betterave à sucre, la canne à sucre, le tournesol, le colza, l'arachide, la vigne et les agrumes;

Gestion des problèmes particuliers: les adventices en agriculture de conservation, les plantes parasites, les plantes vivaces et les plantes exotiques envahissantes;

Bonnes pratiques de désherbage: utilisation des herbicides et environnement et bonnes pratiques en matière d'utilisation des herbicides.

Cette modeste contribution, qui a pour objectif ultime de contribuer à l'amélioration de la productivité de nos cultures, n'aurait pu voir le jour sans la volonté et l'engagement de tous les collègues ayant répondu favorablement à notre appel. Nous tenons à leur exprimer nos vifs remerciements. Aussi, nous exprimons nos remerciements sincères au Prof. Maataoui Abdelwahed (E.N.A. de Meknès) pour son engagement et sa participation active et effective à la lecture et à la correction de toutes les contributions. En outre, cet ouvrage intitulé « **Gestion des Adventices des Principales Cultures du Maroc** » a eu le grand privilège d'être édité par l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP) et préfacé par son Président, Mohamed MIHI. Qu'il nous soit permis de leur exprimer nos remerciements et notre très profonde gratitude.

**Mohamed BOUHACHE
Abdelkader TALEB**

Rabat, Avril 2022

Liste des contributeurs

Mr. BAYE Yahya, Ex-INRA à Béni Mellal, Malherbologie, Conseiller Agricole Agréé, Consultant en désherbage des cultures, E mail: yahyabaye@yahoo.fr

Dr. BEN-GHABRIT Salmane, Ecole d'Ingénieurs Abulcasis, Université Internationale Abulcasis des Sciences de la Santé à Rabat, Malherbologie, E-mail: salmane.benghabrit@gmail.com

Dr. BENSELLAM El Hassane, INRA à Kénitra, Malherbologie, E-mail: elhassan.bensellam@inra.ma

Pr. BOUHACHE Mohamed, Ex- I.A.V. Hassan II à Rabat, Malherbologie, E-mail: m.bouhache@gmail.com

Dr. CHAFIK Zouheir, Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Zraib à Berkane, Malherbologie, E-mail: chafzouheir@yahoo.fr

Pr. CHTAINA Noureddine, I.A.V. Hassan II à Rabat, Phytopharmacie, E-mail: noureddine.chtaina@gmail.com

Dr. HAJJAJ Badr, INRA à Tanger, Malherbologie, E-mail: badr.hajjaj@inra.ma

Dr. HAMAL Abdelhamid, Ex- INRA à Meknès, Malherbologie, E-mail: Ahamal58@yahoo.fr

Pr. HORMATALLAH Abderrahim, I.A.V. Hassan II, CHA, Agadir, Phytopharmacie, E-mail: hormatallah1957@gmail.com

Pr. MAATAOUI Abdelwahed, E.N.A. à Meknès, Agronomie/Malherbologie, E-mail: maataoui@enmeknes.ac.ma

Mr. MIHI Mohamed, Ex- Marbar Chimie, AgriProtec Consulting à Témara, Phytatrie, E-mail: mohamed.mihi12@gmail.com

Dr. MRABET Rachid, INRA à Rabat, Agronomie, Agriculture de Conservation, E-mail: rachid.mrabet@inra.ma

Dr. RSAISSI Noureddine, Ex- ONCA à Settât, Malherbologie, E-mail: rsaissi61@gmail.com

Dr. SAFFOUR Kaddour, Ex- INRA à Rabat, Malherbologie, Conseiller Agricole Agréé, E-mail: ksaffour@yahoo.fr

Pr. TALEB Abdelkader, Ex-I.A.V. Hassan II à Rabat, Malherbologie, E-mail: abdeltaleb@yahoo.fr

Dr. TANJI Abbès, Ex- INRA à Settât, Malherbologie, Spécialiste de désherbage, E-mail: abbestanji1@gmail.com

Abréviations et sigles

ACTA: Association de Coordination Technique Agricole
AMM: Association Marocaine de Malherbologie
AMPP: Association Marocaine de Protection des Plantes
C.H.A.: Complexe Horticole d'Agadir (I.A.V. Hassan II)
CIHEAM: Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CRRA: Centre Régional de la Recherche Agronomique
CTIFL: Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
DERD: Direction de l'Enseignement, de la Recherche et du développement
DPV: Direction de la Production Végétale
DPVCTRF: Direction de la Protection des Végétaux, des Contrôles Techniques et de la Répression des Fraude (actuellement ONSSA)
E.N.A.: Ecole Nationale d'Agriculture
EPPO: European Plant Protection Organization
F.A.O.: Organisation de nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Food and Agriculture Organization)
GIFAP: Groupement International des Associations Nationales de Fabricants de Produits Agrochimiques
GTZ: Agence de Coopération Internationale Allemande
HRAC: Herbicide Resistance Action Committee
I.A.V. Hassan II: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
INRA: Institut National de la Recherche Agronomique
ISAAA: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications
M.A.R.A.: Ministère d'Agriculture et de la Réforme Agraire
MAPM: Ministère de l'Agriculture de la Pêche Maritime
MAPMDREF: Ministère de l'Agriculture de la Pêche Maritime du Développement Rural des Eaux et Forêts
MENA (région): Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord
OECD: Organization for Economic Co-operation and Development
OIV: Organisation Internationale de la Vigne et du Vin
ONCA: Office National du Conseil Agricole
ONICL: Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses
ONSSA: Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires
OEPP: Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes (EPPO)
ORMVAT: Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla
PIB: Produit Intérieur Brut
PMV: Plan Maroc Vert
SAU: Surface Agricole Utile
WCCA: World Congress on Conservation Agriculture

Première partie:

Gestion des adventices des principales cultures

Page laissée vierge

Introduction générale: enjeux et défis de la gestion des adventices

Mohamed BOUHACHE

1. Importance de l'agriculture au Maroc

1.1. Place de l'agriculture

Avec ses deux productions végétale et animale, l'agriculture au Maroc a été et continue à être un secteur stratégique pour le développement socioéconomique du pays. Depuis son indépendance, le Maroc a déployé beaucoup d'efforts pour le développement agricole, aussi bien de la surface agricole utile (SAU) irriguée par la mobilisation des ressources hydrauliques et l'aménagement de grands périmètres irrigués, que de la SAU bour (pluviale) par des opérations de grande envergure, des mesures d'incitation, d'encadrement et de soutien des prix. Ces investissements ont nécessité la formation des cadres aptes à concevoir et à mettre en œuvre des programmes de développement agricole et rural. Outre, ces programmes et les réformes structurelles entreprises ont permis au pays d'assurer, dans une certaine mesure, sa sécurité alimentaire et sa croissance économique. Les objectifs et le bilan du dernier programme, le Plan Maroc Vert (PMV) qui couvrait la période 2008-2018, réévalue la place de choix du secteur agricole dans la politique agricole de l'Etat (Anonyme, 2020a). Ce programme était bâti sur deux piliers: le pilier I qui concernait l'agriculture moderne à haute valeur ajoutée, à forte productivité et orientée principalement vers l'exportation et le pilier II qui concernait l'agriculture solidaire, située en zones plutôt défavorables et destinée principalement à la consommation locale. En outre, le PMV a posé les premiers jalons du passage d'une politique interventionniste de l'Etat dans le secteur agricole (soutien des prix à la production de produits stratégiques dans le cadre de sa politique d'autosuffisance, soutien des productions de substitution aux importations...) vers une politique plus libérale (libéralisation des assolements, remplacement du soutien aux prix à la production par un soutien à l'investissement agricole) (Anonyme, 2019a). Pour consolider la politique et/ou les acquis du PMV, un nouveau plan, nommé «Génération Green 2020-2030», a été lancé en février 2020 et s'appuie sur deux grandes orientations, la priorité à l'élément humain et la durabilité du développement agricole. Ainsi, le premier objectif de ce nouveau plan est de doubler la contribution de la part du secteur agricole dans le PIB du pays (12,3% en 2019), alors que le deuxième objectif est d'augmenter la valeur des exportations agricoles de 34,7 milliards de dirhams en 2018 à 60 milliards en 2030. Selon cette feuille de route, 350 000 emplois agricoles doivent être créés par la mobilisation d'un million d'hectares de terres collectives. En outre, les aides et incitations prévues en tant que mesures additionnelles doivent permettre à 180 000 jeunes agriculteurs de se lancer et 150 000 jeunes doivent profiter d'ici à 2030 d'une formation professionnelle agricole (Anonyme, 2020b).

1.2. Rôles économiques et sociaux du secteur agricole

Le Maroc dispose actuellement d'une SAU estimée à 8,7 millions d'hectares riche en systèmes agro-climatiques, ce qui permet au pays de produire une très large gamme de produits agricoles. En termes de la SAU, les céréales restent l'activité largement dominante avec 59% suivie des plantations fruitières, de la jachère, des cultures fourragères, des légumineuses alimentaires, des cultures maraîchères et autres avec respectivement 16, 12, 5, 3, 3, et 2% de la SAU (Anonyme, 2019b). La superficie irriguée est de l'ordre de 1,6 millions d'hectares, ce qui représente 18% de la SAU totale, mais elle contribue à près de 45% à la valeur ajoutée agricole, 75% aux exportations et à plus de 70% à la production agricole. Cette contribution de la SAU irriguée a été plus déterminante pendant les années de sécheresse quand la production des zones pluviales a été affectée (Anonyme, 2020a). En plus de son rôle économique, le secteur agricole joue un rôle social de premier plan par sa contribution importante à l'emploi à l'échelle nationale et rurale, à la sécurité alimentaire du pays, à la lutte contre la pauvreté et au maintien de la stabilité dans le monde rural. Avec une part de 35% dans l'emploi total au niveau national et de 72% en milieu rural, l'agriculture reste un secteur pourvoyeur d'emplois très important. Les personnes

travaillant dans l'agriculture peuvent être des chefs d'exploitation (près de 1,6 millions d'exploitations), des aides familiaux ou des salariés agricoles. Les salariés et les aides familiaux sont estimés à près de 2,2 millions d'individus (Anonyme, 2020a). Actuellement, les niveaux des productions agricoles enregistrés ont permis d'avoir les taux de couverture des besoins nationaux les plus élevés de la région MENA: 65% pour les céréales; 47% pour le sucre; 99% pour le lait, les viandes rouges et les viandes blanches et 100% pour les fruits et légumes (Anonyme, 2020a).

2. Voies d'amélioration de la couverture des besoins

L'amélioration du taux de couverture des besoins du pays en productions végétales passe par trois voies à savoir l'extension des superficies des cultures ou l'augmentation de la SAU irrigable quand c'est possible ou l'amélioration des rendements actuels. Compte tenu de l'occupation des sols et les investissements nécessaires, l'amélioration des rendements des cultures reste la voie, relativement facile ou moins coûteuse, à envisager.

2.1. Amélioration des rendements

Un des leviers susceptibles de contribuer à augmenter les rendements, et par conséquent, améliorer le taux de couverture des besoins du pays en productions végétales et animales concerne l'amélioration des itinéraires techniques des cultures. En effet, l'itinéraire technique est une combinaison logique et ordonnée des différentes techniques appliquées à une culture, en vue d'atteindre un objectif donné de rendement. Ainsi, la conduite d'une culture correspond à la mise en œuvre d'un ensemble d'actes techniques: préparation du sol et semis, fertilisation, protection et entretien de la culture, autres techniques et récolte. La protection des cultures fait partie de l'itinéraire technique et c'est une condition déterminante dans l'expression du rendement potentiel d'une culture. Elle comprend un ensemble d'actes techniques qui visent à protéger la culture contre tous les aléas biologiques susceptibles d'empêcher les cultures d'exploiter les ressources du milieu (éléments minéraux, eau...) en vue d'atteindre les rendements escomptés. En effet, l'optimisation de la protection des cultures sous-entend également la gestion des adventices associées aux cultures.

2.2. Gestion des adventices

2.2.1. Notion et concept d'adventice

La situation géographique privilégiée du Maroc entre les continents européen et africain d'une part et d'autre part entre la mer méditerranéenne et l'océan atlantique, a fait du pays un véritable réservoir phylogénétique très distingué dans le bassin méditerranéen (Anonyme, 2004). Cette situation stratégique avec ses bioclimats différents et les chaînes importantes de montagnes, l'Atlas et le Rif, confèrent au Maroc un héritage vert riche et diversifié, constitué d'environ 8.000 espèces et sous-espèces de plantes, dont 4.500 plantes vasculaires avec un taux d'endémisme de 12,2% (Anonyme, 2004). Ainsi, le Maroc est parmi les cinq premiers pays floristiquement les plus riches du bassin méditerranéen à côté de la Turquie, l'Espagne, la Grèce et l'Italie (Fennane, 2004). Une fraction de cette flore, estimée à environ 1000 espèces, est considérée, pour une raison ou une autre, comme la flore indésirable des cultures et/ou des milieux anthropiques (Bouhache, 2021).

Botaniquement et taxonomiquement parlant, les mauvaises-herbes ne sont pas des plantes appartenant à un groupe bien distingué ou à une famille botanique particulière, ni même ayant une biologie ou une morphologie ou un comportement spécifiques. Deux termes sont largement utilisés pour désigner toute végétation indésirable, **adventice** et **mauvaise herbe**. L'Association Française de Protection des Plantes (AFPP) (2011) a défini l'**adventice** comme « **espèce végétale étrangère à la flore indigène d'un territoire dans lequel elle est accidentellement introduite et peut s'installer** » et la **mauvaise herbe** comme « **plante herbacée ou ligneuse indésirable à l'endroit où elle se trouve** ». Ainsi, le terme adventice a un sens botanique ou écologique et mauvaise herbe a un sens agronomique ou malherbologique qui la désigne comme étant une « plante indésirable ». Généralement, la flore

adventice des cultures correspond à l'ensemble de la végétation spontanée présente dans un champ hormis l'espèce cultivée. Vu l'importance des services rendus par cette catégorie de plantes, la notion d'adventice commence à être largement utilisée pour éviter toute sensibilité des auteurs ou selon le contexte d'étude. Alors que l'utilisation du terme de mauvaise herbe est réservée aux techniques de désherbage (Chauvel & *al.*, 2018). Dans cet ouvrage, les termes 'adventice' et 'mauvaise herbe' sont des synonymes bien que les adventices soient en réalité incluses dans les mauvaises herbes.

2.2.2. Nuisibilité des adventices

Le concept de mauvaise herbe ou d'adventice renferme une facette de nocivité vis-à-vis des cultures, de l'Homme, des animaux et d'autres milieux exploités pour les activités humaines. Par exemple, la présence des adventices dans un agroécosystème entraîne inéluctablement une compétition vis-à-vis des ressources (eau, lumière, éléments minéraux, etc.) nécessaires et/ou indispensables pour la croissance et le développement des végétaux. Toute réduction de ces ressources limite le potentiel des rendements. Les données générées sur la base d'une centaine d'essais de compétition et de désherbage chimique (en comparant la parcelle propre ou le meilleur traitement avec la parcelle infestée ou le traitement non désherbé) ont permis d'estimer les pertes de rendement des principales cultures dues à la compétition des adventices au Maroc (Tableau 1). Bien que ces données soient présentées à titre indicatif (en absence de données officielles), elles démontrent d'une façon évidente que la concurrence des adventices réduit la production des cultures de 13 à 94% selon la culture. Garantir le rendement n'est pas la seule raison de la gestion des adventices, mais ces dernières favorisent aussi certaines maladies ou la pullulation de certains insectes, gênent certaines opérations culturales et altèrent la qualité des produits récoltés. Ainsi, les mauvaises herbes sont considérées comme l'une des contraintes biologiques et/ou techniques à l'obtention des rendements élevés des cultures, au moment où les agriculteurs sont appelés à augmenter leurs productions agricoles sur des superficies cultivables limitées et dans un contexte devenu difficile, hostile et précaire. L'augmentation des productions agricoles végétales et animales est une nécessité pour notre survie, tandis que le climat change et devient de plus en plus imprévisible et hostile (comme conséquence de réchauffement planétaire) et les ressources en sol et en eau continuent à être réduites et/ou détériorées quantitativement et qualitativement. Ce contexte de production est encore plus compliqué et hostile à cause de l'émergence du phénomène d'invasion biologique et du changement climatique (Bouhache, 2021). L'agriculture moderne ou productiviste ou intensive conçue pour augmenter la productivité et les rendements de nos cultures est arrivée dernièrement à ses limites suite aux impacts négatifs qu'elle génère sur l'environnement et parfois sur la santé humaine. Ces impacts sont de plus en plus pris en compte par les décideurs et la société civile (consommateurs, défenseurs de l'environnement, écologistes, etc.).

Tableau 1: Pertes de rendement de quelques cultures dues à la compétition des adventices au Maroc (Bouhache, 2021).

Cultures	Perte (%)	Cultures	Perte (%)
Blé tendre	13-42	Canne à sucre	84-89
Blé dur	25-62	Colza	45-56
Orge	28-49	Fève	79-94
Maïs	43-64	Féverole	32-53
Betterave à sucre	5-92	Pois-chiche	65

2.2.3. Fondements et objectifs de la gestion des adventices

La gestion des adventices dans un agroécosystème est efficiente à long terme lorsqu'elle est basée sur l'application pratique du concept écologique « diversification maximale des perturbations », c'est-à-dire une diversification des cultures et des pratiques ou techniques culturales qui leur sont associées. Cette diversification perturbe d'une façon continue les niches écologiques et de ce fait les risques que la flore adventice évolue vers la dominance ou la prévalence d'une ou de quelques adventices sont

réduits. En outre, une gestion réussie des mauvaises herbes permet de limiter leur impact négatif, conserver le potentiel de production des cultures (quantité et qualité), de limiter les risques de ré-enherbement des parcelles et l'enrichissement du stock grainier des adventices des sols pour les cultures suivantes ou les parcelles voisines. La gestion à long terme des mauvaises herbes est un enjeu principal de la durabilité des systèmes de production. La nature ne fait pas de distinction entre les bonnes et les mauvaises herbes, mais ce qualificatif s'acquiert dans un contexte particulier et à une échelle donnée. La conception d'une telle gestion nécessite une connaissance approfondie des communautés adventices (notamment de leur composition floristique, de leur diversité, de l'écologie, de la biologie des espèces qui les composent, etc.) et des méthodes de lutte (principes, avantages et inconvénients). Une gestion qui devrait garantir un désherbage de qualité et durable doit être fondée sur quatre piliers:

- Identifier les adventices problématiques de la parcelle ou de l'exploitation et apprécier leur impact,
- Intégrer les techniques culturales dans la stratégie choisie,
- Diversifier les méthodes de lutte et alterner les modes d'action des herbicides,
- Respecter les techniques d'application appropriées ou les bonnes pratiques phytosanitaires dans le cas de désherbage chimique.

Le maximum de production agricole, sous l'effet combiné de tous les facteurs de production (ex. semence, engrais, etc.), n'est atteint que lorsque cette production est protégée contre toute cause (abiotique et/ou biotique) de sa perte et/ou de sa dépréciation. En outre, la lutte contre les mauvaises herbes associées aux cultures n'est pas un facteur de production, mais plutôt un moyen pour maintenir ou atteindre une productivité potentielle. Ainsi, toute opération de désherbage devrait avoir à court et à long terme les objectifs suivants:

- Installer la culture sur un sol propre dans le cas de semis direct des cultures annuelles,
- Limitier la concurrence des mauvaises herbes afin que les cultures profitent mieux des facteurs de croissance,
- Améliorer la qualité du produit récolté,
- Améliorer les conditions de réalisation de certaines opérations culturales,
- Améliorer l'état sanitaire des cultures,
- Limitier la ré-infestation des champs par les mauvaises herbes,
- Eradiquer toutes les mauvaises herbes. Mais ceci est très difficile à atteindre étant donné que la flore de la surface ne représente que moins de 10% du stock semencier dans le sol sans oublier le concours de plusieurs moyens de dissémination à l'approvisionnement de ce stock,
- Assurer une meilleure rentabilité et une durabilité du système de production.

Malheureusement, rares les agriculteurs qui arrivent à atteindre ces objectifs (ou du moins à long terme) et ce par l'absence ou le manque d'un raisonnement fondé de l'opération de désherbage. En général, les exploitants ne cherchent que les solutions d'assurance, faciles et rapides pour régler momentanément un problème posé par une ou plusieurs mauvaises herbes.

2.2.4. Diversité des méthodes et des stratégies de désherbage

Une opération de désherbage vise essentiellement à rendre un agroécosystème défavorable à la croissance et/ou au développement des adventices en utilisant différentes méthodes ou stratégies de désherbage. Les méthodes de lutte contre les adventices peuvent être regroupées en deux grandes catégories, les méthodes préventives et les méthodes curatives. La première catégorie comprend toutes les mesures et les pratiques destinées à empêcher l'introduction, l'établissement et/ou la dissémination d'une (ou des) adventice(s) dans un milieu qui n'était pas infesté. La deuxième catégorie comprend tous les moyens de lutte utilisés pour contrôler ou éradiquer les adventices présentes dans un agroécosystème donné. Le contrôle des adventices consiste à entreprendre des actions permettant leur élimination immédiate sans atteindre leur éradication. Quant à l'éradication, elle consiste à détruire totalement une adventice (ses plantes, ses semences et /ou ses organes de reproduction végétative). La

destruction des plantes est relativement facile, par contre l'élimination des semences et des organes végétatifs est très difficile avec les technologies disponibles. Le contrôle ou l'éradication des adventices pourraient être obtenus suite à l'utilisation d'une façon séparée ou combinée des méthodes de lutte culturale, physique, mécanique, biologique ou chimique. Généralement, le contrôle est une réaction faite une fois le problème des adventices est posé sans chercher les causes d'une telle infestation. Cependant, la gestion qui associe la prévention et le contrôle dépasse le simple contrôle tout en cherchant à connaître les causes de l'infestation des adventices, à réduire l'effet négatif des méthodes de lutte sur l'environnement et la santé humaine et à empêcher les adventices de devenir problématiques.

La lutte chimique raisonnée consiste tout simplement à choisir le bon produit, la bonne dose, le bon matériel et le bon moment d'application. Elle a pour objectif de réduire d'une manière significative l'utilisation des herbicides. Ainsi, elle est considérée comme une étape transitoire vers la lutte intégrée. Bien que plusieurs définitions soient élaborées pour définir cette dernière, nous définissons la lutte intégrée comme étant une approche de gestion à long terme des adventices en combinant plusieurs méthodes ou techniques pour maintenir l'infestation à un niveau acceptable sans pourtant se baser sur une seule méthode ou technique (ou son utilisation est réduite) ni compromettre l'environnement. Beaucoup de nos techniciens et agriculteurs croient qu'une simple combinaison de deux ou trois méthodes de lutte pour contrôler les adventices dans une culture, durant une campagne agricole et sur une ou quelques parcelles, est une gestion intégrée. Certes, la combinaison des moyens de lutte fait partie intégrante de la lutte intégrée, mais ce n'est pas tout. L'approche intégrée de gestion des adventices change avec le système de culture, s'étend sur toute l'exploitation ou la ferme et sur plusieurs saisons et utilise les techniques conciliant mieux les préoccupations agronomiques, économiques, environnementales et sociétales.

2.2.5. Limites du désherbage chimique

De tout temps, l'élimination des mauvaises herbes dans un agroécosystème est une activité préoccupante des agriculteurs en utilisant des méthodes culturale, biologique et chimique. Le désherbage des cultures, longtemps manuel puis mécanisé, s'est ensuite étendu à l'utilisation des herbicides. Les limitations et/ou les inconvénients de désherbage manuel et mécanique et l'efficacité des herbicides, leur rapidité d'action, leur facilité de manipulation et leur coût ont permis au désherbage chimique de dominer progressivement les autres méthodes de désherbage ou de les remplacer totalement dans certains systèmes de culture. Malheureusement, l'utilisation des herbicides d'une façon exclusive et/ou répétitive dans le temps et dans l'espace a montré ses limites durant ces dernières décennies. Ainsi, les herbicides sont pointés de doit d'avoir des répercussions négatives sur la biologie-écologie des adventices, la biodiversité, l'environnement et la santé humaine. De nombreuses études ont montré que l'utilisation des herbicides a causé l'apparition du phénomène de résistance des adventices aux herbicides, l'inversion de la flore, la présence des résidus d'herbicides dans les produits récoltés et dans les sols, la contamination des eaux de surface et de la nappe phréatique, l'intoxication des humains et des animaux, etc.

A l'échelle internationale, le comité d'action pour la résistance aux herbicides (HRAC = Herbicide Resistance Action Committee) a recensé 509 cas de résistance. Ce phénomène a touché 266 espèces d'adventices (dont 153 dicotylédones et 113 monocotylédones), 164 herbicides, 21 sites d'action, 95 cultures et 71 pays (Heap, 2021). Quant au Maroc, plusieurs cas de résistance ont été déclarés dans plusieurs régions agricoles et dans plusieurs cultures telles que les céréales d'automne, le riz, la féverole, la betterave à sucre et les vergers d'agrumes (Bouhache, 2020; Tanji et Zahhari, 2020). Les changements floristico-écologiques de la flore adventice des cépages et de la betterave à sucre, sous l'effet de désherbage chimique et d'autres techniques culturales, ont été étudiés durant deux décennies (début des années 1990 au début des années 2010) dans le périmètre de la Moulouya (Chafik, 2014). En l'espace de 20 ans, une modification de la composition et de la richesse floristique a été constatée. Ainsi, près de la moitié de la flore globale des deux cultures a été changée car presque 30% de la flore inventoriée au début des années 1990 n'a pas été rencontrée en 2010 et à peu près 20% de la flore adventice de 2010 est nouvelle. En outre, l'auteur a évoqué les causes éventuelles de cette situation en

accusant l'emploi répété et excessif des mêmes matières actives, notamment du glyphosate. Malgré ces préoccupations, l'utilisation des herbicides reste aujourd'hui l'outil très efficace et recherché par les agriculteurs pour gérer les adventices dans un agroécosystème soit seule ou en combinaison avec d'autres alternatives selon le système de culture.

3. Changement climatique et gestion des adventices

Plusieurs études, basées sur les simulations du climat futur, ont montré que le changement climatique affecte directement et indirectement l'efficacité des luttes chimique, mécanique et biologique contre les adventices (Ziska et Dukes, 2011; Amare & *al.*, 2016; Varanasi & *al.*, 2016; Kumar et Kumar, 2017; Malarkodi & *al.*, 2017; Ramesh & *al.*, 2017). La lutte chimique reste la méthode la plus utilisée ou la plus préconisée aussi bien dans les pays à agriculture très développée que dans les pays à agriculture moins développée. L'efficacité des herbicides est très influencée par les conditions environnementales régnant avant, au moment et après leur application. Une élévation de la concentration du CO₂ et le changement climatique qui s'en suit ont un effet sur plusieurs mécanismes qui régissent l'efficacité des herbicides et le désherbage chimique. L'élévation de la concentration du CO₂ et de la température augmente la photosynthèse et altère l'activité enzymatique et la production des pigments impliqués dans la photosynthèse. Ainsi, tout herbicide qui cible ces facteurs métaboliques pourrait augmenter son efficacité. Cependant, la quantité des protéines/gramme des tissus végétaux pourrait être réduite par l'élévation de la concentration du CO₂ atmosphérique, ce qui pourrait réduire l'efficacité des herbicides ayant comme site d'action l'inhibition de la synthèse des acides aminés (Ziska et Dukes, 2011; Ramesh & *al.*, 2017). Chez les plantes C₃, l'augmentation du CO₂ entraîne la réduction du nombre de stomates et de leur ouverture et l'augmentation de l'épaisseur des épidermes des feuilles. Ces paramètres ont un effet direct sur l'absorption des herbicides foliaires (Ziska et Dukes, 2011; Varanasi & *al.*, 2016; Ramesh & *al.*, 2017). De même, des interactions abiotiques sont fréquemment observées entre les herbicides et le climat. Le changement climatique se traduit également par la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes. Ces derniers peuvent réduire les moments propices pour l'application des herbicides. Si les précipitations, le vent, l'humidité relative ou les températures de l'air et du sol ne sont pas convenables ou souhaitables, l'efficacité des herbicides serait impactée négativement et leur utilisation serait même dangereuse pour l'environnement et/ou le manipulateur.

La lutte mécanique contre les adventices est une méthode fréquemment utilisée pour gérer les adventices résistantes aux herbicides ou pour contrôler les adventices dans l'agriculture biologique. Une augmentation de la concentration du CO₂ atmosphérique entraîne une croissance rapide et importante du système racinaire des adventices vivaces, et par conséquent, la lutte mécanique favoriserait la propagation des plantes via l'augmentation de la régénération végétative en fragmentant le système racinaire. Cette multiplication asexuée aurait certainement un effet négatif sur le contrôle des adventices vivaces (Amare & *al.*, 2016; Malarkodi & *al.*, 2017). De même, une humidité excessive ou une sécheresse prolongée compromet l'efficacité de la lutte mécanique. Un bon contrôle des vivaces est malheureusement difficile à réaliser dans un écosystème où la concentration du CO₂ atmosphérique, la température et les précipitations sont élevées.

La lutte biologique est considérée comme une approche efficace et économique pour la gestion des plantes indésirables. Cependant, elle est aussi affectée par l'augmentation de la concentration du CO₂ atmosphérique et le changement climatique qui en découle. Le climat et la teneur en CO₂ de l'atmosphère altèrent l'efficacité de la lutte biologique et agissent sur le développement, la morphologie, la reproduction et l'aire géographique de distribution des organismes biologiques utilisés. En outre, le changement climatique a un impact direct sur la capacité des plantes hôtes à tolérer ou à récompenser l'effet de l'agent biologique (Amare & *al.*, 2016; Malarkodi & *al.*, 2017). Plusieurs études prévoient que le changement climatique aurait un impact sur les adventices et les agents biologiques, leurs interactions et sur les plantes non hôtes ou ciblées. Le changement climatique a un effet potentiel sur les interactions entre les adventices et les agents biologiques en changeant les traits phénotypiques (ex. physiologie, biochimie, cycle biologique et phénologie) et/ou les environnements biotique et abiotique où se déroulent ces interactions. Par conséquent, ces altérations

influent sur la fréquence, la période, l'intensité et la durée de ces interactions (Sun & *al.*, 2020).

4. Biotechnologies et gestion des adventices

4.1. Opportunités d'application

La biotechnologie agricole est un ensemble de techniques scientifiques qui permettent d'améliorer les caractères désirés des animaux, des plantes ou des microorganismes. L'approche biotechnologique de gestion des adventices dans les agroécosystèmes devient de plus en plus populaire dans plusieurs pays à agriculture développée tels que les USA. Cette approche consiste à utiliser des systèmes biologiques, des organismes vivants ou des parties de ces organismes pour développer ou créer des produits utilisables dans le contrôle des adventices (Datta et Pilli, 2019). L'apport de la biotechnologie à la gestion des adventices est très important et certain car elle ouvre aux herbicides synthétiques d'autres dimensions d'utilisation, rendant certaines cultures plus compétitives vis-à-vis des adventices ou en améliorant les performances de la lutte biologique. De ce fait, des opportunités d'application de la biotechnologie dans le domaine de la gestion des adventices sont nombreuses et/ou immédiates (Duke & *al.*, 2015; Monohar & *al.*, 2018):

- Développement et utilisation des bio-herbicides à base de champignons, bactéries, virus etc. comme agents de la lutte biologique contre les adventices,
- Découverte et utilisation des herbicides à partir des substances naturelles,
- Amélioration génétique des variétés de cultures tolérantes aux herbicides,
- Développement des variétés transgéniques allélopathiques,
- Utilisation de la biologie moléculaire dans la taxonomie et/ou la systématique inter ou intra espèces et dans l'étude de l'évolution des relations entre les individus ou les espèces.

4.2. Variétés tolérantes aux herbicides

Les progrès scientifiques et techniques faits dans les domaines des biologies cellulaire et moléculaire ont permis aux scientifiques de créer des variétés des cultures tolérantes (ou résistantes) aux herbicides auxquels elles étaient initialement sensibles. Les traits de tolérance aux herbicides pourraient être conférés aux plantes par les techniques d'obtention et de sélection des variétés. Cependant, il faut distinguer les variétés naturellement tolérantes aux herbicides (VTH) de celles rendues tolérantes aux herbicides (VRTH). Les VRTH pourraient être obtenues par la sélection variétale classique basée sur l'hybridation ou par les techniques de modification du génome (organismes génétiquement modifiés appelés OGM). Dans ce dernier cas, deux techniques sont utilisées: la transgénèse qui consiste à intégrer un ou plusieurs gènes à l'intérieur du patrimoine génétique d'un organisme vivant et la mutagenèse qui consiste à introduire volontairement (d'une façon aléatoire ou dirigée) des mutations dans une séquence d'ADN (Anses, 2020). Ces variétés sont destinées à être utilisées conjointement avec l'herbicide pour lequel elles sont sélectionnées. Elles ont connu un grand développement dans plusieurs pays à agriculture développée. Ainsi, de nombreuses variétés végétales tolérantes (soja, maïs, cotonnier, riz, colza, blé, tournesol, betterave à sucre, etc.) à un herbicide ou à une catégorie d'herbicides ont été créées et largement commercialisées dans le monde. En général, les VRTH cultivées appartiennent à trois grands groupes:

- Les variétés résistantes aux herbicides totaux à base de glyphosate commercialisées par Monsanto sous le nom commercial RoundUp Ready,
- Les variétés résistantes aux herbicides totaux à base de glufosinate ammonium commercialisées par Bayer sous la marque LibertyLink,
- Les variétés résistantes aux herbicides sélectifs de la famille des imidazolinones vendues par BASF sous la marque Clearfield.

Les variétés des deux premiers groupes ont été obtenues par la transgénèse (OGM), tandis que celles du troisième groupe ont été obtenues avec la sélection de mutations naturelles ou induites par mutagenèse. Les variétés transgéniques ont connu une adoption massive dans certains pays, notamment les États-Unis, le Canada, le Brésil, l'Argentine, l'Inde, la Chine et l'Australie, etc., alors que les VRTH obtenues par mutagenèse sont beaucoup cultivées en Europe car la culture des OGM y est très restreinte ou même interdite. Malgré les contestations, les inquiétudes et les oppositions exprimées envers les VRTH, de grandes superficies sont emblavées avec les plantes génétiquement modifiées y compris celles tolérantes aux herbicides. En 2018, les variétés des cultures modifiées génétiquement ont occupé 191,7 millions d'hectares dont 87, 5 millions sont emblavés (45%) avec les VRTH. Ces dernières ont été dominées par les variétés tolérantes au glyphosate ou au glufosinate ammonium (ISAAA, 2021). Récemment, le génie génétique a permis de créer des variétés tolérantes à deux ou à trois herbicides ayant des sites d'action différents pour élargir le spectre d'action et/ou maîtriser le phénomène de résistance aux herbicides (Tableau 2) (Beckie & *al.*, 2019).

Tableau 2: Traits de résistance aux herbicides des variétés des principales cultures utilisées aux USA (Beckie & *al.*, 2019).

Résistance aux herbicides	Soja	Maïs	Cotonnier	Riz	Colza	Blé
ACCase inhibitor		X		X		X
ALS inhibitor		X		X	X	X
Triazine *					X	
Glyphosate	X	X	X		X	
Glufosinate	X	X	X		X	
Glyphosate+glufosinate	X	X	X			
Glyphosate+triazine*					X	
Glyphosate+dicamba	X		X			
Glyphosate+2,4-D+APP (ACCase)		X				
Glyphosate+isoxaflutole	X					
Glyphosate+glufosinate+dicamba	X		X			
Glyphosate+glufosinate+2,4-D	X		X			
Glyphosate+isoxaflutole+glufosinate	X					

* Australia only. Abbreviations: ACCase: acetyl-CoA carboxylase; ALS: acetolactate synthase; APP: aryloxyphen oxypropionate.

En Europe, rien que les variétés rendues tolérantes aux inhibiteurs de l'ALS (Acétolactate Synthétase) occupent à elles seules près de 10 millions d'hectares en 2017 dont 9 millions pour le tournesol (dominé par les variétés clearfield), 580 000 ha pour le colza et 140 000 ha pour le riz (Anses, 2020). En France où les OGM sont interdits, les autres VRTH (herbicides sélectifs) ont été développées à la fin des années 1990 pour la chicorée, puis dans les années 2000 pour le maïs, et entre 2010 et 2012, pour le colza et le tournesol qui représentent aujourd'hui la principale utilisation des VRTH (Tableau 3) (Anses, 2020). A l'instar des pays européens, la culture des variétés transgéniques (OGM) n'est pas autorisée au Maroc. Actuellement quelques variétés du colza de type clearfield (Solar, Inv 100 CL, Inv 110 CL, Inv 120 CL) sont cultivées ou soumises à l'inscription au catalogue officiel (Hjeij, comm. pers.). Ces variétés ont été développées pour tolérer l'imazamox contenu dans l'herbicide cleranda (imazamox + métazachlore) du BASF. En 2019, cet herbicide a été utilisé dans certaines exploitations au Gharb, Saiss et à Nouasser pour gérer le problème des crucifères dans le colza var. solar (Obs. pers.). Effectivement, le développement et la commercialisation des VRTH ont révolutionné les options de gestion des adventices dans les grandes cultures. L'adoption de ces variétés par les agriculteurs a réduit le coût de production, favorisé l'extension de la technique de semis direct ou simplifié la gestion des adventices (Jhala & *al.*, 2021).

Tableau 3: Cultures pour lesquelles des VRTH sont cultivées en France (Anses, 2020).

Culture	Année introduction	Substance active herbicide associée	Famille de substances
Chicorée	1996	rimsulfuron	Inhibiteurs de l'ALS
Tournesol	2010	imazamox tribénuron-méthyle	Inhibiteurs de l'ALS
Colza	2012	imazamox	Inhibiteurs de l'ALS
Maïs	2000	cycloxydime	Inhibiteurs de l'ACCCase
Betterave	En cours de développement (attendues pour 2019-2020)	foramsulfuron + thiencarbazone-méthyl	Inhibiteurs de l'ALS
Chicorée industrielle	2008	chlorsulfuron	Inhibiteurs de l'ALS

ALS: Acétolactate Synthétase, ACCCase: Acétyl-Coenzyme A Carboxylase

4.3. Variétés allélopathiques

Plusieurs définitions ont été données pour désigner l'allélopathie comme un des mécanismes d'interaction directe entre les plantes dans un écosystème. A titre simplifié, le phénomène allélopathique pourrait être considéré comme une guerre chimique entre les plantes. Aussi bien les cultures que les adventices produisent des substances chimiques allélopathiques qui pourrait leur donner un avantage et prendre le dessus lorsqu'elles se trouvent dans une situation de concurrence. L'allélopathie est exploitée de plusieurs façons dans la gestion des adventices des agroécosystèmes. Cependant, l'apport de la biotechnologie a concerné la création des variétés allélopathiques et l'utilisation des substances allélochimiques comme source d'herbicides naturels ayant de nouveaux sites d'action et biodégradables (Duke & *al.*, 2015). A titre d'exemple, la découverte de la mésotrine, en s'inspirant d'une substance allélopathique sécrétée par les racines de l'arbuste *Callistemon citrinus*, a été considérée comme un grand succès (Duke & *al.*, 2015). Cette molécule allélochimique contrôle sélectivement les graminées et les dicotylédones adventices, dans le maïs, la canne à sucre et le lin en inhibant l'enzyme 4-hydroxyphénylpyruvate dioxygénase (HPPD) impliquée dans la synthèse des caroténoïdes (ACTA, 2019). L'inhibition de HPPD a été considérée à l'époque comme une découverte d'un nouveau site d'action (Duke & *al.*, 2015). Il est à signaler que cet arbuste est beaucoup utilisé au Maroc comme plante ornementale, tandis-que la mésotrine elle fait partie des matières actives d'un herbicide (Lumax®) largement utilisé pour le désherbage du maïs dans différentes régions du pays.

Les programmes basés sur la sélection variétale classique n'ont pas réussi à créer des variétés allélopathiques car le trait allélopathique est quantitatif, polygénique et a une faible valeur ajoutée en comparaison avec le rendement (Duke & *al.*, 2015; Scavo et Mauromicale, 2021). Pour surmonter ces limitations, plusieurs outils du génie génétique sont en essai et/ou évaluation avec l'objectif ultime soit d'augmenter quantitativement le trait allélopathique existant naturellement dans une espèce ou soit de le transférer à une autre espèce. Dans les deux cas, le passage par les plantes transgéniques est indispensable (Duke & *al.*, 2015). Plusieurs plantes sont connues pour leur effet allélopathique, mais la quantité des substances allélochimiques produite n'est pas suffisante pour donner une efficacité acceptable au champ. Datta et Pilli (2019) ont rapporté que la quantité de sorgolone, qui est une substance allélopathique contenue dans le sorgho, a été augmentée en utilisant la biotechnologie moléculaire et la transgénèse. En absence de variétés transgéniques, allélopathiques et commercialisables, un grand progrès a été fait en identifiant les loci des traits quantitatifs (QTL) de l'effet allélopathique (régions de localisation d'un ou de plusieurs gènes sur le chromosome) dans le blé, le riz et le sorgho et en mettant en évidence les relations entre les substances allélopathiques et leurs QTLs respectifs. En plus, les gènes responsables de la synthèse des momilactones, substances allélochimiques du riz, ont été codés. Ceci permettrait, dans le futur proche, la création des cultivars de cultures ayant des traits allélopathiques (Trezzi & *al.*, 2016; Scavo et Mauromicale, 2021).

4.4. Perfectionnement de la lutte biologique

La lutte biologique contre les adventices est une méthode souhaitable ou utilisable dans l'agriculture biologique, dans des situations où des milieux où l'utilisation des herbicides n'est pas possible ou dans le cas où les adventices ne sont ou ne sont plus contrôlables avec des herbicides. Cependant, les intérêts de l'utilisation des agents biologiques dépassent largement les disponibilités des agents biologiques efficaces malgré leur identification et diversification. En plus de certaines limitations de la lutte biologique, la majorité des agents biologiques manque d'une virulence suffisante ou d'une gamme d'hôtes pour offrir un contrôle économique et efficace (Amsellem & *al.*, 2002; Duke & *al.*, 2015). Selon ces auteurs, la biotechnologie basée sur l'altération génétique pourrait lever les contraintes mentionnées ci-dessus en a) augmentant la virulence d'un agent biologique, b) élargissant la gamme d'hôtes d'un agent biologique qui n'attaque qu'une ou quelques espèces végétales ou c) réduisant cette gamme pour un agent qui attaque presque toutes les espèces végétales. A ce propos, les mêmes auteurs ont cité des exemples d'agents biologiques (champignons et bactéries) dont la virulence a été améliorée par mutagenèse ou transgénèse. Par exemple, la virulence a été multipliée par neuf en introduisant le gène NEP1 codant pour une protéine phytotoxique à une souche du champignon *Colletotrichum coccodes* spécifique de l'adventice *Abutilon theophrastii*. La souche parentale ou initiale non transformée n'était pas assez virulente car elle infectait juste les cotylédons de cette adventice, alors que la souche transgénique était mortelle jusqu'au stade de trois feuilles de l'adventice cible (Amsellem & *al.*, 2002).

5. Nouvelles technologies et gestion des adventices

L'un des grands défis de l'agriculture contemporaine est de produire plus avec moins d'énergie et/ou d'intrants pour répondre aux besoins alimentaires d'une population qui ne cesse de croître. Le gain de ce pari passe inéluctablement, entre autres, par le contrôle des ennemis des cultures y compris les adventices tout en profitant des nouvelles technologies et de l'intelligence artificielle. Actuellement, l'agriculture de précision est largement utilisée dans plusieurs domaines de la production agricole comme la protection des cultures, la fertilisation, l'irrigation, le semis et la récolte. Ainsi, l'agriculture de précision pourrait être une composante intégrante de l'approche de la gestion intégrée des adventices dans les cultures (Esposito & *al.*, 2021). Effectivement, l'agriculture de précision a connu, durant la dernière décennie, une avancée et un développement rapides à cause des innovations technologiques dans le domaine des systèmes de détection (capteurs: photorécepteurs monobandes et caméras multispectrales ou hyperspectrales), des outils et des programmes informatiques, de nanotechnologie, de robotique, de l'industrie des drones, de géo-localisation, etc. Les capteurs de détection peuvent être montés sur différents vecteurs: portatifs piétons, machines agricoles terrestres, robots, drones, avions ou satellites (Gée & *al.*, 2018; Roslim & *al.*, 2021).

Avec la complexité et la limitation des méthodes classiques de désherbage, l'agriculture de précision basée sur le géo-positionnement permet d'envisager de nouvelles technologies efficaces et économiques pour chaque parcelle. Effectivement, le désherbage des cultures est de plus en plus assisté par les nouvelles technologies que ce soit pour la pulvérisation des herbicides ou pour la géo-localisation et le guidage des outils de désherbage mécanique. Les innovations technologiques dans les agroéquipements permettent d'atténuer la variabilité intra parcellaire de l'infestation des adventices, et par conséquent, de ne traiter que les endroits ou zones infestés et d'épargner ceux qui ne sont pas envahis par les adventices. Dans ce cas, on parle de désherbage de précision qui est une composante de l'agriculture de précision (Gée & *al.*, 2018).

La technique de désherbage de précision passe par quatre étapes successives: a) surveillance des parcelles et collecte des données avec des captures, b) traitement et analyse des données, c) prise de décision et choix d'une stratégie et d) intervention au champ à l'aide d'un outil approprié (Gée & *al.*, 2018). La géo-localisation des capteurs et des machines agricoles est la pièce maîtresse de cette nouvelle technologie qui permet d'intervenir au plus près du végétal, ce qui nécessite un système de positionnement d'une très grande résolution tel que les GPS (Global Positioning System). En outre, la télédétection est considérée comme une technologie ayant des potentialités pour fournir une alternative

efficace et convenable pour le repérage des adventices, la détermination des espèces dominantes et leur distribution spatiale. De ce fait, elle permet la surveillance et le suivi des adventices dans un champ ou dans une région (Burgos & *al.*, 2017). Récemment, des chercheurs de l'INRA France ont mis au point un robot capable de désherber à l'aide d'un bras électrode et combiné à la détection prédictive des adventices à partir des capteurs montés sur un drone (Photo 1). Le robot arrive à détruire les adventices physiquement moyennant des décharges électriques dont la durée, la fréquence et l'intensité varient selon chaque espèce d'adventice à contrôler (Nicolas, 2021). Les retombées écologiques et économiques de désherbage de précision sont certaines et remarquables: réduction de coût de production, réduction des risques de résistance des adventices aux herbicides, amélioration de la biodiversité et la maîtrise des impacts sur l'environnement (Eposito & *al.*, 2021). Pour ces raisons et d'autres, il est fréquent de voir, dans les pays à agriculture développée, des parcelles survolées par des drones et/ou parcourues par des robots désherbants (Roslim & *al.*, 2021). Les robots sont beaucoup utilisés pour le désherbage mécanique, tandis que les drones sont beaucoup impliqués dans la pulvérisation. Au Maroc, des tentatives ou essais de l'utilisation des drones dans l'opération de désherbage et/ou dans le raisonnement de la fertilisation des cultures ont vu le jour ces dernières années (Obs. pers.).



Photo 1: Robot désherbant couplé à un drone en essai expérimental (photo de Vincent De Rudnicki INRAE, France).

6. Conclusion

En plus de son rôle économique, le secteur agricole joue un rôle social de premier plan par sa contribution importante à l'emploi à l'échelle nationale et rurale, à la sécurité alimentaire du pays, à la lutte contre la pauvreté et au maintien de la stabilité dans le monde rural. Actuellement, les niveaux des productions agricoles enregistrés ont permis d'avoir les taux de couverture des besoins nationaux les plus élevés de la région MENA: 65% pour les céréales; 47% pour le sucre; 99% pour le lait, les viandes rouges et les viandes blanches et 100% pour les fruits et légumes (Anonyme, 2020a). Compte tenu de l'occupation des sols et les investissements nécessaires, l'amélioration des rendements des cultures reste la voie, relativement facile ou moins coûteuse, à envisager. Un des leviers susceptibles de contribuer à augmenter les rendements, et par conséquent, améliorer le taux de couverture des besoins du pays en productions végétales et animales concerne l'amélioration des itinéraires techniques des cultures. L'un des grands défis de l'agriculture contemporaine est de produire plus avec moins

d'énergie et/ou d'intrants pour répondre aux besoins alimentaires d'une population qui ne cesse de croître. Le gain de ce pari passe inéluctablement, entre autres, par le contrôle des ennemis des cultures y compris les adventices tout en considérant l'impact du changement climatique sur leur gestion et en profitant des avancées en biotechnologies agricoles, des nouvelles technologies et de l'intelligence artificielle.

Références

- ACTA (2019) Index acta phytosanitaire. 55ème édition, Acta éditions, Paris, France.
- AFPP (2011) Répertoire terminologique en protection des plantes. Alfortville, France, 104 p.
- Amare T. (2016) Review on impact of climatic change on weed and their management. *Am. J. Biol. and Environ. Statistics*, 2 (3): 21-27.
- Amsellem Z., Cohen B.A. & Gressel J. (2002) Engineering hypervirulence in a mycoherbicidal fungus for efficient weed control. *Nat. Biotechnol.*, 20: 1035-1039.
- Anonyme (2004) Stratégie nationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement, Rabat, 119 p.
- Anonyme (2019a) Le secteur agricole marocain: tendances structurelle, enjeux et perspectives de développement. Ministère de l'Economie et des Finances, Direction des Etudes et de prévisions Financières, Rabat, 34 p.
- Anonyme (2019b) Agriculture en chiffres 2018, Edition 2019. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, de Développement Rural et des Eaux et Forêts, Rabat, 31 p.
- Anonyme (2020a) Le Plan Maroc Vert: Bilan et Impacts 2008-2018. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, de Développement Rural et des Eaux et Forêts, Direction de la Stratégie et des Statistiques, Rabat, 82 p.
- Anonyme (2020b) "Génération Green": le modèle agricole marocain, un exemple à suivre. *www. Forbes. Fr.* (consulté le 17/11/2021).
- Anses (2020) Utilisation des variétés rendues tolérantes aux herbicides cultivées en France. Avis de l'Anses, rapport révisé d'expertise collective, Maisons-Alfort, France, 254 p.
- Beckie H., Ashworth M.H. & Flower K. (2019) Herbicide resistance management: recent developments and trends. *Plants*, 8, 161: 1-13. Doi: 13.3390/plants8060161.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: Biologie et écologies des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 375 p.
- Burgos N.R., Rouse C.E., Singh V., Salas-Perez R. & Bagavathiannan M. (2017) Technological advances for weed management. 26th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Kyoto, Japan, pp. 71-86.
- Chafik Z. (2014) Contribution à l'étude de la flore adventice des régions arides et semi-arides du Maroc oriental. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed 1er, Fac. Sci. Oujda, 216 p.
- Chauvel B., Darmency H., Nicolas M.J. & Rodriguez A. (2018) Gestion durable de la flore adventice des cultures. Editions Quaie, Versailles, France, 350 p.
- Datta M.K. & Pilli K. (2019) Biotechnological approach in weed management. In: *Research trends in Crop and Weed*, vol. 2, Akirik Publications, pp. 73-93.
- Duke S.O., Scheffler B.E., Boyette C.D. & Dayan F.E. (2015) Biotechnology in weed control. In: *Kirk Othmer Encyclopedia for Technical Technology*, Wiley Interscience, New York. pp. 1-25. DOI: 10.1002/0471238961
- Esposito M., Crimaldi M., Sarghini F. & Maggio A. (2021) Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. *Chemical and Biological Technologies*, 8 (18): 1-11.
- Fennane M. (2004) Propositions de zones importantes pour les plantes au Maroc (ZIP Maroc). Atelier national « zones importantes des plantes au Maroc », Rabat, 25 p.

- Gée C., Jones G., Maillot T., Paoli J.N. & Vilette S. (2018) Le désherbage de précision. In: Gestion durable de la flore adventice des cultures, Chauvel & *al.* (eds.), pp. 175-187, éditions Quae, Versailles, France.
- Heap I. (2021) The international survey of herbicides resistant weeds. www.weedscience.org. (consulté le 16/11/2021).
- ISAAA (2021) Les variétés rendues tolérantes aux herbicides, quels enjeux pour notre santé et l'environnement. www.isaaa.org (consulté le 6/12/2021).
- Jhala A.J., Beckie H.J., Peters T.J., Culpepper A.S. & Norsworthy J.K. (2021) Interference and management of herbicide-resistant crop volunteers. *Weed Sci.*, 69: 257-273. Doi: 10.1017/wsc.2021.3.
- Kumar A. & Kumar M. (2017) Climate change's impacts on weeds and herbicide efficacy. A review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6 (9): 2846-2853.
- Malarkodi N., Manikandan N. & Ramaraj A.P. (2017) Impact of climate change on weeds and weed management - A review. *J. Immo. Agri.*, 4 (4): 1-7.
- Monohar B., Sushmita S., Sinha A. & Pandit S.K. (2018) Biotechnology applications in weed management. *Current Journal of Applied Sciences and Technology*, 31 (2): 1-4.
- Nicolas L. (2021) Un robot désherbant par procédé électrique couplé à un drone. *Techniques de l'ingénieur*. www.techniques-ingenier.fr. (consulté le 23/11/2021).
- Ramesh K., Matloob A., Aslam F., Florentine S.K. & Chauhan B.S. (2017) Weeds in a changing climate: vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. *Front. Plant Sci.*, 8, article 95: 1-12.
- Roslim M.H.M. & *al.* (2021) Using Remote Sensing and an Unmanned Aerial System for Weed Management in Agricultural Crops: A Review. *Agronomy*, 11, 1809. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091809>.
- Scavo A. & Mauromicale G. (2021) Crop Allelopathy for Sustainable Weed Management in Agroecosystems: Knowing the Present with a View to the Future. *Agronomy* 2021, 11, 2104. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112104>
- Sun Y., Ding J., Sieman E. & Keller R.S. (2020) Biocontrol of invasive weeds under climate change: progress, challenges and management implications. *Current Opinion in Insect Science*, 38: 72-78.
- Tanji A. & Zahhari T. (2020) Découverte de deux mutations dans des populations marocaines de ray grass résistant aux herbicides. *Agriculture de Maghreb*, 131: 74-77.
- Trezzi M.M., Vidal R.A., Balbinot Junior A.A., Bittencourt H.H. & Filho A.P.S. (2016) Allelopathy: driving mechanisms governing its activity in agriculture. *Journal of Plant Interactions*, 11 (1):53-60.
- Varanasi A., Prasad P.V.V. & Jugulam M. (2016) Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. *Advances in Agronomy*, 135: 107-146.
- Ziska L.H. & Dukes J.S. (2011) *Weed Biology and Climate Change*. Willey-Blackwell, Iowa, USA, 233 p.

Page laissée vierge

Caractérisation de la flore adventice du Maroc

Abdelkader TALEB

1. Introduction

La flore marocaine, avec environ 4500 espèces et sous-espèces de végétaux vasculaires (Jahandiez & Maire, 1931; 1932; 1934), occupe la deuxième place après la Turquie dans la zone méditerranéenne. Certaines espèces sont directement ou indirectement inféodées aux différents écosystèmes anthropiques (cultivés ou naturels) et constitue pour l'homme une flore indésirable. La flore associée aux principales cultures a fait l'objet de plusieurs études. Ainsi, le nombre d'espèces recensées varie d'une culture à l'autre: les céréales (374), le maïs (272), le riz (124), la canne à sucre (176), la betterave sucrière (301), les vignobles (234), le tournesol (188), les agrumes (403), l'olivier (419) et les rosacées fruitières (351) (Bouhache, 2021).

La caractérisation de la flore adventice des cultures est une étape primordiale à leur gestion par des stratégies de lutte adéquates. C'est pour cette raison que depuis 1979, des inventaires floristico-écologiques ont été réalisés dans différentes régions du Maroc et dans différentes cultures, nous citons les études régionales phares phares dans les régions suivantes: Chaouia (Chettou & Taleb, 1981; Taleb, 1989); Souss (Bahthiarno, 1982; Belaid, 1982; Bouhache & Boulet, 1983; Wahbi, 1994), Abda (Wahbi, 1985), Saiss (Loudyi, 1985), Tadla (Tanji & Boulet, 1986; Bennig, 1995), El Kelâa des Sraghna (Rahani, 1988), Loukkos (Chougrani, 1984; Taleb & *al.*, 1997), Doukkala (Boudhar, 1995), Haouz (Hilali, 1996), Gharb (Tahri, 1979; Lastic, 1989; Taleb, 1995), Rabat-Zaers (El Houjjaji, 1982), l'Oriental (Talibi, 1999; Taleb & Rzozi, 2003; Chafik, 2014). L'examen de ces travaux a permis une meilleure caractérisation de la flore adventice marocaine. Ainsi, la liste exhaustive des adventices inventoriées au Maroc, dans les cultures et les milieux artificialisés, avoisine les 850 espèces.

Du point de vue incidence agronomique, une centaine d'espèces ont une incidence économique. Dans tous les cas, on observe la dominance et une forte représentation des dicotylédones annuelles et de l'élément floristique méditerranéen. Durant ces dernières décennies, on assiste à un enrichissement de la flore adventice par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes (Taleb & Bouhache, 2005; Taleb & *al.*, 2010; Bouhache & Taleb, 2013). Cet article se propose une actualisation de la base des données car la dernière étude a été publiée en 1989 (Boulet & *al.*, 1989), depuis des nouvelles espèces ont été répertoriées et ont fait l'objet d'articles scientifiques, d'autres ont changé de statut suite aux nouvelles pratiques culturales dans le cas de l'agrosystème cultivé par exemple. Certaines adventices ont pris une ampleur considérable dernièrement. Méconnues des agriculteurs il y a quelques années, elles ont envahi les écosystèmes cultivés et naturels telles que la morelle jaune et la laitue d'eau.

2. Caractérisation globale

2.1. Aspect systématique

Les 851 espèces dénombrées sont des phanérogames angiospermes dicotylédones (83,2%) et monocotylédones (16,6%) avec la présence d'une espèce non vasculaire: *Equisetum ramosissimum* Desf. (Prêle, de la famille des *Equisetaceae*) (Tableau 1). Parmi les espèces inventoriées, les dicotylédones sont les mieux représentées, avec 82,9% des espèces, réparties en 706 espèces et appartenant à 56 familles. Les *Asteraceae* (133 espèces) et les *Fabaceae* (122 espèces) sont majoritaires de la flore adventice totale. Les monocotylédones, comportent 144 espèces, soit 17,0% de la flore adventice totale, principalement représentées par les *Poaceae* qui comprennent à elles seule 95 espèces soit 11,2% de la flore adventice totale (Tableau 2).

Par comparaison avec les végétaux vasculaires de la flore nationale du Maroc (Fennane & *al.*, 1999; 2007; 2014), cette flore regroupe 20,2% de l'effectif spécifique, 40,8% de l'effectif générique et 59,1% du total des familles. Parmi ces dernières 21 familles contenant plus de 9 espèces chacune et contribuent avec 85,1% à l'effectif total (Tableau 2). Il est à signaler qu'il y'a des familles botaniques qui abritent peu d'espèces mais ont une incidence très négative sur certaines cultures, il s'agit essentiellement des plantes parasites en l'occurrence le genre *Orobanche* sp. qui peut détruire plusieurs spéculations (voir gestion des plantes parasites).

Tableau 1: Diversité systématique globale.

Classe botanique	Espèces		Familles	
	Effectif	Contribution (%)	Effectif	Contribution (%)
Monocotylédones	144	17,0	13	18,6
Dicotylédones	706	82,9	56	80,0
Equisitinées	1	0,1	1	1,4
Total	851	100	70	100

Tableau 2: Classement des principales familles botaniques en fonction de leur contribution spécifique relative.

Familles	Effectif	Contribution(%)
<i>Asteraceae</i>	133	15,6
<i>Fabaceae</i>	122	14,3
<i>Poaceae</i>	95	11,2
<i>Brassicaceae</i>	47	5,5
<i>Caryophyllaceae</i>	41	4,8
<i>Apiaceae</i>	37	4,3
<i>Scrophulariaceae</i>	27	3,2
<i>Liliaceae</i>	22	2,6
<i>Lamiaceae</i>	22	2,6
<i>Boraginaceae</i>	22	2,6
<i>Euphorbiaceae</i>	18	2,1
<i>Chenopodiaceae</i>	17	2,0
<i>Papveraceae</i>	17	2,0
<i>Ranunculaceae</i>	17	2,0
<i>Polygonaceae</i>	15	1,8
<i>Solanaceae</i>	15	1,6
<i>Geraniaceae</i>	14	1,6
<i>Rubiaceae</i>	12	1,4
<i>Malvaceae</i>	13	1,5
<i>Amaranthaceae</i>	10	1,2
<i>Convolvulaceae</i>	9	1,1
Total	725	85,1

Au fil du temps, le Maroc a connu l'introduction de nouvelles espèces reconnues à l'échelle mondiale comme plantes envahissantes (voir gestion des plantes exotiques envahissantes). Ces espèces envahissent différents écosystèmes (naturels et cultivés) et constituent une menace sérieuse aux cultures et dégradent la biodiversité par leur effet colonisateur du milieu grâce à leur capacité de propagation très importante et à d'autres facteurs. Depuis les années 80, dix-sept espèces adventices appartenant à 9 familles botaniques sont considérées nouvellement introduites au Maroc (TANJI & TALEB, 1997; TALEB & BOUHACHE, 2005; TALEB & *al.*, 2010; BOUHACHE & TALEB, 2013) (Tableau 3).

Cette introduction est caractérisée par la dominance de deux familles, *Solanaceae* et *Poaceae* (soit 50% de l'effectif) et des espèces d'origine américaine. De même, les 2/3 des espèces recensées ont été introduites entre 1980 et 1997. En plus, la majorité de ces espèces introduites sont considérées comme des espèces exotiques envahissantes (voir gestion des plantes exotiques envahissantes).

Tableau 3: Liste des espèces exotiques introduites au Maroc.

Espèces	Familles	Origine géographique
<i>Abutilon theophrastii</i> Medik.	<i>Malvaceae</i>	Asie
<i>Ambrosia coronopifolia</i> Torr. & A.Gray	<i>Asteraceae</i>	Amérique du nord
<i>Ammannia coccinea</i> Griseb.	<i>Lythraceae</i>	Amérique du nord
<i>Arctotheca calendula</i> (L.) Levyns	<i>Asteraceae</i>	Afrique du sud
<i>Asclepias curassavica</i> L.	<i>Asclepiadaceae</i>	Amérique du sud
<i>Brachiaria eruciformis</i> (Smith) Griseb.	<i>Poaceae</i>	Asie
<i>Corchorus olitorius</i> L.	<i>Tiliaceae</i>	Inde
<i>Cyperus difformis</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Asie
<i>Dactyloctenium aegyptiacum</i> (L.) Richt.	<i>Poaceae</i>	Afrique
<i>Echinochloa phyllopogon</i> (Stapf) Koss	<i>Poaceae</i>	Asie
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Amérique du nord
<i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz & Pav	<i>Pontederiaceae</i>	Amérique centrale
<i>Kochia scoparia</i> (L.) Scrad.	<i>Chenopodiaceae</i>	Eurasie
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	<i>Malvaceae</i>	Amérique du nord
<i>Panicum capillare</i> L.	<i>Poaceae</i>	Amérique du nord
<i>Pistia stratiotes</i> L.	<i>Araceae</i>	Amérique du Sud
<i>Salpichroa organifolia</i> (Lam.) Baillon	<i>Solanaceae</i>	Amérique du Sud
<i>Solanum cornutum</i> Lam.	<i>Solanaceae</i>	Amérique du nord
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	<i>Solanaceae</i>	Amérique du nord
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. et Hook. ex Gray	<i>Asteraceae</i>	Amérique du nord

2.2. Aspect biologique

Globalement, les espèces annuelles (thérophytes) dominent avec 70,2% de l'effectif spécifique, suivies des vivaces avec 27,6% et des parasites au sens large qui représentent seulement 2,0% (Tableau 4). Les adventices vivaces sont représentées essentiellement par les géophytes qui, dans la majorité des cas, la multiplication végétative est leur seul moyen de reproduction; la multiplication par voie sexuée est très peu fréquente ou absente pour la plupart des espèces dont: *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Arisarum vulgare* Targ.-Tozz., *Cyperus rotundus* L., *Oxalis pes-caprae*. Ces espèces s'adaptent bien aux étages aride et semi-aride et se maintiennent grâce aux organes végétatifs (bulbes, rhizomes, stolons...). Cependant, il est à noter que les plantes parasites sont exclusivement des dicotylédones (voir gestion des adventices vivaces).

Tableau 4: Diversité biologique de la flore adventice.

Biologie Classes	Annuelles		Vivaces		Parasites		Total
	Effectif	Cont. (%)	Effectif	Cont. (%)	Effectif	Cont. (%)	
Dicotylédones	516	60,6	173	20,4	17	2,0	706
Monocotylédones	82	9,6	62	7,3	0	0	144
Equisétinées	0	0,0	1	0,1	0	0	1
Total	598	70,2	236	27,8	17	2,0	851

3. Principales adventices problématiques

La prise en compte des dégâts occasionnés par les mauvaises aux différentes cultures et écosystèmes, les besoins de lutte contre les mauvaises herbes imposent la connaissance de la flore préoccupante d'une manière précise. Après analyse et étude des listes floristiques des différents relevés, il apparaît une importance très inégale des classes de fréquence relative concernant les 851 espèces recensées. Ainsi, seulement 115 espèces ont une fréquence relative supérieure à 20%. Ce sont en grande majorité des annuelles dont la plupart connues des agriculteurs comme agressives telles que: *Avena sterilis* L., *Bromus rigidus* Roth., *Lolium* sp., *Phalaris* sp., *Astragalus boeticus* L., etc.. Cependant quelques espèces vivaces très gênantes et habituelles du milieu cultivé: *Convolvulus althaeoides* L., *Convolvulus arvensis* L., *Silene vulgaris* (Moench) Garcke, *Arisarum simorhinum* Durieu et *Oxalis pes-caprae* L., signalées par de nombreux auteurs et dans des régions différentes comme étant des adventices agronomiquement redoutables.

Les espèces sont classées dans le Tableau 5 par ordre décroissant de nuisibilité globale (ING) (Boulet & al., 1989). Cet indice est calculé en combinant la fréquence relative, la répartition et l'indice d'abondance-dominance (IAD) de Braun-Blanquet. L'ING varie de de + à 5¹. La prise en considération de ces critères, a permis de mettre en évidence deux groupes d'espèces problématiques.

La nuisibilité des adventices varie d'une espèce à l'autre, Il y a des espèces à elles seules peuvent compromettre des cultures telle que *Papaver rhoeas*, *Ridolfia segetum*, *Beta macrocarpa*, *Bromus rigidus*, *Orobancha crenata*, *Malva parviflora*, etc (Photo 1).

Tableau 5: Liste des principales espèces adventices préoccupantes.

Groupe 1			
Nom scientifique	Famille botanique	ING	Nom vernaculaire
<i>Avena sterilis</i> L.	Poaceae	5	Avoine stérile
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	Poaceae	5	Brome rigide
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	Brassicaceae	5	Passerage
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	5	Liseron des champs
<i>Cuscuta australis</i> R. Br.	Convolvulaceae	5	Cuscute
<i>Cuscuta monogyna</i> Vahl	Convolvulaceae	5	Cuscute
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Poaceae	5	Chiendent digité
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	5	Souchet à tubercules
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv	Poaceae	5	Panic pied de
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	Poaceae	5	Ray-grass
<i>Orobancha crenata</i> Forsk.	Orobanchaceae	5	Orobancha
<i>Orobancha ramosa</i> L.	Orobanchaceae	5	Orobancha rameuse
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Oxalidaceae	5	Oxalide
<i>Panicum repens</i> L.	Poaceae	5	Panic rampant
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx) Scrib.	Poaceae	5	Paspale distique

¹ +: Fréq. < 5%, IAD= + ou 1

1: 10 <Fréq. < 30%, IAD= 2

2: 30 <Fréq. <40%, IAD= 3

4: Fréq. 50%, IAD= 3 ou 4

5: Espèces redoutables localement ou à l'échelle nationale, Fréq. >60%

Groupe 1 (suite)			
<i>Scirpus maritimus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	5	Scirpe maritime
<i>Sinapis arvensis</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	5	Moutarde des champs
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	<i>Solanaceae</i>	5	Morelle jaune
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	5	Sorgho d'Alep
<i>Thesium humile</i> Vahl	<i>Santalaceae</i>	5	Thesium
<i>Typha latifolia</i> L.	<i>Typhaceae</i>	5	Massette d'eau
<i>Viscum cruciatum</i> Sieber ex Boiss	<i>Viscaceae</i>	5	Gui
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	<i>Rhamnaceae</i>	5	Jujubier
<i>Gladiolus italicus</i> Miller	<i>Iridaceae</i>	5	Glaïeul des moissons
Groupe 2			
Nom scientifique	Famille botanique	ING	Nom vernaculaire
<i>Anagallis foemina</i> Miller	<i>Primulaceae</i>	4	Mourron des champs
<i>Arisarum simorrhinum</i> Durieu.	<i>Araceae</i>	4	Gouet à capuchon
<i>Cichorium endivia</i> L.	<i>Asteraceae</i>	4	Chicorée
<i>Convolvulus althaeoides</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	4	Liseron
<i>Emex spinosa</i> (L.) Camb.	<i>Polygonaceae</i>	4	Epinaud sauvage
<i>Medicago polymorpha</i> L.	<i>Fabaceae</i>	4	Luzerne polymorphe
<i>Misopates orontium</i> rafin.	<i>Scrophulariaceae</i>	4	Mufler tête de bœuf
<i>Papaver rhoeas</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	4	Coquelicot
<i>Picris echioides</i> L.	<i>Asteraceae</i>	4	Fausse vipérine
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	4	Renouée des oiseaux
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	4	Ravenelle
<i>Ridolfia segetum</i> Moris	<i>Apiaceae</i>	4	Aneth des moissons
<i>Scorpiurus muricatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	4	Chenillette
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertner	<i>Apiaceae</i>	4	Torilis noueux
<i>Amaranthus blitoides</i> S. Watson	<i>Amaranthaceae</i>	3	Amaranthe
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	3	Amaranthe
<i>Ammi majus</i> L.	<i>Apiaceae</i>	3	Ammi inodore
<i>Anacyclus radiatus</i> Lois.	<i>Asteraceae</i>	3	Anacycle
<i>Anchusa azurea</i> Miller	<i>Boraginaceae</i>	3	Langue du bœuf
<i>Aster squamatus</i> (Spreng.) Hieron.	<i>Asteraceae</i>	3	Aster écaillé
<i>Astragalus boeticus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Astragale
<i>Beta macrocarpa</i> Guss.	<i>Chenopodiaceae</i>	3	Bette à gros fruits
<i>Bromus rubens</i> L.	<i>Poaceae</i>	3	Brome rougeâtre
<i>Bromus sterilis</i> L.	<i>Poaceae</i>	3	Brome stérile
<i>Bupleurum lancifolium</i> Hornem.	<i>Apiaceae</i>	3	Buplèvre
<i>Calendula arvensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Souci des champs
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus	<i>Brassicaceae</i>	3	Capselle bourse à pasteur
<i>Carlina racemosa</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Carline

Groupe 2 (suite)			
<i>Centaurea diluta</i> Aiton.	<i>Asteraceae</i>	3	Centaurée
<i>Chenopodium album</i> L.	<i>Chenomodiaceae</i>	3	Chénopode blanc
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	3	Chénopode des murs
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Chrysanthème des jardins
<i>Chrysanthemum segetum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Chrysanthème des moissons
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	<i>Asteraceae</i>	3	Vergerette du Canada
<i>Coronilla scorpioides</i> (L.) Koch.	<i>Fabaceae</i>	3	Queue de scorpion
<i>Diplotaxis catholica</i> DC	<i>Brassicaceae</i>	3	Diplotaxe
<i>Diplotaxis tenuisiliqua</i> Delile	<i>Brassicaceae</i>	3	Diplotaxe
<i>Echium plantagineum</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	3	Vipérine
<i>Eryngium ilicifolium</i> Lam.	<i>Apiaceae</i>	3	Panicaut à feuilles d'ilex
<i>Euphorbia exigua</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	3	Petite euphorbe
<i>Euphorbia medicaginea</i> Boiss	<i>Euphorbiaceae</i>	3	Euphorbe médicinale
<i>Fumaria agraria</i> Lag.	<i>Papaveraceae</i>	3	Fumeterre
<i>Fumaria parviflora</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	3	Fumeterre
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	<i>Rubiaceae</i>	3	Gaillet
<i>Galium verrucosum</i> Hudson	<i>Rubiaceae</i>	3	Gaillet
<i>Glaucium corniculatum</i> (L.) Rudolph	<i>Papaveraceae</i>	3	Pavot corniculé
<i>Hirschfeldia incana</i> (L.) Lagrèze-Fos.	<i>Brassicaceae</i>	3	Hirschelde
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	3	Lamier
<i>Lathyrus articulatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Gesse
<i>Lathyrus cicera</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Gesse
<i>Lathyrus ochrus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Gesse
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	<i>Poaceae</i>	3	Ray-grass
<i>Malva parviflora</i> L.	<i>Malvaceae</i>	3	Mauve
<i>Melilotus sulcata</i> Desf.	<i>Fabaceae</i>	3	Mélilot
<i>Papaver hybridum</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	3	Papaver hybride
<i>Phalaris brachystachys</i> Link	<i>Poaceae</i>	3	Alpiste
<i>Phalaris minor</i> Retz	<i>Poaceae</i>	3	Alpiste
<i>Plantago afra</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	3	Herbe aux puces
<i>Poa annua</i> L.	<i>Poaceae</i>	3	Pâturin annuel
<i>Reseda alba</i> L.	<i>Resedaceae</i>	3	Réseda
<i>Rumex bucephalophorus</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	3	Oseille tête de bœuf
<i>Rumex pulcher</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	3	Patience-violon
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	<i>Apiaceae</i>	3	Peigne de Vénus
<i>Scolymus hispanicus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Scolyme d'Espagne
<i>Scolymus maculatus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Scolyme maculé
<i>Scorpiurus vermiculatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Chenillette
<i>Senecio vulgaris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Séneçon vulgaire

Groupe 2 (suite)			
<i>Setaria verticillata</i> (L.) Beauv.	<i>Poaceae</i>	3	Sétaire
<i>Silene gallica</i> L.	<i>Caryophyllaceae</i>	3	Silène de France
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	<i>Caryophyllaceae</i>	3	Silène enflée
<i>Silybum marianum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Chardon de Marie
<i>Sinapis alba</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	3	Moutarde blanche
<i>Solanum nigrum</i> L.	<i>Solanaceae</i>	3	Morelle noire
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill.	<i>Asteraceae</i>	3	Laiteron rude
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Laiteron maraîcher
<i>Tragopogon hybridus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	3	Salsifi
<i>Vaccaria hispanica</i> (Miller) Rausch.	<i>Caryophyllaceae</i>	3	Saponaire
<i>Vicia benghalensis</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Vesce
<i>Vicia lutea</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Vesce
<i>Vicia monantha</i> Retz	<i>Fabaceae</i>	3	Vesce
<i>Vicia sativa</i> L.	<i>Fabaceae</i>	3	Vesce
<i>Asperula arvensis</i> L.	<i>Rubiaceae</i>	2	Asperule
<i>Asphodelus aestivus</i> Brot.	<i>Liliaceae</i>	2	Asphodèle à petits fruits
<i>Asphodelus fistulosus</i> L.	<i>Liliaceae</i>	2	Asphodèle fistuleuses
<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) Johnson	<i>Boraginaceae</i>	2	Grémil des champs
<i>Centaurea eriophora</i> L.	<i>Asteraceae</i>	2	Centaurée
<i>Cladanthus arabicus</i> (L.) Cass.	<i>Asteraceae</i>	2	Cladanthé d'Arabie
<i>Ecbalium elaterium</i> (L.) Rich.	<i>Cucurbitaceae</i>	2	Momordique
<i>Hordeum murinum</i> L.	<i>Poaceae</i>	2	Orge des rats
<i>Launaea nudicaulis</i> (L.) Hooker	<i>Asteraceae</i>	2	Launée à tiges nues
<i>Ornithogalum narbonense</i> L.	<i>Liliaceae</i>	2	Ornithogale de Narbonne

Groupe 1: il rassemble 23 espèces qui sont signalées localement ou à l'échelle nationale comme étant de véritables colonisatrices et qui posent d'énormes problèmes là où elles se trouvent, outre les baisses de rendements:

abandon de plusieurs rizières dans le Gharb à cause d'*E. crus-galli*,

dévaluation du prix des terrains dans le Tadla par la couverture totale du périmètre par la morelle jaune (*S. elaeagnifolium*).

Dans ce groupe on rencontre aussi toutes les plantes parasites des cultures, de la cuscute à l'orobanche.

Groupe 2: dans ce groupe, 92 espèces exercent une forte nuisibilité de cumul, la plupart sont des annuelles. Cependant, certaines espèces qui, à moyen ou long terme, selon l'intensité des modifications des techniques culturales peuvent passer dans le premier groupe.



Papaver rhoeas sur céréales



Ridolfia segetum sur céréales



Beta macrocarpa sur betterave sucrière



Bromus rigidus sur céréales



Orobanche crenata sur carotte



Malva parviflora sur verger d'agrumes

Photo 1: Exemples d'infestations des cultures par quelques espèces adventices.

4. Conclusion

Cette présente synthèse a permis d'aborder les aspects botanique et agronomique de la flore adventice des principales cultures et milieux artificialisés au Maroc. Sur le plan systématique, 851 espèces ont été recensées appartenant à 70 familles botaniques différentes, dont 20 familles dominent largement l'ensemble de la flore locale (85,1%) et sont représentées par les familles suivantes: *Asteraceae* (133), *Fabaceae* (122), *Poaceae* (95), *Brassicaceae* (47), *Caryophyllaceae* (41), *Apiaceae* (37). Concernant l'aspect biologique, les thérophytes (annuelles) dominent avec 70,2%, suivi des vivaces avec 27,8% du total d'espèces. Même avec 2% de l'effectif, les espèces parasites représentent une grande menace pour un certain nombre de spéculations. En combinant la fréquence et l'abondance dominance, une centaine d'espèces sont considérées comme préoccupantes. Parmi les espèces les plus nuisibles on

trouve les vivaces signalées problématiques dans différentes études. L'élément nouveau de cette étude est l'identification d'une flore exotique introduite depuis les années 80 et qui a envahi différents écosystèmes au Maroc. A titre d'exemple, *Solanum elaeagnifolium*, *Verbesina enceloides*, *Pistia stratioides*, *Ambrosia coronopifolia*, etc...

Références

- Bah Thierno O. (1982) Etude des populations adventices des vergers d'agrumes du Souss. Mém. Ing. Application, opt. Horticulture, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 47 p.
- Belaid N. (1982) Etude des groupements adventices des cultures légumières dans le Souss. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 31 p.
- Bennig O. (1995) Flore adventice de la betterave à sucre dans le périmètre irrigué du Tadla: Aspect botanique, agronomique et écologique. Mémoire de 3^{ème} cycle, Agronomie, opt. Protection des Végétaux, I.A.V. Hassan II, Rabat, 85 p.
- Boudhar H. & Taleb A. (1995) Flore adventice des céréales dans le périmètre irrigué des Doukkala: aspects botanique, agronomique et écologique. 2ème Congrès de l'Association Marocaine de la Protection des Plantes (AMPP), Rabat, pp. 102-112.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, 1ère édition, Rabat, 375 p.
- Bouhache M. & Boulet C. (1983) Etude floristique des adventices de la tomate dans le Souss. Homme Terre & Eaux, 14 (57): 37-49.
- Bouhache M. & Taleb A. (2013) New developments on Invasive Plants species of Morocco: Detection of Two Aquatic Plants. Regional Hands-on Training Workshop for Weed Risk Assessment (WRA) and Weed Risk management (WRM). FAO (RNE, AGPM, FAO Iraq) and the Ministry of Agriculture of Jordan in Amman (Jordan), 16-20 June 2013.
- Boulet C., Tanji A. & Taleb A. (1989) Index synonymique des taxons présents dans les milieux cultivés ou artificialisés du Maroc occidental et central. Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc), 9 (3 & 4): 65-99.
- Chafik Z. (2014) Contribution à l'étude de la flore adventice des régions arides et semi arides du Maroc Oriental: Cas du périmètre irrigué de la Moulouya. Thèse Doctorat, Univ. Mohamed Premier, Oujda, 216 p.
- Chettou A. & Taleb A. (1981) Etude des groupements adventices des céréales dans la région de Chaouia. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan I, Complexe Horticole d'Agadir, 52 p.
- Chougrani A. (1984) Etude floristico-écologique des adventices de la région du Loukkos. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan I, Complexe Horticole d'Agadir, 50 p.
- El Houjjaji A. (1982) Etude des groupements adventices des cultures dans la région de Rabat. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 40 p.
- Fennane M., Ibn Tatou M., Mathèz J., Ouyahya A. & El Oualidi J. (1999) Flore pratique du Maroc, Vol. 1. Trav. Inst. Sci., Sér. Bot., Rabat, 36, 636 p.
- Fennane M., Ibn Tatou M., Ouyahya A. & El Oualidi J. (2007) Flore pratique du Maroc, Vol. 2. Trav. Inst. Sci., Sér. Bot., Rabat, 38, 538 p.
- Fennane M., Ibn Tatou M. & El Oualidi J. (2014) Flore pratique du Maroc, Vol. 3. Trav. Inst. Sci., Sér. Bot., Rabat, 40, 793 p.
- Jahandiez E. & Maire R. (1931) Catalogue des plantes du Maroc (spermatophytes et ptéridophytes). Tome 1, (Ptéridophytes, Gymnospermes et Monocotylédones). Imprimerie Minerva, Alger, 159p.
- Jahandiez E. & Maire R. (1932) Catalogue des plantes du Maroc (spermatophytes et ptéridophytes). Tome 2, (Dicotylédones Archichalamydées). Imprimerie Minerva, Alger, 557 p.
- Jahandiez E. & Maire R. (1934) Catalogue des plantes du Maroc (spermatophytes et ptéridophytes). Tome 3, Dicotylédones Gamopétalées et supplément aux volumes 1 et 2. Imprimerie Minerva, Alger, 913 p.
- Lastic P.Y. (1989) Die Unkrautgesellschaften der Rharb-Ebene (Marokko): Dissertacion am lehrstuhl für Biogeographie der Universität Bayreuth, Germany, 151 p.

- Loudyi M.C. (1985) Etude botanique et écologique de la végétation spontanée du plateau de Meknès (Maroc). Thèse de 3ème cycle, USTL, Montpellier, 147 p.
- Rahani A. (1988) Etude floristico-agronomique des adventices de la région d'El Kelâs des Sraghna. Mém. Ing. Application, opt. Phytiairie, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 42 p.
- Tahri M. (1979) Contribution à l'étude de la flore adventice des champs de betterave à sucre dans le périmètre irrigué de Sidi-Slimane. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan II, 61 p.
- Taleb A. & Bouhache M. (2005) Etat actuel de nos connaissances sur les plantes envahissantes au Maroc. International Workshop Invasive Plants in the Mediterranean Type Regions of the World, (Mèze) Montpellier, France, pp. 63-68.
- Taleb A. & Rzozi S.B. (1993) Etude botanique et Agronomique des adventices de la betterave à sucre dans la basse Moulouya. Sucrerie Maghrébine, 56/57: 25-31.
- Taleb A. (1989) Etude de la flore adventice des céréales de la Chaouia (Maroc occidental), Aspects botanique, agronomique et écologique. Thèse Doc. Ing., opt. Phytotechnie, E.N.S.A. de Montpellier, 96 p.
- Taleb A. (1995) Flore illustrée des principales mauvaises herbes des cultures du Gharb. Thèse Doctorat Es-Sciences agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 368p.
- Taleb A., Bouhache M. & El Mfadli B. (2010) Nouvelle espèce menaçant la biodiversité au Maroc: *Verbesina encelioides* (Asteraceae). Proceedings of the 2nd international workshop on invasive plants in the Mediterranean type regions of the world, Trabzon, Turkey, pp. 156-167.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozi S.B. (1997) Etude de la flore adventice de la canne à sucre dans la région du Loukkos. Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc), 17(2): 103-106.
- Taleb A., Rzozi S.B. & Ouhamou M. (1996) Flore adventice des vergers d'agrumes du Haouz central, aspect floristique. Actes des journées nationales, scientifiques et techniques sur les agrumes. (Maroc) IAV H2, Agadir, pp. 306-313.
- Talibi A. (1999) Diversité et importance des mauvaises herbes des vergers d'agrumes dans le périmètre de la basse Moulouya. Mém. 3^{ème} cycle Agron., Opt. Malherbologie. Inst. Agron. Vét. Hassan II, Rabat, 65 p.
- Tanji A. & Taleb A. (1997) New Weed species recently introduced into Morocco. Weed Research, 37: 27-31.
- Tanji A. & Boulet C. (1986) Diversité floristique et biologie des adventices du Tadla (Maroc). Weed Research, 26: 159-166.
- Tanji A. (1980) Etude des groupements adventices de la betterave à sucre dans la région du Gharb. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan II, 51 p.
- Wahbi M. (1985) Etude floristico-écologique des adventices de la région des Abdas. Mém. Ing. Application, opt. phytiairie, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 64 p.
- Wahbi M. (1994) Etude de la flore adventice des agrumes et des cultures maraîchères de la région du Souss: Aspects botanique, agronomique et écologique. Mémoire de 3^{ème} cycle en horticulture, IAV Hassan II, Rabat, 86 p.

Gestion des adventices des céréales d'automne

Abdelhamid HAMAL

1. Introduction

Les structures de production, sous l'effet de contraintes climatiques, techniques et structurelles, peuvent entraver la mise en valeur des terres agricoles. Les conditions climatiques, notamment la pluviométrie, constitue l'élément principal dans le raisonnement des stratégies des agriculteurs vis-à-vis des risques de production. L'engagement dans l'utilisation des facteurs d'intensification est décidé par la majorité des producteurs en tenant compte de ces conditions. Sans pluie, le producteur préfère en général cesser les dépenses liées à la protection phytosanitaire et à la fertilisation. En conséquence, l'impact de la sécheresse peut être aggravé alors que des interventions raisonnées notamment en matière de lutte contre les mauvaises herbes peuvent réduire les baisses des rendements constatés. D'autre part, la diversité des statuts juridiques et les problèmes de morcellement constituent également des contraintes peu encourageantes aux investissements et à l'amélioration de la productivité des cultures (Aït El Mekki, 2006).

Au Maroc, la céréaliculture constitue l'ossature de l'agriculture et occupe une place déterminante dans l'économie agricole à plusieurs niveaux. Un poids social majeur pour un tissu de producteurs fragiles, culture prédominante pour la quasi-totalité des exploitations agricoles, interdépendances majeures avec les filières animales en raison de l'importance des céréales destinées à l'alimentation animale (orge et sous-produits), importance primordiale dans la consommation des marocains, procurant 2/3 des besoins en calories et 3 /4 des besoins en protéines, consommation globale très élevée avec près de 55% des besoins en céréales sont couverts par la production locale. La céréaliculture représente un poids économique majeur dans l'agriculture nationale, les céréales d'automne occupent en moyenne 5 Millions d'hectares avec 24% de la valeur ajoutée agricole et 10 à 20% du PIB agricole en fonction de la pluviométrie et un rendement moyen passant pour le blé tendre de 14,3 quintaux par hectare fin 2007, à 23,7 quintaux par hectare en 2021 (MAPMDREF, 2021).

Les céréales sont pratiquées dans les différentes zones agro-climatiques du pays en assolement avec d'autres cultures annuelles représentées essentiellement par les légumineuses, les cultures industrielles et les cultures fourragères. Ces cultures sont à 90% localisées dans les zones pluviales. Les principales régions de production se situent dans les zones pluviales des plaines et des plateaux de Chaouia, Abda, Haouz, Tadla, Gharb et Saïs où la grande majorité des exploitations, quelles que soient leurs tailles, pratique la céréaliculture. Dans ces régions, les céréales font partie des systèmes de production intégrant l'élevage ovin en particulier, ce qui permet de valoriser les ressources fourragères céréalières, orge, paille et chaumes. En terme de superficies, les principales régions céréalières sont Marrakech-Safi (20%), Casablanca-Settat (18%), Fès-Meknès (17%), Beni Mellal-Khénifra (12%), Rabat-Salé-Kénitra (12%) (ONICL, 2021).

Le tableau 1 présente l'évolution des superficies des trois principales céréales pendant les six dernières années. Les superficies du blé tendre ont tendance à augmenter, celles de l'orge à diminuer et celles du blé dur ont pratiquement stagné. L'augmentation des productions du blé tendre provient essentiellement de l'extension des superficies stimulées par les politiques d'intensification mises en place depuis le début des années 1980. Cette augmentation est faite au détriment de la superficie de l'orge. Le tableau 2 montre une progression notable de la production essentiellement du blé tendre. Effectivement, depuis le lancement du « Plan Maroc Vert » en 2008, la production céréalière a connu une amélioration grâce à des mesures de soutien aux producteurs et à des conditions climatiques jugées favorables.

Tableau 1: Superficie des principales régions céréalières du blé tendre, blé dur et orge (en 1000 ha) (ONICL, 2021).

Années	Blé Tendre	Blé Dur	Orge	Total
2015-2016	1600	920	1208	3728
2016-2017	2200	1200	2001	5401
2017-2018	1900	995	1599	4494
2018-2019	1800	985	1050	3835
2019-2020	1800	1050	1495	4345
2020-2021	1700	1000	1600	4300

Tableau 2: Evolution de la production du blé tendre, blé dur et orge (en 1000 Qx) (ONICL, 2021).

Années	Blé Tendre	Blé Dur	Orge	Total
2015-2016	18560	8900	6700	34160
2016-2017	48910	25700	21600	96210
2017-2018	49100	26200	28500	103800
2018-2019	26680	13400	11600	51680
2019-2020	16500	7500	5800	29800
2020-2021	50600	25200	27400	103200

2. Caractérisation de la flore adventice

La synthèse de plus de 400 relevés, réalisés dans les principales régions céréalières du Maroc, a permis de recenser 374 espèces adventices. Elles appartiennent à 48 familles botaniques. Six familles: *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae*, *Brassicaceae* et *Caryophyllaceae* fournissent à elles seules 58% (soit 217 espèces). Les dicotylédones (85%), les thérophytes (annuelles) (77%) et l'élément floristique méditerranéen (66%) caractérisent cette flore associée aux céréales (Taleb & *al.*, 1998). L'importance agronomique des espèces d'adventices a été appréciée sur la base du calcul de l'indice partiel de nuisibilité (combinaison de recouvrement et de la fréquence) de chaque espèce ou dans le cas échéant sur la fréquence relative ou leur importance observée sur le terrain (Bouhache, 2020). Ainsi, une soixantaine d'espèces dicotylédones (Tableau 3) peuvent être considérées comme préoccupantes ou fréquentes dans nos champs de céréales d'automne. Par contre, la classe des monocotylédones est représentée par 12 espèces (Tableau 4) dominées par la famille des *Poaceae* (graminées) qui représente la presque totalité des espèces de cette classe. Le Maroc est un des pays les plus riches en espèces de plantes supérieures, avec 40% des espèces nord africaines et 50% des espèces Maghrébines, la flore spontanée marocaine est l'une des plus diversifiées du bassin méditerranéen, elle compte environ 4.200 espèces et sous espèces avec un taux d'endémisme d'environ 25% (Jahandiez et Maire, 1931-1934). Certainement, les agrosystèmes marocains présentent une importante diversité spécifique, cette richesse résulte de la diversité des climats régionaux, des types de sol, des types et de la qualité des eaux d'irrigation, de la nature de désherbage et du mode de conduite des cultures (Chafik, 2012). A cet effet, les études floristiques préétablies indiquent que les champs céréaliers marocains sont riches en adventices, dont le nombre d'espèces varie d'une région céréalière à l'autre (Tableau 5).

Tableau 3: Principales adventices dicotylédones des céréales (Bouhache, 2020).

Noms scientifiques	Familles botaniques	Ethologie	Noms vernaculaires	
			Français	Marocains
<i>Ammi majus</i>	<i>Apiaceae</i>	Annuelle	Grand ammi	Tlaylane
<i>Anacyclus radiatus</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Anacycle rayonnant	Hallala
<i>Anagallis foemina</i>	<i>Primulaceae</i>	Annuelle	Mouron des champs	Ain El fellous
<i>Anchusa azurea</i>	<i>Boraginaceae</i>	Vivace	Buglosse d'Italie	Lsan El ard
<i>Astragalus boeticus</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Astragale de Bétique	Krinbouch
<i>Beta macrocarpa</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Annuelle	Bette à gros fruits	Salg
<i>Calendula arvensis</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Souci des champs	Jamra
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Brassicaceae</i>	Annuelle	Bourse à pasteur	Kiss râai
<i>Centaurea diluta</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	<i>Centauree pâle</i>	<i>Zemmouria</i>
<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Annuelle	Chénopode blanc	Berramram
<i>Chenopodium murale</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Annuelle	Chénopode des murs	Berramram
<i>Chrysanthemum coronarium</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Chrysanthème à couronnes	Krädjaja
<i>Chrysanthemum segetum</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Chrysanthème des moissons	Gahouane
<i>Cichorium endivia</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Chicorée	Bouaggad
<i>Convolvulus althaoïdes</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Vivace	Liseron fausse-guimauve	Louya
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Vivace	Liseron des champs	Louya
<i>Diplotaxis tenuisiliqua</i>	<i>Brassicaceae</i>	Annuelle	Diplotaxe à siliques ténues	Karkaz
<i>Echium plantagineum</i>	<i>Boraginaceae</i>	Annuelle	Vipérine faux plantin	Achoum
<i>Emex spinosa</i>	<i>Polygonaceae</i>	Annuelle	Emex épineux	Hmmida
<i>Fumaria agraria</i>	<i>Papaveraceae</i>	Annuelle	Fumeterre des champs	Sibana
<i>Fumaria parviflora</i>	<i>Papaveraceae</i>	Annuelle	Fumeterre à petites fleurs	Sibabana

Tableau 3 (Suite)

Noms scientifiques	Familles botaniques	Ethologie	Noms vernaculaires	
			Français	Marocains
<i>Galium tricornutum</i>	<i>Rubiaceae</i>	Annuelle	Gaillet à trios cornes	Lassika
<i>Galium verrucosum</i>	<i>Rubiaceae</i>	Annuelle	Gaillet verruqueux	Lassika
<i>Glaucium corniculatum</i>	<i>Papaveraceae</i>	Annuelle	Pavot cornu	Garn taour
<i>Hirschfeldia incana</i>	<i>Brassicaceae</i>	Annuelle	Raquette bâtarde	Karkaz
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lamiaceae</i>	Annuelle	Lamier amplexicaule	Oudnine el far
<i>Lathyrus articulatus</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Gesse articulée	Jelbana
<i>Lathyrus cicera</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Gesse chiche	Jelbana
<i>Launea nudicaulis</i>	<i>Asteraceae</i>	Vivace	Launée à tiges nues	Marrara
<i>Lavatera trimestris</i>	<i>Malvaceae</i>	Annuelle	Lavatère à grandes fleurs	Khoubbiza
<i>Malva parviflora</i>	<i>Malvaceae</i>	Annuelle	Lavatère à petites fleurs	Khoubbiza
<i>Medicago polymorpha</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Luzerne polymorphe	Nefla
<i>Melilotus sulcatus</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Melilot silloné	Nefla
<i>Misopates orontium</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	Annuelle	Mufler rubicond	Khoukhou chair
<i>Papaver hybridum</i>	<i>Papaveraceae</i>	Annuelle	Coquelicot	Balâmane
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Papaveraceae</i>	Annuelle	Grand coquelicot	Belâmane
<i>Plantago afra</i>	<i>Plantaginaceae</i>	Annuelle	Plantain pucier	Massassa
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Polygonaceae</i>	Annuelle	Renouée des oiseaux	Baymout
<i>Raphanus raphanistrum</i>	<i>Brassicaceae</i>	Annuelle	Ravenelle, radis sauvage	Bahammou labied
<i>Rhagadiolus stellatus</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Rhagadiole en étoile	Dfar El Koubâa
<i>Ridolfia segetum</i>	<i>Apiaceae</i>	Annuelle	Aneth des moissons	Slili, tabch
<i>Rumex pulcher</i>	<i>Polygonaceae</i>	Vivace	Patience - violon	Hammida
<i>Scandix pecten-veneris</i>	<i>Apiaceae</i>	Annuelle	Peigne de vénus	Machita
<i>Scolymus hispanicus</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Scolyme d'Espagne	Chefraj, Zarnej
<i>Scolymus maculatus</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Scolyme taché, maculé	Chefraj, Zarnej
<i>Scorpiurus muricatus</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Chenillette épineuse	Kalouat larnab
<i>Scorpiurus vermiculata</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Chenillette vermiculée	Kalouat larnab

Tableau 3 (Suite).

Noms scientifiques	Familles botaniques	Ethologie	Noms vernaculaires	
			Français	Marocains
<i>Silene gallica</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	Annuelle	Silène de France	Nouarat läagreb
<i>Silene vulgaris</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	Vivace	Silène enflée, commun	Tighecht
<i>Silybum marianum</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Chardon de Marie	Taoura
<i>Sinapis alba</i>	<i>Brassicaceae</i>	Annuelle	Moutarde blanche	Bahammou
<i>Sinapis arvensis</i>	<i>Brassicaceae</i>	Annuelle	Moutarde des champs	Bahammou
<i>Sonchus asper</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Laiteron rude	Tifaf
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Asteraceae</i>	Annuelle	Laiteron maraîcher	Tifaf
<i>Torilis nodosa</i>	<i>Apiaceae</i>	Annuelle	Torilis noueuse	Machita
<i>Urtica urens</i>	<i>Urticaceae</i>	Annuelle	Ortie brûlante	Harriga
<i>Vaccaria hispanica</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	Annuelle	Saponaire, savonnière	Kohaila, karbaba
<i>Vicia benghalensis</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Vesce du Bengale	Bouzghayba
<i>Vicia sativa</i>	<i>Fabaceae</i>	Annuelle	Vesce cultivée	Bouzghayba
<i>Ziziphus lotus</i>	<i>Rhamnaceae</i>	Vivace	Jujubier	Sedra

Tableau 4: Principales adventices monocotylédones des céréales (Bouhache, 2020).

Noms scientifiques	Familles botaniques	Ethologie	Noms vernaculaires	
			Français	Marocains
<i>Arisarum vulgare</i>	<i>Araceae</i>	Vivace	Gouet à capuchon	Ayerni
<i>Avena sterilis</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Avoine stérile	Khortal
<i>Bromus rigidus</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Brome raide	Bahma, Sibousse
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Poaceae</i>	Vivace	Chiendent pied de poule	Njem
<i>Hordeum murinum</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Orge des rats	Sboul El Far
<i>Lolium rigidum</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Ivraie raide, ray grass	Madhoun
<i>Muscari comosum</i>	<i>Liliaceae</i>	Vivace	Muscari à toupet	Bassila
<i>Phalaris brachystachys</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Alpiste à épi court	Zouane, Fazouate
<i>Phalaris minor</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Petit Alpiste	Zouane, Fazouate
<i>Phalaris paradoxa</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Alpiste paradoxale	Zouane, Fazouate
<i>Poa annua</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Pâturin annuel	Boussibouss, Dzimi
<i>Vulpia geniculata</i>	<i>Poaceae</i>	Annuelle	Vulpie genouillée	Boussibouss

Tableau 5: Adventices des céréales des régions du Maroc.

Régions	Nombre d'espèces	Références
Abda	270	Wahbi & <i>al.</i> (1986)
Chaouia	315	Taleb et Maïllet (1994)
Doukkala	188	Boudhar et Taleb (1995)
Haouz	258	Tahri & <i>al.</i> (1994)
Loukkous	244	Bouhache & <i>al.</i> (1994)
Moulouya	286	Chafik & <i>al.</i> (2012)
Rhamna	204	Rahani (1986)
Saïss	269	Loudiyi (1985)
Souss-Massa	224	Tanji et Aït Elhaj (2010)

3. Impact des adventices sur les céréales

Les problèmes posés par les adventices (Photo 1) dans les agrosystèmes d'une région sont liés essentiellement à l'évolution de celles-ci sous la pression des pratiques culturales qui bouleversent la composition floristique des communautés adventices (Maillet, 1981). Caussanel (1989) a distingué deux types de nuisibilité: primaire ou secondaire (ou potentielle).

3.1. Nuisibilité primaire

La nuisibilité de la flore adventice qui infeste la culture au cours de son cycle est qualifiée de nuisibilité primaire (Montégut, 1976). Ces adventices entraînent deux sortes de nuisibilité: la nuisibilité primaire directe et indirecte. La première affecte prioritairement le potentiel de rendement de la culture, en raison de la concurrence biologique entre la culture et les adventices (Caussanel, 1989). Cette compétition concerne les ressources du milieu notamment la lumière, l'eau et les éléments minéraux (Nieto & *al.*, 1968, Tremel, 1989; Zimdahl et El Brahli, 1992; Bouhache & *al.*, 1994). Cette concurrence est très importante aux premiers stades de développement de la culture surtout si les adventices lèvent avant elle (Le Bourgeois, 1993). Dans certaines conditions de forte densité de peuplement et d'alimentation hydrique et minérale non limitantes, les adventices peuvent agir indirectement en entraînant la verse physiologique et/ou mécanique. Certaines espèces d'adventices, peuvent également entraver le travail de la moissonneuse- batteuse. En plus, la présence de semences d'adventices trop nombreuses, oblige le producteur à réaliser un tamisage complémentaire coûteux de la récolte. La nuisibilité primaire indirecte complique d'avantage la situation en entretenant le développement des champignons et des parasites sur les mauvaises herbes en tant que plante hôte et déprécie la qualité de la récolte à cause de la présence des impuretés dans les graines récoltées (Barralis, 1984; Bouhache, 2020).



Photo 1: Blé infesté par les adventices au Saïs dominées par le brome rigide et la folle avoine.

D'une manière générale, les pertes de rendements dues aux mauvaises herbes dépendent de la composition floristique de ces adventices, de leur degré d'infestation, de leur apparition par rapport au cycle de développement de la culture, du pouvoir compétitif de la culture et de l'environnement édapho-climatique. L'effet dépressif des adventices sur la culture des céréales est plus important en milieu pauvre qu'en milieu à fertilité élevée (Ameziane et Ouattar, 1989). En effet, les pertes du rendement varient entre 15 et 68% en fonction des régions, des conditions climatiques de l'année et de la nature de la flore adventice (Saffour, 1992, Taleb & *al.*, 1998). Certains auteurs (Hamal, 1993; Hasnaoui, 1994; Rsaissi et Bouhache, 1994) ont montré que parfois des baisses de rendement importantes (jusqu'à 70%) sont dues à l'effet d'une seule espèce, c'est le cas de l'oxalide (*Oxalis pes-caprae* L.) et du brome rigide (*Bromus rigidus* Roth.) respectivement dans la Chaouia et le Saïss.

3.2. Nuisibilité secondaire

La nuisibilité secondaire ou potentielle est liée à l'augmentation du stock en semence ou en organes de multiplication végétative d'un sol notamment bulbes, tubercules, etc. (Bouhache, 2020). À titre d'exemple, pour un potentiel semencier estimé à 4 000 semences viables par m², et si l'on admet des levées au champ de 5% et de 10% du nombre des semences enfouies, les infestations prévisibles d'une culture représentent 200 à 400 adventices par m² (Roberts, 1981; Caussanel, 1989).

4. Période critique de désherbage du blé

La période critique de compétition est définie comme étant la période pendant laquelle la présence des adventices entraîne une perte de rendement mesurable (Caussanel, 1989). Elle indique ainsi la meilleure période pour réaliser une ou plusieurs opérations de désherbage afin de prévenir les pertes inacceptables de rendements. Pour cette raison, elle est aussi appelée la période critique de désherbage. En d'autres termes, en dehors de cette période, la lutte contre les adventices n'est pas nécessaire ou ne contribue pas à l'amélioration du rendement potentiel de la culture (Bouhache, 2021). Dès lors, la généralisation d'un désherbage efficace est nécessaire, cependant, la question est de savoir comment les contrôler et à quel stade de la culture doit-on intervenir ? La quantification des pertes de rendement du blé dur causées par l'interférence d'une communauté adventice dominée par le brome a permis de montrer a) que le rendement en grains a été amélioré avec l'allongement de la période sans mauvaises herbes de la culture (PAM) à partir du semis (compétition tardive) et b) que plus la présence des mauvaises herbes avec le blé est longue, plus la perte de rendement est importante (Bouhache, 2021). Pour une culture donnée, la période critique de désherbage n'est pas une période fixe, mais elle varie avec le site, la saison, le sol, la nature et la densité des adventices (Zimdahl, 2004). Dans les conditions du Saïs, pour une perte de rendement de 15, 10 et 5% la période critique du blé dur devrait aller de 75-77 à 105-106 jours après semis (JAS), 44-60 à 126-127 JAS et 30-34 à 150-151 JAS selon les années (Rzozi & *al.*, 1998). En termes de stades de développement du blé, ces périodes correspondent, en moyenne, respectivement aux intervalles étalés entre les stades d'égrenage complet et de début d'épiaison, du tallage précoce/tallage complet à l'épiaison complète/début anthèse et du tallage précoce à la pleine floraison (anthèse). Les périodes indiquées montrent que pour minimiser les pertes et maximiser les rendements du blé, les efforts de désherbage doivent commencer au début du tallage et doivent être maintenus jusqu'à la pleine floraison (Saffour, 1992, Hamal, 1993 et Rzozi & *al.*, 1998).

5. Gestion des adventices

Le contrôle des adventices est d'une importance extrême afin de réduire l'infestation à des niveaux tolérables, et par conséquent, réduire leur effet sur les rendements et sur la qualité des céréales. Ainsi, toute opération de désherbage devrait limiter la concurrence des mauvaises herbes afin que la culture profite au mieux des facteurs de croissance, faciliter les conditions de travail, améliorer l'état sanitaire de la culture, limiter la ré-infestation des champs par les mauvaises herbes (Bouhache & *al.*, 2002).

Ainsi, une gestion qui devrait garantir un désherbage de qualité et durable doit être fondée sur quatre piliers; identifier les adventices problématiques de la parcelle ou de l'exploitation, intégrer les techniques culturales dans la stratégie, diversifier et alterner les modes d'action des herbicides, et respecter les techniques d'application appropriées et les bonnes pratiques phytosanitaires (Bouhache, 2020). Selon les statistiques des importations en pesticides à usages agricoles en 2018, les céréales d'automne occupent la première place en terme de consommation de pesticides dont 18% sont principalement des herbicides anti-dicotylédones ou /et anti-monocotylédones (Croplife Maroc, 2020).

5.1. Désherbage chimique

Au Maroc, le contrôle de la flore adventice des céréales est basé essentiellement sur la lutte chimique dont trois catégories d'herbicides sont mises sur le marché national: les anti-dicotylédones, les anti-graminées et les anti-dicotylédones et graminées à la fois. Ces produits commerciaux se composent de deux types de constituants, les matières actives qui leur confèrent une activité herbicide et les formulants qui complètent la formulation. Les formulants sont principalement soit anioniques, cationiques ou des solvants qui n'ont qu'un rôle de dilution des matières actives, ou bien soit des produits qui améliorent la préparation et l'efficacité du produit (CIRAD, 2000).

5.1.1. Mode d'action des herbicides

En plus du choix de l'herbicide et la méthode de son application, la connaissance du mode d'action des herbicides revêt une importance particulière. La connaissance du mode d'action permet de connaître les facteurs de réussite ou d'échec d'un traitement, de faciliter le diagnostic en cas d'accidents dus aux résidus d'herbicides et de bien gérer la résistance des mauvaises herbes aux herbicides. Le mode d'action englobe tous les phénomènes qui concourent à l'arrêt de la croissance ou la destruction d'une plante traitée avec un herbicide auquel elle est sensible. Le devenir de l'herbicide appliqué dépend de sa pénétration dans la plante, sa métabolisation qu'il peut subir, sa translocation (déplacement) vers son site d'action, son interaction avec sa cible biochimique et les conséquences physiologiques qui conduisent à la perturbation de la croissance ou la destruction de la plante. La quasi-totalité des herbicides systémiques pénètrent dans la plante, par les feuilles ou racines, où ils migrent pour atteindre cinq sites d'action dans les cellules: auxines, acides aminés ramifiés, acides aminés aromatiques, lipides et photosynthèse (Bouhache, 2017a). Avec le développement des résistances des adventices aux différents herbicides et pour bien gérer ce phénomène, le comité d'action pour les résistances aux herbicides (Herbicide Résistance Action Comité: HRAC) a préconisé la classification des matières actives des herbicides selon leurs sites d'action en leur attribuant une lettre par groupe (Tableau 6). La rotation ou changement des matières actives de différentes familles chimiques ayant la même lettre est une pratique inutile pour éviter ou retarder l'apparition de la résistance (Bouhache, 2017a).

Tableau 6: Code Herbicide Résistance Action Comité (HRAC) des herbicides utilisés sur céréales (Bouhache, 2020).

Code	Fonction physiologique	Site d'action	Familles chimiques	Matières actives
A	Synthèse des lipides	Inhibition de l'acétyl coenzyme carboxylase (ACCase) A	Aryloxyphénoxy propionates (Fops)	Clodinafop-propargyl Fénoxaprop-P-éthyle
			Phenylpyrazolines (Den)	Pinoxaden

Tableau 6: (Suite).

B	Synthèse des acides aminés	Inhibiteurs de l'acétolactate synthétase (ALS)	Sulfonylurées	Amidosulfuron Iodosulfuron-méthyl sodium Mesosulfuron-méthyle Metsulfuron-méthyle Sulfosulfuron Thifensulfuron-méthyle Triasulfuron Tribénuron-méthyle
			Triazolopyrimidines	Florasulame Flumetsulame pyroxsulame
			Sulfony-amino-carbonyl-triazolinones	Flucarbazone sodium
C1	Photosynthèse	Blocage des électrons du photosystème II	Triazinones	Métribuzine
C2			Urées substituées	Chlortoluron
F1	Photosynthèse	Inhibition de la phytoène-désaturase (PDS)	Pyridinécaboxamides	Diflufenican (DFF)
			Furanones	Flurtamone
G	Synthèse des acides aminés	Inhibition de la phosphénolpyruvate shykimate synthétase (EPSP)	Glycines	Glyphosate
K1	Division cellulaire	Inhibition de l'assemblage des microtubules	Dinitroanilines	Pendiméthaline
K3	Synthèse des lipides	Inhibition des enzymes élongases et de cyclisation (cires et subérine)	Oxyacétamides	Flufenacet
		Inhibition des enzymes de cyclisation et géranylphosphate (gibbérélines)	Thiocarbamates	Prosulfocarbe Triallate
O	Régulation de l'auxine	Activation de la division et de l'élongation cellulaire (croissance désorganisée)	Acides phenoxy-carboxyliques	2,4 D MCPA
			Acides benzoïques	Dicamba
			Acides pyridicarboxyliques	Aminopyralide Clopyralide
			Pyridyloxy-carboxyliques	Fluroxypyr
			Arylpicoliniques	Halauxifène-méthyle

5.1.2. Catégories des herbicides

Les herbicides mis en vente sur le marché national ont pour cible les dicotylédones et /ou les graminées et peuvent être utilisés en pré-semis, pré-levée et post-levée de la culture céréalière.

Herbicides de pré-semis et de pré-levée

Les traitements de pré-semis ou de pré-levée sont beaucoup utilisés pour les céréales conduites en semis direct ou en irrigué. L'utilisation des produits totaux non sélectifs à base du paraquat, diquat et du glyphosate est fréquente en semis direct. Ils sont appliqués sur la flore adventice ayant levé avant l'installation de la culture et peuvent être combinés avec le semis (Bouhache, 2021). Tous les herbicides de pré-levée exigent un sol bien travaillé non motteux et humide pour permettre leur efficacité. Ils sont recommandés pour désherber les céréales conduites en irrigué ou en bour favorable. Les herbicides contenant la pendiméthaline ne sont pas homologués au Maroc sur céréales, ils permettent de contrôler le coquelicot résistant au 2,4 D et aux herbicides de la famille des sulfonilurées et le ray-grass résistant aux Fops. Seulement quatre herbicides (à base de chlortoluron, prosulfocarbe, triallate ou (diflufenican + flurtamone + flulufenacet)) sont homologués pour une application en pré-levée pour le contrôle des dicotylédones et les graminées dans le blé (Bouhache, 2020).

Herbicides de post-levée

Herbicides anti-graminées et anti-dicotylédones

Après la levée de la céréale (Photo 2), les herbicides sont applicables en cours de végétation, avant et après la récolte de la culture. Pour contrôler les adventices en un seul passage, 15 herbicides homologués, dont 14 inhibiteurs de l'enzyme Acétolactate Synthase « ALS » (groupe B) sont applicables aux stades deux feuilles à fin tallage ou début montaison (Bouhache, 2020).



Photo 2: Efficacité de l'herbicide de post-levée à base de pyroxsulam sur les adventices du blé au Saïs.

Herbicides anti-graminées

Les herbicides anti-graminées sont plus utilisés dans les céréales conduites en intensif et pour la production des semences. Il existe 17 herbicides dénommés FOPs et DEN appartenant à la classe des

inhibiteurs de l'enzyme Acétyl-Coenzyme A Carboxylase «ACCase» (groupe A), responsable de la synthèse des lipides. Les herbicides composés de clodinafop-propargyl dominent largement la gamme. Tous ces herbicides anti-graminées ne contrôlent pas le brome, la vulpie et le pâturin annuel. Mais, ils contrôlent bien la folle-avoine, le ray-grass (non résistant) et les alpistes. Ainsi, une attention particulière doit être portée à la gestion du ray-grass qui a commencé à développer, ces dernières années, une probable résistance à ces 17 herbicides dans plusieurs régions céréalières au Maroc (Bouhache, 2020).

Herbicides anti-dicotylédones

Une gamme de 65 herbicides est homologuée pour gérer avec aisance tous les problèmes posés par les dicotylédones dans le blé, l'orge et le triticale. Elle fournit à elle seule les deux tiers des herbicides homologués pour cette filière au Maroc. Plus de 50% de ces herbicides anti-dicotylédones sont des produits à base de phytohormones (2,4D, MCPA, dicamba) (groupe O) qui sont utilisables à un stade avancé des céréales mi-tallage jusqu'à la montaison, car leur utilisation avant tallage ou après gonflement, pourrait provoquer l'enroulement des feuilles et la déformation et la stérilité des épis (Bouhache, 2020). Les phytohormones sont des herbicides plus anciens, utilisés pour contrôler les chardons, les centaurees le liseron, gérer la résistance du chrysanthème aux ALS et faire du désherbage de rattrapage. Les herbicides inhibiteurs de l'acétolactate synthétase « ALS » constituent la deuxième catégorie d'herbicides qui fournit le reste de produits anti- dicotylédones qui est utilisable pour le désherbage précoce (les deux matières actives tribénuron-méthyl et metsulfuron-méthyle dominant dans cette catégorie). L'arrivée des herbicides inhibiteurs de l'ALS, depuis les années 80, qui sont connus pour leurs matières actives puissantes, utilisables en petites quantités et efficaces sur les adventices difficiles échappant aux phytohormones classiques (Bouhache, 2020).

Le mélange extemporané entre les herbicides des deux catégories, un herbicide anti-dicotylédones et un herbicide anti-graminées ou deux herbicides anti-dicotylédones sinon plus est pratiqué pour élargir le spectre d'action du traitement et réussir l'opération du désherbage (Tableau 7). La pratique du mélange des herbicides ne doit pas être systématique, elle doit être justifiée agronomiquement et économiquement. En pratique, les herbicides sont mélangés en absence de tout raisonnement et sans connaître les conséquences possibles des interactions mises en jeu dans cette combinaison. En général, l'adoption de cette technique d'application des herbicides permet à l'utilisateur de tirer directement ou indirectement les avantages suivants: augmentation de la durée de l'opération de désherbage, amélioration de la sélectivité en réduisant les doses utilisées dans le mélange en comparaison avec la dose recommandée, remplacement (ou reconstitution) d'un herbicide habituel et efficace qui n'est pas disponible sur le marché en cas de rupture du stock, réduction des résidus d'herbicides aussi bien dans le produit récolté que dans le sol en utilisant des doses réduites, réduction du coût de production en économisant le temps et la main-d'œuvre, réduction de compactage du sol en éliminant certains passages de machines, réduction de chances d'apparition de la résistance des mauvaises herbes aux herbicides (Bouhache, 2017b). Parfois, l'ordre d'introduction des différents produits ou formulations peut hypothéquer la réussite du mélange, et par conséquent, l'opération de désherbage. La règle la plus simple est d'introduire les herbicides les plus solubles dans l'eau vers les moins solubles.

Tableau 7: Exemples de quelques mélanges pratiqués à grande échelle par les agriculteurs sur les céréales (Bouhache, 2017b).

Régions	Mélanges pratiqués	Raisons de choix
Saïs	Pallas 045 OD + Lancelot	Brome et coquelicot résistant
Chaouia	Pallas 045 OD + Derby + Printazole	Brome, fumeteres, mauves et chardon
Saïs	Lintur + phytohormones	Composées (centaurées et chardons)
Plusieurs	Cossack + phytohormones	Dicotylédones et graminées
	Antidicots + antigaminées	
Zaers	Granstar + Topik 080 EC	Emex et graminées

Herbicides de pré-récolte

Si l'année est pluvieuse, et que les pluies surviennent avant la récolte ou que l'opération de désherbage est ratée, une intervention tardive enfin du cycle avec des herbicides s'impose dans le cas de présence de mauvaises herbes au moment de la maturité physiologique du blé. Cette intervention de désherbage en fin de cycle contribuera à contrôler les vivaces et à faciliter la récolte. Mais, aucun herbicide de pré-récolte n'est homologué au Maroc (Bouhache, 2017a; Bouhache, 2020). Dans les conditions du Gharb, le désherbage tardif devient une nécessité pour faciliter l'opération de moisson, réduire la détérioration de la qualité des semences et diminuer le stock semencier des mauvaises herbes dans le sol (Bensellam, 2010). Dans ce contexte, l'évaluation de l'efficacité de deux produits totaux avant la récolte sur un blé en sénescence dans la station de recherche de Sidi Allal Tazi a montré une efficacité allant jusqu'à 98% du produit à base du paraquat (200 g/l) aussi bien contre les monocotylédones que les dicotylédones à partir de la dose de 2 l/ha. L'efficacité du traitement à base du glyphosate (360 g/l) à partir de la dose de 2l/ha a été surtout évidente sur les monocotylédones. Après sept semaines, les parcelles traitées avec le glyphosate étaient propres alors que celles traitées avec le paraquat ont eu une régénération végétative des pieds du *Phalaris* sp. et de *Polygonum aviculare* (Bouhache, 2020).

5.1.3. Conditions d'utilisation des herbicides

L'efficacité de tout traitement dépend d'un certain nombre de facteurs comme la matière active, la dose appliquée, l'espèce de mauvaises herbes à contrôler, la période d'application du traitement par rapport au stade de développement de la culture et les conditions climatiques régnant pendant le traitement (Bouhache, 2020). Avant de réaliser chaque traitement, l'agriculteur doit considérer les facteurs qui affectent l'efficacité à savoir: la dose, le moment d'application, le réglage du pulvérisateur, la vitesse d'avancement, la pression, la qualité de l'eau de bouillie, le choix des mélanges et d'adjuvants et le respect de certaines conditions climatiques lors du traitement. Les exigences des herbicides utilisés dépendent de leurs modes d'action. D'emblée, il faut s'abstenir de traiter durant les jours à températures très basses ou trop élevées pendant les jours qui encadrent le traitement. Les herbicides pourraient être agressifs vis-à-vis de la culture et/ou inefficaces sur la flore ciblée si l'amplitude thermique entre le jour et la nuit dépasse 15°C (Bouhache, 2020). Etant donné que l'importance du vent sur la dérive, une vitesse du vent de 10 à 15% est conseillée pour la réussite de l'opération de désherbage (Tanji, 2021). Le respect de ces conditions générales est nécessaire mais pas suffisant car il y en a d'autres facteurs à considérer selon les types d'herbicides (Bouhache, 2020).

5.1.4. Utilisation des adjuvants

D'après Bouhache (2015), les adjuvants sont des additifs ajoutés à la matière active pour améliorer les performances d'un herbicide ou pour réduire sa dose. Ils ont trois avantages: technique tel que la levée de facteurs limitants en facilitant le transport et celles relatives à l'utilisation de l'herbicide, technico-économique (régularité de l'efficacité, limitation de perte du produit, réduction de dose) et technico-environnemental (limitation de la dérive, forte rétention sur la cible). Ainsi, ils sont groupés dans deux catégories:

Adjuvants activateurs (mouillants, huiles et engrais azotés): améliorent l'activité d'un herbicide en augmentant son absorption par les mauvaises herbes;

Adjuvants utilitaires (humectant, anti-dérives et acidifiants): modifient les caractéristiques physico-chimiques de la bouillie.

Avec huit mouillants et quatre huiles, l'agriculteur marocain dispose de 12 adjuvants homologués pour améliorer les performances des herbicides choisis (Bouhache, 2020).

5.1.5. Résistance des adventices aux herbicides

Depuis l'an 2000, la résistance aux herbicides a été développée par quatre adventices dans les champs de céréaliculture au Maroc: deux graminées (le ray-grass et l'avoine stérile) et deux dicotylédones (le

coquelicot (Photo 3) et le chrysanthème à couronnes) (Bouhache, 2021). Il est à signaler que des cas de résistance de chrysanthème de moisson (*Chrysanthemum segetum*) ont été observés dans plusieurs régions mais ils restent non documentés ou datés (Bouhache, 2020). Sur le ray-grass résistant aux herbicides, la solution recommandée est le traitement de pré-levée ou de post-levée très précoce avec prosulfocarbe, triallate ou le mélange diflufénican + flufénacet + flurtamone (Tanji, 2021). En effet, tous les désherbants anti-graminées de post-levée n'ont aucun effet ou ont un effet très minime sur le ray-grass résistant. En présence de coquelicot, de chrysanthème et autres mauvaises herbes dicotylédones résistantes aux herbicides, les désherbants de post-levée précoces qui contiennent l'aminopyralide sont efficaces (Tanji, 2021). Ainsi, une bonne gestion des adventices des céréales repose sur la diversification de la lutte et la combinaison des contrôles chimique et non chimique, susceptibles de gérer et prévenir la résistance aux herbicides (Hamal, 2005; Bouhache, 2020).



Photo 3: Résistance du coquelicot aux herbicides anti-dicotylédones.

5.2. Moyens de désherbage non chimique

L'émergence, ces dernières années, de préoccupations environnementales (pollution des sols et de l'eau) et d'inquiétudes quant à la qualité des produits ainsi que l'augmentation des phénomènes de résistance aux herbicides (Dessaint & *al.*, 2001) accélère la demande de méthodes alternatives (de substitution ou de complément) à la lutte chimique contre les mauvaises herbes. Ces alternatives existent mais elles sont encore relativement peu utilisées car elles nécessitent une plus grande connaissance de la biologie et de l'écologie des mauvaises herbes au niveau spécifique (Dessaint & *al.*, 2001). Le non contrôle des adventices ou leur contrôle inadéquat, causent chaque année des pertes de rendements importantes. Il est donc recommandé d'adopter une approche intégrée pour les maîtriser au mieux (Alaoui, 2005).

5.2.1. Désherbage manuel

Le désherbage manuel qui consiste à arracher les mauvaises herbes à la main est une méthode ancestrale qui est encore utilisée dans les petites exploitations vivrières où l'élevage est important. Ainsi, les adventices peuvent jouer un rôle important dans l'alimentation du troupeau étant donné que l'infestation en adventices n'est jamais monospécifique dans un champ de céréales. Malgré les aspects négatifs du désherbage manuel (retard, piétinement et cassure de la culture etc.), il reste encore valable et utilisable dans la céréaliculture qu'elle soit intensive ou extensive. Les mauvaises herbes non contrôlées par un herbicide sont éliminées manuellement surtout si le stade de la culture (au-delà du gonflement) ne permet pas l'utilisation d'herbicides. De même, les multiplicateurs de semences font appel au désherbage manuel dans l'opération d'épuration des plantes d'adventices et d'autres variétés non voulues (Bouhache, 2020). Dans une étude menée par Chafik & *al.* (2014), l'utilisation des mauvaises herbes dans l'alimentation du bétail incite l'agriculteur à faire des arrachages tardifs. Cette technique

demeure la plus répandue dans presque la majorité des agrosystèmes notamment dans les petites propriétés. Toutefois, malgré qu'elle soit techniquement simple, cette opération est de plus en plus délaissée au profit du désherbage chimique en raison des contraintes liées à la disponibilité et au coût de la main d'œuvre, notamment pour les grandes et les moyennes exploitations.

5.2.2. Travail du sol

Il s'est avéré que les adventices ont tendance à se développer au sein d'une parcelle cultivée selon deux modes de propagation: de manière isolée ou en agrégats. Ces modes sont fortement dépendants des travaux agricoles effectués sur la parcelle, mais aussi du mode de reproduction des plantes sexué ou végétatif (Karkour, 2012). Thomas & *al.* (2009) ont montré que la répartition du stock semencier des adventices est plus élevée en labour, et celles-ci sont réparties presque de façon homogène dans le profil du sol travaillé (Tableau 8). Avec la simplification du travail du sol, le stock semencier diminue mais se concentre en surface. Le non labour réduit les racines des adventices, perturbe la dormance des semences, augmente l'humidité du sol et diminue la température, et tous ces changements induisent un changement du nombre et du type de mauvaises herbes (Nalewaja, 2001). Par ailleurs, pour certaines espèces aux semences fragiles comme le brome, le vulpin, le ray-grass ou le gaillet, un enfouissement de plus d'un an permet une réduction de leur viabilité (Chauvel & *al.*, 2001). Le travail du sol profond et superficiel permet une réduction de stock semencier du sol en brome raide de 96,6% et 66,7%, respectivement (Hamal, 2005). Le travail du sol moyennement profond a permis une réduction de la production grainière du brome de 73% par rapport au travail superficiel et de 57,9% par rapport au semis direct alors que le travail profond a réduit la production de semence de 40,3 et 61,7%, respectivement par rapport au semis direct et au travail superficiel (Hamal, 2005).

Tableau 8: Effet du Mode de travail du sol sur la répartition du stock semencier des adventices (Thomas & *al.*, 2009).

Outils \ Profondeurs	Répartition du stock semencier des adventices (%)		
	0-5 cm	05-10 cm	10-15 cm
Charrue à versoirs	37	25	38
Chisel	61	23	16
Billonnages	33	45	22
Semis direct	74	9	18

D'autre part l'enfouissement des graines du brome raide en profondeur peut réduire sa germination et par la suite diminuer sa dissémination et son infestation dans les champs des céréales. Ainsi la germination des graines enfouies dans les parties superficielles (0-5 et 5-15 cm) est élevée avec respectivement, 84 et 77% après 94 jours d'enfouissement contrairement au cas où ces graines sont enfouies dans les parties profondes (15-25, 25-35 et >35 cm) dont la germination est respectivement de 0 et 17% après 94 jours d'enfouissement (Hamal & *al.*, 2007). Néanmoins, ce type d'intervention d'enfouissement entraîne également la dormance des semences les plus persistantes, qui pourront au prochain labour être remises en surface. C'est pourquoi il peut être utile d'alterner travail du sol profond et superficiel afin de gérer au mieux la flore adventice (Aubertot & *al.*, 2011). Tanji & *al.* (1984) ont signalé que l'abus d'usage des outils à disques favorise la multiplication des géophytes.

5.2.3. Variétés compétitives

Le géotype joue un rôle très important dans le phénomène de concurrence entre une culture et les mauvaises herbes (Hamal, 2005; Bouhache, 2020). Des études comparatives ont permis de montrer que la réaction de différentes variétés des céréales vis-à-vis des mauvaises herbes n'est pas la même. Ainsi, les variétés hautes et ayant un tallage et un feuillage abondants sont agressives et méritent d'être considérées dans la conception d'une stratégie de désherbage. Ainsi, cette technique a l'avantage

d'être durable, économique et facile à adopter. Ces plantes se caractérisent par une croissance rapide, un port étalé et une capacité de tallage importante, entraînant ainsi une couverture rapide du sol et empêchant le développement des adventices en réduisant leur biomasse et par la suite leur stock semencier (Chafik & *al.* (2014). Les variétés possédant un pouvoir de couverture élevé ou un taux de croissance important peuvent réduire la biomasse des adventices de 25% (Melander & *al.*, 2005). De plus, les cultures levant plus rapidement que les adventices possèdent de ce fait un avantage compétitif certain (Guay, 2013). Pour être plus compétitives vis-à-vis les mauvaises herbes, les variétés de céréales doivent avoir une hauteur de la plante d'au moins un mètre, une germination rapide, des plantules vigoureuses et un bon tallage (Chhokar & *al.*, 2012).

5.2.4. Rotation des cultures

Elle consiste à perturber le cycle de développement des mauvaises herbes en diversifiant les cultures sur la même parcelle et les techniques appliquées aux cultures choisies. L'alternance des cultures sur la même parcelle a plus d'effets sur les mauvaises herbes à germinations automnales et hivernales que sur les espèces qui germent tout le long de l'année (Tanji, 2021). La rotation des céréales avec des cultures nettoyantes, comme les légumineuses alimentaires, la betterave à sucre, le tournesol; permet de réduire l'impact des mauvaises herbes sur la culture (Alaoui, 2005). En effet, Hamal & *al.* (2007) a rapporté que la pratique de la rotation légumineuse-céréale et l'introduction de la culture fourragère dans le système d'assolement permet une réduction substantielle du brome rigide. La diversification des dates d'installation (printemps et automne) permet ainsi d'éviter la spécialisation de la flore adventice. L'allongement de la durée de la rotation a également un impact fort sur la flore adventice (David, 2005). En effet, le calendrier cultural détermine les conditions de croissance que rencontre une espèce lors de sa mise en place. Ces conditions découlent des techniques appliquées à la parcelle pour chaque culture de la rotation notamment le travail du sol, l'installation de la culture, la fertilisation et la technique de désherbage.

5.2.5. Faux semis

Le faux semis est une préparation du lit de semences, mais sans être suivi d'un semis. Les graines d'adventices germent en surface, et sont ensuite détruites mécaniquement ou chimiquement. Il consiste à travailler le sol aussi finement que pour un semis et à laisser les graines de mauvaises herbes germer (Carab, 1987). L'objectif est de réduire le stock semencier du sol. L'opération peut être répétée plusieurs fois dans le cas d'une interculture longue sans culture intermédiaire. Réalisée avant l'implantation d'une culture, cette technique permet de diminuer de façon significative l'apparition d'adventices dans la culture suivante (Melander & *al.*, 2005). On cherche ainsi à éviter une compétition précoce susceptible d'impacter négativement la culture. L'intervalle de temps entre le premier et le second travail du sol doit favoriser un maximum de levée de plantules pour ainsi assurer le succès de la technique (Bond et Baker, 1990). En différant le semis de deux semaines, Leblanc et Cloutier (1996) ont observé que la technique du faux-semis peut permettre une réduction de 67% de la densité des adventices annuelles lorsqu'aucun moyen de contrôle n'est utilisé, comparé à un semis conventionnel. Ces observations sont semblables à celles notées par Gunsolus (1990) qui a obtenu des réductions de densités d'adventices variant entre 63 et 85% avec un semis différé de trois semaines. Généralement, le faux-semis ne modifie pas la composition floristique mais diminue la densité de chacune des espèces levées (Leblanc et Cloutier, 1996). En pratique, la profondeur maximale à ne pas dépasser est de 5cm. Pour diminuer le stock de semences, le faux semis doit être réalisé le plus de fois possible selon la durée de l'interculture et les conditions météorologiques. A noter que les faux-semis ne seront efficaces que si le sol est suffisamment humide pour permettre la germination des semences (Mischler & *al.*, 2012).

6. Conclusion

Bien que les efforts soient consentis par l'état pour promouvoir la céréaliculture au Maroc, les rendements moyens restent faibles. Cette faiblesse des rendements s'explique par les sécheresses et la non maîtrise des techniques culturales. Les efforts déployés à différents niveaux de l'itinéraire technique, pour améliorer et stabiliser les rendements, échouent souvent à cause de la non maîtrise des

mauvaises herbes. Outre, les préjudices directs causés par la compétition, l'allélopathie et le parasitisme, les adventices peuvent également avoir des effets indirects en augmentant le coût de production, en réduisant la valeur des terres agricoles et en servant de refuges aux vecteurs des maladies. La pratique du désherbage manuel reste la technique la plus courante, vu que les agriculteurs sous-estiment la très forte concurrence des mauvaises herbes avec la culture en début du cycle. Le non contrôle ou le contrôle inadéquat des mauvaises herbes réduisent la production nationale en céréales de 30% et engendrent ainsi des dépenses d'importations énormes. La stratégie de lutte intégrée des adventices dans les céréales est primordiale par le recours à des variétés compétitives, rotation des cultures, travail du sol raisonné, faux semis, bonne utilisation des herbicides efficaces et non résiduels et connaissance des mauvaises herbes nuisibles de la culture. La maîtrise du désherbage tout seul pourrait combler le déficit du pays en céréales et permettra au Maroc de garantir sa sécurité alimentaire en cette denrée stratégique.

Références

- Ait ElMekki A. (2006) Les politiques céréalières au Maroc: Les notes d'analyse du CIHEAM, 7: 1-24.
- Alaoui S.B. (2005) Référentiel pour la Conduite Technique de la Culture du blé tendre (*Triticum aestivum*). 10.13140/RG.2.1.3167.8804.
- Aubertot J.N., Guichard L., Petit M-S., Pleyber E., Reau R. & Seiler A. (2011) Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, Paris, 116 p.
- Barralis G. (1984) Weeds of crops: 50 to 500 million of seeds per ha (en). Cultivar, special weeds control, N°178:16-19.
- Bensellam E.H., Touahar A. & Zidane L. (2021) Effet de quelques herbicides chimiques sur le rendement grain du blé dur et ses composantes dans les conditions pédoclimatiques du Gharb – Maroc. AFRIMED Agricultural Journal. Al Awamia, 31: 73-90.
- Bond W. & Baker P.J. (1990) Patterns of weed emergence following soil cultivation and its implications for weed control in vegetable crops. In: Organic and low input agriculture, Unwin R. (ed), BCPC Mono. N°45, pp. 63-68.
- Boudhar H. & Taleb A. (1995) Flore adventice des céréales dans le périmètre irrigué de Doukkala: aspects botaniques, agronomique et écologique. Proceedings 2^{ème} congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 103-112.
- Bouhache M. (2015) Adjuvants pour herbicides: additifs pour doper le désherbage chimique. Agriculture du Maghreb, 90: 126-129.
- Bouhache M. (2017a) Atouts et faiblesses des herbicides utilisables sur céréales au Maroc. Agriculture du Maghreb (Hors-série-céréaliculture), 100: 10-16.
- Bouhache M. (2017b) Mélange extemporané des herbicides: atouts et risques. Agriculture du Maghreb, 101: 48-50.
- Bouhache M. (2018) Désherbage chimique des céréales: persistance des herbicides dans le sol et risque de phytotoxicité aux cultures suivantes. Agriculture du Maghreb, 114: 78- 81.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc, Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 376 p.
- Bouhache M., Boulet C. & Chougrani A. (1994) Aspects floristico-agronomiques des mauvaises herbes de la région du Loukkos (Maroc). Weed Research, 34:119-126.
- Bouhache M., Ezzahiri B. & Houmy K. (2002) Traitement phytosanitaire des céréales. Session de formation au profit des cadres et techniciens de l'ORMVA du Tadla, pp. 23-40. Croplife Maroc (2020) <https://www.croplife.ma/>.
- Bouhache M., Rzoui S.B, Taleb A. & Sakhi M. (2000) Nécessité du désherbage précoce de céréales pour la valorisation des inputs. Proceedings Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales, Association Marocaine de Malherbologie (AMM), pp. 93-107.
- Carab (1987) Les bases de la culture biologique des légumes. Maraîchage biologique, 2 p.

- Caussanel J.P. (1989) Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle: situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9(3): 219-240.
- Chafik Z., Berrichi A. & Taleb A. (2012) Etude des mauvaises herbes des céréales dans la plaine de la Moulouya (Maroc). *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 3: 1-12.
- Chafik Z., Bouhache M., Taleb A. & Berrichi A. (2014) Techniques de désherbage dans le périmètre de la Moulouya. Neuvième congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes, Rabat, pp. 11-24.
- Chauvel B., Guillemain J.P., Colbach N. & Gasquez J. (2001) Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop protection*, 20: 127-137.
- Chhokar R.S., Indu S. & Ramesh Kumar S. (2012) Weed management strategies in wheat – A review. *J. Wheat Res.*, 4(2): 1-21.
- CIRAD (2000) Les herbicides. <https://www.cirad.fr/>. 64 p.
- David C. (2005) Maîtrise des adventices en grandes cultures biologiques, ITAB, 32 p.
- Dessaint F., Chadœuf R. & Barralis G. (2001) Diversité des communautés de mauvaises herbes des cultures annuelles de Côte-d'Or (France). *Biotechnol. Agron. Environ.*, 5 (2): 91-98.
- Fellah Trade (2021) La filière céréalière. www.fellah-trade.com.
- Guay E. (2013) Étude de l'impact sur la flore adventice de plusieurs systèmes de culture à bas niveau d'intrants. DUMAS, archives ouvertes, 83 p.
- Gunsolus J.L. (1990) Mechanical and cultural weed control in corn and soybeans. *American Journal of Alternative Agriculture*, 5: 114-119.
- Hamal A. (1993) Concurrence entre le blé dur (*Triticum aestivum*) et une communauté d'adventice dominée par le brome dans le Saïs. Mémoire de 3^{ème} cycle, I.A.V. Hassan II, Rabat; 153 p.
- Hamal A. (2005) Elaboration des bases de gestion intégrée du brome raide (*Bromus rigidus* Roth) dans la culture de blé (*Triticum* spp.) dans le Saïs, Maroc. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur ès-Sciences Agronomique, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 173 p.
- Hamal A., Benbella M., Msatuf Y., Bouhache M. & Rzozi S.B. (2000) Utilisation du sulfosulfuron pour le contrôle du brome raide dans le blé au Saïs. Maroc. Proceedings 52nd International Symposium on Crop Protection, Gent, Belgium, 9 May 2000, Part I. Mededelingen-Faculteit-Landbouwkundige-en-Toegepaste-Biologische-Wetenschappen, Universiteit-Gent, 2000, 65 2a: 59-67.
- Hamal A., Alaoui S.B., Benbella M., Bouhache M. & Ameziane T. (2007) Effet de la profondeur d'enfouissement sur la levée et la viabilité des semences du brome raide (*Bromus rigidus* Roth.), *Al Awamia*, 121/122: 51-68.
- Hassnaoui A. (1994) Stratégie de lutte chimique contre le brome raide (*Bromus rigidus* Roth) dans le blé dur (*Triticum durum* Desf) et la féverole (*Vicia Fabea* L.) dans le Saïs. Mémoire de 3^{ème} cycle, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Jahandiez E. & Maire R. (1931/32/34) Catalogue des plantes du Maroc. Volumes 1, 2, 3, Lechevalier, Paris, France.
- Karkour L. (2012) La dynamique des mauvaises herbes sous l'effet des pratiques culturales dans la zone des plaines intérieures. Mémoire de magister, université ferhat abbas, Setif, Alger, 104 p.
- Leblanc M. & Cloutier D. (1996) Effet de la technique du faux-semis sur la levée des adventices annuelles. *Ann. Assoc. Nat. Prot. Pl.*, 10: 29-34.
- Loudiyi M.C. (1985) Étude botanique et écologique de la végétation du plateau de Meknès (Maroc). Thèse docteur-Ingénieur, U.S.T.L., Montpellier, France.
- Maillet J. (1981) Evolution des peuplements dans le Montpellieraise sous la pression des techniques culturales. Thèse DDI, USTL, Montpellier, 200 p.
- MAPMDREF (2021) Service des Statistiques de la Filière Végétale, Direction de la Stratégie et des Statistiques, Rabat.
- Melander B., Rasmussen I.A. & Bàrberi P. (2005) Integrating physical and cultural methods of weed control. Examples from European research. *Weed Science*, 53: 369-381.
- Mischler P, Lieven J, Dumoulin F. & Menu P. (2012) Itinéraires techniques intégrées du blé tendre d'hiver en PICARDIE. Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural.

- Montégut J. (1976) Caractère et répartition géographique des adventices messicoles en France, Tiré à part, E.N.S.H., Versailles, 10 p.
- Nalewaja J.D. (2001) Weeds and Conservation Agriculture. I World Congress on Conservation Agriculture, CAEF-FAO, Madrid (Espagne), pp. 191-200.
- Nieto H.J., Brondo M.A. & Gonzales J.T. (1968) Critical period of the crop growth cycle for competition from weeds. Pest articles and News summaries, section C, N°14: 159-166.
- ONICL (2021) Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses sur www.onicl.org.ma.
- Ouattar S. et Ameziane T.E. (1989) Les céréales au Maroc, de la recherche à l'amélioration des techniques de production. Éditions Toubkal, Casablanca, Maroc, 123 p.
- Rahani A. (1986) Étude floristico-agronomique des adventices de la région d'El Kelaâ des Sraghna. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir.
- Roberts H.A. (1981) Seed banks in soils. *Advances in Applied Biology*, N°6: 1-55.
- Rsaissi N. & Bouhache M. (1994) Chemical control of buttercup (*Oxalis pes-caprae* L.) in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Fifth Arab Congress of Plant Protection, Fez, Morocco, (abstract)
- Rzozzi S.B., Bouhache M., Hamal A. & Saffour K. (1998) Période critique de compétition entre le brome et le blé dur. *Bulletin National de Transfert de Technologie en Agriculture*, N° 41.
- Saffour K. (1992) Concurrence entre le blé dur et les mauvaises herbes dans le Saïs. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 175 p.
- Tahri M., Ben Chaaban A. & Outmane A. (1994) Diversité systématique des adventices messicoles du Haouz Central de Marrakech. *Reu. Rés. Amélio. Agr. Milieu Aride*, 6: 83-97.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozzi S.B. (1998) Flore adventice des céréales d'automne au Maroc. *Actes Inst. Agron. Vet. Hassan II*, 18 (2): 121-130.
- Taleb A. & Maillet J. (1994) Mauvaises herbes des céréales de la Chaouia (Maroc). I. aspect floristique. *Weed Research*, 34: 345-352.
- Tanji A. (2021) Rappel des différentes solutions de désherbage. *Agriculture du Maghreb*, 133: 50-52.
- Tanji A. & Ait Lhaj A. (2010) Adventices de l'orge et du blé dans la région de Souss-Massa. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 1: 11-23.
- Thomas G.A., Dalal R.C., Weston E.J. & al. (2009) Pasture-crop rotations for sustainable production in a wheat and sheep-based farming system on a Vertisol in south-west Queensland, Australia. *Anim. Prod. Sci.*, 49 (8): 682-695.
- Tremel L. (1989) Lutte contre les mauvaises herbes. Service de la Protection des Végétaux, pp. 1-13.
- Wahbi M., Taleb A. & Boulet C. (1986) Inventaire et caractéristiques botaniques et phytosociologiques des espèces adventices des céréales dans la plaine d'Abda (Maroc). *Projet de développement intégré ABDA-AHMAR*, Vol.8, M.A.R.A., D.P.V., Rabat, Maroc.
- Zimdahl R.L. & EL Brahli A. (1992) Pertes occasionnées par les mauvaises herbes dans les céréales en zones semi-arides du Maroc occidental. *Al Awamia*, 75: 53-61.
- Zimdahl R.L. (2004) *Weed-Crop Competition - A review*. Blackwell Publishing, 2d Edition, IOWA, USA, 229 p.

Gestion des adventices du maïs

Mohamed BOUHACHE

1. Introduction

Les maïs grain, fourrager et doux font de la culture du maïs la première céréale cultivée dans le monde en devançant le blé et le riz aussi bien sur la base de la surface emblavée que sur la base de la quantité produite. Originaire du Mexique et/ou de l'Amérique centrale, le maïs est cultivé sur tous les continents et sous des climats variés allant du tropical au tempéré. En outre, cette culture pourrait être conduite en agriculture vivrière qu'en agriculture intensive (Anonyme, 2021). Le maïs est destiné principalement à l'alimentation animale dans les pays développés (USA et Europe de l'ouest), alors qu'il est cultivé également pour l'alimentation humaine en Asie, Afrique et en Amérique latine. En 2019, les USA ont produit 350 millions de tonnes du maïs grain, soit 32% de la production mondiale suivis de la Chine, de l'Amérique latine (surtout le Brésil, l'Argentine et le Mexique) et de l'Europe respectivement avec 23, 15 et 12% (Anonyme, 2021). Durant la campagne 2018-2019, le maïs grain a été cultivé sur 160 millions d'hectares avec une production de 1054 millions de tonnes. Cette production a été utilisée pour l'alimentation animale (60%), l'industrie de maïs (30%) et l'alimentation humaine (10%) (Anonyme, 2021).

Au Maroc, le maïs est l'une des principales cultures d'été. Il est cultivé pour l'alimentation des humains et des animaux. Ainsi, les superficies emblavées annuellement, durant les cinq dernières campagnes agricoles, oscillaient entre 63 289 et 148 178 hectares en maïs grain et entre 33 761 et 59 821 hectares en maïs fourrager. Durant, la même période, les productions annuelles ont varié de 40 491 à 128 763 tonnes avec un rendement de 0,42 à 0,94 t/ha pour le maïs grain et de 1 518 520 à 2 464 716 tonnes avec un rendement de 41,2 à 47,0 t/ha pour le maïs fourrager (Tableau 1). Les emblavements annuels en maïs ont permis au maïs grain d'occuper la deuxième position après les céréales d'automne et au maïs fourrager d'occuper la troisième position derrière la luzerne et le bersim en irrigué (MAPMDREF, 2017).

Tableau 1: Superficie et production du maïs au Maroc (MAPMDREF, 2021).

Campagnes	Maïs grain			Maïs fourrager		
	Superficie (ha)	Production (tonnes)	Rendement (T/ha)	Superficie (ha)	Production (tonnes)	Rendement (T/ha)
2015-16	138 825	128 763	0,93	38 449	1 736 631	45,2
2016-17	130 742	122 399	0,94	38 312	1 801 102	47,0
2017-18	148 178	118 392	0,80	53 159	2 202 099	41,4
2018-19	63 292	40 491	0,64	33 761	1 518 520	45,0
2019-20	71 087	29 888	0,42	59 821	2 464 716	41,2

La culture du maïs est pratiquée dans toutes les régions du Maroc, à l'exception de la région d'Eddakhla-Oued Addahab. Par contre, le maïs fourrager est cultivé dans les deux autres régions du sud, Guelmim-Oued Noun et Laâyoune-Sakia Al Hamra. Dans le reste des régions, on y trouve les deux types du maïs (Tableau 2). Sur la base de la moyenne des emblavements enregistrés durant la période 2015-2020, les régions du Marrakech-Safi, du grand Casablanca-Settat et de Rabat-Salé- Kénitra sont les principales régions productrices du maïs grain, alors que les régions de Rabat-Salé- Kénitra, du grand Casablanca-Settat, du Souss-Massa et de Béni Mellal-Khénifra dominent les emblavements en maïs fourrager (Tableau 2). L'importance de cette culture et le rôle qu'elle doit jouer ne sont pas reflétés par les rendements moyens enregistrés aussi bien à l'échelle régionale qu'à l'échelle nationale (Tableau 1). Durant les cinq dernières campagnes agricoles, le rendement moyen régional du maïs grain variait entre 0,3 (Marrakech-Safi en 2015-16) et 4,1 t/ha (Rabat-Salé-Kénitra en 2016-17), alors que celui du maïs fourrager variait entre 0,8 (Laâyoune-Sakia Al Hamra en 2019-20)

et 90 t/ha (Guelmim-Oued Noun en 2015-16) (MAPMDREF, 2021). Avec le développement de l'aviculture et de l'élevage des vaches laitières et la popularité de la technique d'ensilage qui permet de produire un fourrage d'une haute qualité nutritive à un bon prix, la superficie réservée au maïs commence à prendre plus d'importance dans les régions où les possibilités d'irrigation existent. Malheureusement, les rendements moyens réalisés diffèrent d'une région à l'autre et parfois sont faibles par rapport aux potentialités de la culture. Cette faiblesse est due à plusieurs contraintes, entre autres, les dégâts occasionnés par les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes (Bouhache & *al.*, 2014). En effet, le maïs est très sensible à la compétition des mauvaises herbes durant les premières semaines après son émergence où les premiers stades de son développement (Bouhache & *al.*, 1989; Page & *al.*, 2012; Gantoli & *al.*, 2013). Ceci se traduit par des baisses du rendement observées au champ suite à la compétition précoce des mauvaises herbes avec le maïs. Ainsi, la gestion des mauvaises herbes dans la culture de maïs est obligatoire afin d'assurer une bonne production de la culture. Cependant, la stratégie de désherbage du maïs diffère d'un cas à un autre et doit être fondée sur un raisonnement. De ce fait, les traitements systématiques vont disparaître et de plus en plus vont être remplacés par une lutte intégrée ou par des interventions ciblées et ajustées en tenant compte de la nature des mauvaises herbes et de leur nuisibilité (en fonction de leur date de levée et du stade du maïs), des conditions pédoclimatiques, des méthodes de lutte permises et des coûts des opérations de désherbage.

Tableau 2: Superficie et production moyennes du maïs des régions du Maroc durant, période 2015-2020 (MAPMDREF, 2021).

Régions	Maïs grain			Maïs fourrager		
	Superficie (ha)	Production (tonnes)	Rendement (T/ha)	Superficie (ha)	Production (tonnes)	Rendement (T/ha)
Béni Mellal-Khénifra	657	1 684	2,56	5 101	271 307	53,19
Drâa-Tafilalet	1 248	2 946	2,36	83	1 162	14,00
Eddakhla-O. Addahab	0	0	0	0	0	0
Fès-Meknès	701	1307	1,86	2982	84905	28,47
Grand Casablanca-Settat	50 013	50 304	1,01	10 199	479 042	46,97
Guelmim-Oued Noun	0	0	0	74	3 846	51,97
Laâyoune-Sakia Al Hamra	0	0	0	15	12	0,80
Marrakech-Safi	51 913	19 889	0,38	1031	35 007	33,95
Oriental	64	69	1,08	545	20 762	38,10
Rabat-Salé-Kénitra	3 444	8 905	2,59	13 236	631 066	47,68
Souss-Massa	454	622	1,37	8 191	250 704	30,61
Tanger-Tétouan-Al Hoceïma	1 930	2 261	1,17	3 243	166 801	51,43

2. Caractérisation de la flore adventice

Les mauvaises herbes font partie des ennemis du maïs qu'il faut gérer pour garantir une bonne production (Photo 1). Leur élimination est recherchée quel que soit le prix ou l'effort nécessaire. L'importance de cette végétation indésirable découle de sa diversité et de son impact sur la culture. L'identification et la reconnaissance des adventices associées à la culture du maïs constituent une étape incontournable en vue d'entreprendre et/ou de réussir toute opération de désherbage. Au Maroc, la culture du maïs est conduite en bour (régime pluvial) et en irrigué. Ainsi, il est nécessaire de distinguer la flore associée à cette culture selon son mode de conduite ou son système de culture.



Photo 1: Champ du maïs infesté par les adventices au Gharb.

2.1. Flore associée au maïs non irrigué

Les champs du maïs conduit en bour renferment une flore adventice riche et diversifiée. Les prospections de 154 champs du maïs dans les régions de Chaouia, des Doukkala et d'Abda (Tanji & al., 1989) et de 100 champs dans la province de Settat (Tanji, 2003) ont permis d'inventorier 272 espèces adventices appartenant à 44 familles botaniques pour les trois régions et 200 adventices appartenant à 35 familles botaniques pour la province de Settat. Ces inventaires ont montré également que le cortège floristique associé au maïs non irrigué est largement dominé par la classe des dicotylédones avec 80-87% des espèces et les thérophytes (ou annuelles) avec 78-80% des espèces. Cette richesse est notée également au niveau parcellaire du moment que le nombre d'espèces adventices par champ prospecté oscillait entre 4 et 44 espèces avec une moyenne de 25 adventices/champ. Ceci met en évidence d'une part l'adaptation de cette flore adventice aux techniques culturales employées et d'autre part l'absence ou la faible utilisation des herbicides pour le désherbage du maïs en bour (Tanji, 2003).

Uniquement vingt espèces dicotylédones et une espèce monocotylédone (graminée) peuvent être considérées comme la flore adventice préoccupante dans nos champs du maïs non irrigué. L'importance agronomique de ces espèces a été appréciée sur la base du calcul de leurs fréquences relatives (Tableau 3). Biologiquement, ce cortège floristique comprend quatre espèces vivaces dont une graminée (le chiendent) et 17 espèces annuelles dont la majorité ont une germination préférentiellement automnale et/ou hivernale. Les annuelles à germination préférentiellement printanière et/ou estivale sont au nombre de six: *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium murale*, *Heliotropium europaeum*, *Chrozophora tinctoria*, *Chenopodium album* et *C. vulvaria* (Tanji & al., 1989). Cette catégorie d'adventices,

dominée par les espèces ayant un cycle biologique calqué sur celui du maïs, est plus compétitive et redoutable au maïs. A côté de ces espèces préoccupantes ou majeures existent beaucoup d'espèces mineures, peu fréquentes mais qui contribuent à la richesse floristique et exercent une nuisibilité par effet de cumul. Ainsi, une bonne gestion devrait considérer et surveiller cette catégorie car à long terme, elle pourrait changer de statut sous l'effet du changement climatique ou/et sous la pression des techniques culturales préconisées par les agriculteurs (Bouhache, 2020; Bouhache, 2021).

Tableau 3: Principales espèces adventices du maïs non irrigué au Maroc (Tanji & al., 1989; Tanji, 2003).

Espèce	Famille botanique	Classe botanique	Fréquence (%)
Vivaces			
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone	72-82
<i>Convolvulus althaeoides</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone	61-63
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	55-66
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone	47-49
Annuelles			
<i>Amaranthus blitoides</i> S. Wats.	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone	71-78
<i>Anagallis foemina</i> Miller	<i>Primulaceae</i>	Dicotylédone	65-68
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone	50-59
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone	56-60
<i>Heliotropium europaeum</i> L.	<i>Boraginaceae</i>	Dicotylédone	48-60
<i>Cichorium endivia</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	44-63
<i>Anchusa azurea</i> Miller	<i>Boraginaceae</i>	Dicotylédone	42-63
<i>Scorpiurus muricatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone	42-35
<i>Vaccaria hispanica</i> (Miller) Rauschert	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone	41-50
<i>Misopates orontium</i> (L.) Rafin	<i>Scrophulariaceae</i>	Dicotylédone	40-46
<i>Chrozophora tinctoria</i> (L.) Juss.	<i>Euphorbiaceae</i>	Dicotylédone	39-56
<i>Chenopodium album</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone	36-43
<i>Chenopodium vulvaria</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone	32-47
<i>Melilotus sulcata</i> Desf.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone	38-33
<i>Glaucium corniculatum</i> (L.) J.H.R.	<i>Papaveraceae</i>	Dicotylédone	38-46
<i>Calendula arvensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	35-34
<i>Sinapis arvensis</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	Dicotylédone	28-39

2.2. Flore adventice associée au maïs irrigué

Malgré l'importance du maïs irrigué, aucun inventaire exhaustif de la flore adventice de cette culture n'a été fait dans les régions maïsicoles du Maroc. Ainsi, la nature et/ou l'importance des adventices associées au maïs irrigué sont déduites, à titre indicatif, de plusieurs essais et visites effectués (par l'auteur) dans plusieurs régions (Chaouia, Gharb, Loukkos, Saïss, Sahara et Tadla) où le maïs est irrigué avec différents systèmes d'irrigation (aspersion, pivot et goutte à goutte). Une vingtaine d'espèces appartenant aux deux classes (dicotylédones et monocotylédones) et à différentes familles botaniques pourraient être considérées comme les principales adventices du maïs irrigué au Maroc (Tableau 4). Bien que deux espèces vivaces et six annuelles soient communes entre les maïs non irrigué et irrigué, contrairement à la flore adventice du maïs non irrigué, celle du maïs irrigué est dominée par les adventices à germination préférentiellement printanière et/ou estivale. Généralement, la flore adventice des deux types du maïs est relativement différente et tend à renfermer plusieurs espèces présentes et/ou problématiques dans le maïs de certains pays européens (Espagne, France et Italie) et de l'ouest de la Turquie. Effectivement, notre maïs a en commun 13 espèces avec la Turquie

(Dogan et Boz, 2005) et 11 avec les trois pays européens méditerranéens (Tableau 4) (Jensen & al., 2011). Le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*) est une espèce problématique du maïs cultivé sur les sols sableux surtout dans le périmètre irrigué du Loukkos, alors que la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) est une adventice redoutable pour le maïs au Tadla avec des infestations observées aussi au Gharb et au Sahara marocain. Le panic pied de coq (*Echinochloa crus-galli*) est une espèce fréquente dans le maïs cultivé sur les sols lourds du Gharb, surtout les anciennes rizières. La solanacée *Sclerophylax spinescens* est une adventice confinée dans le maïs cultivé dans la région saharienne de Fom El Oued (Ouest de Laâyoune au sud du Maroc). Dans cette localité agricole, cette *Solanaceae*, le chiendent (*Cynodon dactylon*) et la sétaria verticillée (*Setaria verticillata*) sont abondantes et dominent la flore adventice. Quant à l'abutilon de Théophraste ou le jute de chine (*Abutilon theophrasti*), il est devenu dernièrement une espèce sérieuse du maïs irrigué au Gharb (Moghrane) et au Saiss (Douiet). En dehors des espèces classiques du maïs (chénopodes, amarantes, morelles, sétaires, digitaires, panics etc.), le datura ou la stramoine (*Datura stramonium*), la renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*), la renouée (ou faux) liseron (*Polygonum convolvulus* = *Fallopia convolvulus*) et le mouron des oiseaux (*Stellaria media*) sont considérées actuellement comme adventices émergentes du maïs en Europe après le retrait de l'atrazine du marché des pesticides en 2004 (Anonyme, 2019).

Tableau 4: Principales adventices du maïs irrigué au Maroc.

Espèce	Famille botanique	Classe botanique
Vivaces		
<i>Convolvulus arvensis</i> L.*	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Cyperus rotundus</i> L.*	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone
Annuelles		
<i>Abutilon theophrasti</i> Medik.*	<i>Malvaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus albus</i> L. **	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus blitoides</i> S. Wats.*	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.*	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Brachiaria eruciformis</i> (Sm.) Griseb.**	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Chenopodium album</i> L.*	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chenopodium vulvaria</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chrozophora tinctoria</i> (L.) Juss.	<i>Euphorbiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Beta macrocarpa</i> Guss.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Datura stramonium</i> L. *	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.*	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) löve	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Polygonum aviculare</i> L.*	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Portulaca oleracea</i> L.*	<i>Portulacaceae</i>	Dicotylédone
<i>Sclerophylax spinescens</i> Miers	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone
<i>Sonchus oleraceus</i> L.*	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone

* Espèces fréquentes dans le maïs en Espagne, France et Italie, **: Baye (comm. pers.)

3. Impact de la flore adventice sur le maïs

Généralement, les agriculteurs ont plus de soucis sur l'effet des adventices sur la quantité et la qualité de leurs productions. Les pertes économiques sont causées par les mauvaises herbes d'une façon directe ou indirecte. Ainsi, ces mauvaises herbes perturbent les travaux agricoles, altèrent la qualité de

la récolte, réduisent les rendements et interfèrent avec d'autres ennemis de la culture surtout avec les champignons et les insectes.

3.1. Nuisibilité directe

En fonction de la nature du cortège floristique, de degré d'infestation des champs, de la région et des conditions climatiques de l'année, les mauvaises herbes associées à la culture du maïs pourraient engendrer des pertes de rendement potentielles de 43 à 64% dans les conditions du Gharb (Hachem, 1985; Bouhache & *al.*, 1989) ou du Tadla (Mahfoud, 1988; Zaim, 1989; Baye & *al.*, 2002). Le maïs est une culture très sensible à la concurrence des adventices. Bouhache & *al.* (1989) ont démontré que les chutes de rendement en grain, causées par un cortège floristique diversifié, sont considérables si la culture du maïs n'est pas désherbée avant ou juste après le stade 6-7 feuilles. Il y avait également 41 à 61 et 50% de réduction respectivement de la matière sèche totale et de la surface foliaire/plante quand les adventices ont persisté après ce stade. Parfois, une seule mauvaise suffit pour infliger à la culture autant de dégâts. Ainsi, la morelle jaune a sévèrement affecté la hauteur (16%), la surface foliaire (33%), la matière sèche (43%) et le rendement grain du maïs (64%) dans les conditions du Tadla (Baye et Bouhache, 2002). En outre, plusieurs études ont mis en évidence que le maïs est sensible à la compétition des mauvaises herbes durant les premières semaines après son émergence ou les premiers stades de son développement (Page & *al.*, 2012; Gantoli & *al.*, 2013). De même, il a été démontré expérimentalement que même en absence d'une compétition vis-à-vis des ressources du milieu, les mauvaises herbes avoisinant les plantules du maïs réfléchissent un faible ratio de la lumière rouge/infrarouge qui est perçu par la culture (comme signal d'ombrage), et par conséquent, le maïs réagit en changeant sa physiologie. Ce changement a des répercussions négatifs sur la morphologie, et par la suite, sur le rendement final de la culture (Afifi et Sawton, 2012). Ceci pourrait expliquer les baisses du rendement observées au champ suite à la compétition précoce des mauvaises herbes avec le maïs.

3.2. Nuisibilité indirecte

Les adventices pourraient être derrière l'aggravation de l'état sanitaire de la culture du maïs en créant les conditions favorables au développement des autres ennemis ou en assurant le rôle de relais ou de réservoirs pour les maladies et les insectes. La sésamie (*Sesamia nonagrioides* Lef.) est un fléau redoutable du maïs. Les chenilles de cet insecte s'introduisent dans les tiges et creusent des galeries; elles pénètrent également dans les épis et détruisent l'intérieur des grains. En outre, la formation des galeries empêche la montée de la sève et compromet la croissance des épis. Certaines graminées très fréquentes dans la culture du maïs telles que le panic (*Echinochloa crus-galli*), les sétaires (*Setaria verticillata* et *S. viridis*) et autres hébergent les premiers stades larvaires de la sésamie, servent de relais et constituent ainsi des sources importantes de contamination de la culture (Salah Bennani, 1974). L'envahissement du maïs fourrager par les adventices entraîne inéluctablement une réduction de la quantité et/ou la qualité du fourrage produit ou des intoxications végétales des animaux de l'élevage. Par exemple, la consommation du datura (*Datura stramonium*) ou de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) entraîne des troubles digestifs et nerveux, alors que l'ingestion de l'amarante réfléchie (*Amaranthus retroflexus*) cause des troubles digestifs et rénaux chez les animaux (Abdennebi et Taleb, 2019). Effectivement, une année dans un domaine au Loukkos, la contamination de l'ensilage du maïs par l'amarante réfléchie a provoqué la diarrhée chez les vaches laitières du domaine (Ait Houssa, comm. Pers.). La toxicité des animaux par les espèces accumulatrices des nitrates et fréquentes dans le maïs telles que les amarantes, la stramoine, les chénopodes, les moutardes, les mauves, les orties, etc. est très connue.

4. Période critique de désherbage du maïs

En pratique, après l'identification des principales adventices et l'appréciation de leur infestation, les agriculteurs se posent la question quand faut-il désherber ? Dans toute stratégie de désherbage, il est nécessaire de répondre à cette question fondamentale. Le concept de la période critique de compétition

apporte une partie de la réponse à cette question. La période critique de compétition (PCC) est définie comme étant «la période pendant laquelle la présence des adventices entraîne une perte de rendement mesurable » (Caussanel, 1989). Elle indique ainsi la meilleure période pour réaliser une ou plusieurs opérations de désherbage afin de prévenir les pertes inacceptables de rendements. Pour cette raison, elle est aussi appelée la période critique de désherbage (PCD). En d'autres termes, en dehors de cette période, la lutte contre les adventices n'est pas nécessaire ou ne contribue pas à l'amélioration du rendement potentiel de la culture (Bouhache, 2021).

Dans l'approche de gestion intégrée des adventices dans une culture, la notion de la PCD joue un rôle très important dans le contrôle de la végétation qualifiée d'indésirable. Sa détermination permet de cibler les traitements, et par conséquent, d'optimiser le désherbage dans le temps surtout dans le cas des stratégies basées sur les traitements de post émergence. Effectivement, la connaissance de la PCD et les facteurs actifs sur elle est essentielle pour pouvoir prendre la décision sur le moment approprié de désherbage et utiliser d'une façon efficiente les herbicides choisis. Pour une culture donnée, la PCD n'est pas une période fixe, mais elle varie avec le site, la saison, le sol, la nature et la densité des adventices (Zimdahl, 2004). Ainsi, la durée de la PCD pour le maïs dépend essentiellement de la relation entre la période d'émergence et la période de désherbage et les pertes des rendements, les techniques culturales et le niveau des pertes acceptées (Tableau 5). Généralement, le niveau des pertes de rendement toléré est arbitraire et oscille entre 2 et 10% avec 5% comme le niveau le plus considéré dans plusieurs études ou pays. Plus le seuil de pertes est élevé ou tend vers zéro, plus la PCD est étendue c'est-à-dire la culture doit être exempte d'adventices durant une longue période. Pour un niveau de pertes de 5%, la PCD est généralement comprise entre 1 à 3 feuilles et 8 à 10 feuilles du maïs (Tableau 5). Dans les conditions du Gharb, le désherbage du maïs devrait être fait au plus tard au stade de 6 à 7 feuilles du maïs alors qu'au Tadla l'intervention devrait être faite juste après ce stade. Avec une intervention au stade 11 à 12 feuilles, comme pratiqué par les agriculteurs du périmètre irrigué du Tadla, une perte de 15% est déjà affichée (Tableau 5) (Baye et Bouhache, 2002). En général, le début de la PCD est plus variable que sa fin. Dans les conditions pratiques du terrain, la fin de la PCD se situe au stade 10 feuilles, car il est difficile et même risqué d'intervenir avec des machines et/ou outils tractés après ce stade dans les grandes exploitations mécanisées (Ben Mansour, comm. Pers.).

Tableau 5: Périodes critiques de désherbage du maïs dans quelques pays et au Maroc.

Pays	Périodes		Pertes de rendement tolérées (%)	Références
	Début	Fin		
Brésil	3 feuilles	8 feuilles	5	Ruyet (2006)
Canada (Ontario)	3 feuilles	14 feuilles	2	
	6 feuilles	13 feuilles	2,5	
USA (Caroline du sud)	1-5feuilles	6-10 feuilles	5	
Italie	1-7 feuille	7-10 feuilles	5	Mahmoodi & Rahimi (2009)
Turquie	3 feuilles	10 feuilles	5	Ruyet (2006)
Iran	8 feuilles	9 feuilles	20	Mahmoodi & Rahimi (2009)
	6 feuilles	12 feuilles	10	
	5 feuilles	15 feuilles	5	
	4 feuilles	17 feuilles	2,5	
Maroc (Gharb)	2 feuilles	6 -7 feuilles	?	Hachem (1985) Bouhache & al. (1989)
Maroc (Tadla)	11-12 feuilles	floraison	15	Baye et Bouhache (2002)
	9-10 feuilles	grain pâteux	10	
	7-8 feuilles	grain pâteux	5	

5. Gestion des adventices

Ayant un cycle relativement court, la culture du maïs est très sensible à la concurrence des adventices qui lui sont associées depuis sa levée jusqu'au recouvrement des interlignes. Ainsi, la règle de réussite d'une opération de désherbage est « plus on attend, plus on perd ». Effectivement, après la réussite de l'installation de la culture du maïs, son désherbage est considéré la deuxième étape cruciale dans l'itinéraire technique qui permet d'avoir le maximum de production. Pour atteindre ce niveau de production, les agriculteurs adoptent différentes stratégies de désherbage, avant et/ou après la levée du maïs, en utilisant des herbicides ou des sarclages (Tanji, 2015; 2021). Sur cette base, il existe cinq grands types de stratégies de désherbage du maïs:

- Stratégie basée sur les herbicides de pré-levée,
- Stratégie basée sur les herbicides de post-levée,
- Stratégie basée sur les herbicides de pré-levée et de post-levée,
- Stratégie basée sur le sarclage,
- Stratégie mixte basée sur la combinaison des herbicides avec le sarclage.

Vu la diversification et la richesse de la flore adventice du maïs, il est impensable de croire qu'il existe une stratégie universelle qui passe partout au niveau d'une région et/ou d'une exploitation. En outre, il ne faut pas écarter de vue que d'autres techniques culturales ou leviers agronomiques sont extrêmement importants dans la gestion des adventices: la technique du faux semis, le labour, la rotation, la date et la dose de semis, etc. De ce fait, une stratégie de désherbage du maïs doit être fondée sur un raisonnement et que les traitements systématiques devraient disparaître et remplacés par des interventions ciblées et ajustées en tenant compte de la nature des mauvaises herbes et de leur nuisibilité (en fonction de leur date de levée et du stade du maïs), des conditions pédoclimatiques, du temps de travail et des coûts du traitement (Bouhache & *al.*, 2014; 2015). De même, il ne faut pas perdre de vue qu'à l'instar de ce qui se passe ailleurs, les pratiques de désherbage du maïs sont sujettes à être modifiées à tout moment pour répondre aux pressions réglementaires, sociétales et environnementales.

5.1. Herbicides de pré-levée

Les herbicides de pré-levée sont appliqués au sol après le semis de la culture et avant la levée des adventices et de la culture. Ils pourraient également être appliqués en post levée précoce du maïs mais avant la levée des adventices. Cette catégorie d'herbicides empêche la germination et/ou la levée des adventices. De ce fait, ces traitements sont intéressants pour les semis précoces et ont l'avantage d'éviter la compétition précoce des adventices auxquelles le maïs est très sensible, d'avoir la possibilité de rattrapage en cas d'échec ou de contrôler des graminées non maitrisables avec les herbicides de post-levée. Cependant, ils ont une faible efficacité sur les vivaces ou en conditions sèches. De même, leur efficacité dépend de la texture, le pH, le taux de matière organique et l'humidité du sol. Les trois premiers facteurs sont aussi des facteurs qui déterminent la dose à appliquer. Généralement, les sols filtrants à texture grossière et pauvre en matière organique nécessitent des doses plus faibles que celles recommandées pour éviter la phytotoxicité chez le maïs, alors que les sols lourds et riches en matière organique ont besoin de doses plus élevées pour assurer une efficacité sur les adventices. Pour réussir un désherbage de pré-levée, il faut que le sol soit bien travaillé (sans motte, plantes et résidus végétaux à la surface) et suffisamment humide (humidité >10 mm dans 8 à 10 jours après traitement) et les semences du maïs soient bien enterrées dans le sol pour garantir la sélectivité de position de cette catégorie d'herbicides (Benoist, 2004; Tanji, 2021). Un excès d'eau pourrait entraîner les herbicides de pré-levée au niveau des racines du maïs, et par conséquent, causer la phytotoxicité de la culture. Au Maroc, quatre matières actives (mésotrione, pendiméthaline, s-métolachlore et terbutylazine) sont à la base de la totalité des herbicides de pré-levée homologués pour le désherbage du maïs (Tableau 6). Seulement, sept herbicides de pré-levée (avec quatre sites d'action différents) sont homologués pour contrôler aussi bien les dicotylédones que les graminées dans une culture du maïs (Tableau 6). En outre, ces herbicides ont aussi l'avantage d'être recommandables pour gérer le problème du ray-grass résistant aux herbicides anti-graminées de type ALS, Fops, Dims et Den (Bouhache, 2020; Tanji, 2021).

Tableau 6: Herbicides de pré-levée homologués pour le désherbage du maïs au Maroc (ONSSA, 2021).

Matières actives	Classification HRAC*	Produits commerciaux	Dose/ha
Pendiméthaline	K1	Benjweed	4,0 L
		Fist 30 EC	
		Panida	
S-métolachlore	K3	Dual Gold 960 EC	1,5 L
		Signal Gold 96 EC	
S-métolachlore + terbutylazine	K3 + C1	Primextra TZ Gold	4,0 L
Mesotrione + S-métolachlore + terbutylazine	F2 + K3 + C1	Lumax 537,5 SE	4,0 L

*Herbicide Resistance Action Committee

Tous ces herbicides de pré-levée (disponibles sur le marché) ont affiché de bonnes à très bonnes efficacités herbicides (Photo 2), approuvées expérimentalement en Chaouia (Faouzi & *al.*, 2010) au Gharb et au Loukkos (Bouhache & *al.*, 2014) et à grande échelle au Loukkos (Aït Houssa & *al.*, 2008) et dans d'autres régions du Maroc (Observations personnelles). L'efficacité globale notée pour chaque herbicide testé n'est que la résultante de la réaction de chaque espèce constituant le cortège floristique de chaque site. Effectivement, la sensibilité des adventices varie selon l'herbicide (Tableau 7). Ainsi, la technique d'associer deux herbicides (de préférence à sites d'action différents) à moitié dose s'avère judicieuse et intéressante non seulement pour élargir le spectre d'action mais aussi d'éviter ou du moins retarder l'apparition du phénomène résistance des mauvaises herbes aux herbicides (Photo 3). En Chaouia, le mélange d'un herbicide à base de la pénédiméthaline + lumax ou le mélange d'herbicides à base de s-métolachlore + (s-métolachlore et (mésotrione + s-métolachlore + terbutylazine) ont permis d'avoir des efficacités de 99 à 100% (Faouzi & *al.*, 2010). De même, Aït Houssa & *al.* (2008) ont signalé que le mélange d'un herbicide à base de la pénédiméthaline + (s-métolachlore et (mésotrione + s-métolachlore + terbutylazine) a donné de meilleurs résultats sur maïs conduit en sol sableux. A efficacité égale et/ou à spectre semblable, la dimension économique doit être prise en considération dans le choix d'une stratégie de désherbage du maïs. Toutefois, le coût d'un herbicide ou d'une association d'herbicides ne devraient pas être ni la première ni la seule base du choix.



Photo 2: Efficacité de l'herbicide de pré-levée (mésotrione + s-métolachlore + terbutylazine) sur les adventices du maïs au Loukkos.

Tableau 7: Sensibilité de certaines adventices du maïs aux herbicides de pré-levée (Bouhache & al., 2014).

Espèces	Herbicides			
	Pendiméthaline	S-métolachlore	S-métolachlore + terbutylazine	Mésotrione + s-métolachlore + terbutylazine
<i>Digitaria sanguinalis</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Paspalum distichum</i>	T	T	T	T
<i>Phalaris brachystachys</i>	T	T	TS	TS
<i>Cyperus rotundus</i>	T	MS	S	S
<i>Amaranthus blitoides</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Anagallis arvensis</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Beta macrocarpa</i>	TS	MS	TS	TS
<i>Chenopodium album</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Chenopodium murale</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Chrozophora tinctoria</i>	MS	MS	S	TS
<i>Cichorium endivia</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Datura stramonium</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Misopates orontium</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Polygonum convolvulus</i>	S	T	TS	TS
<i>Sinapis arvensis</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Sonchus oleraceus</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Stellaria media</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Teucrium resupinatum</i>	TS	TS	TS	TS
<i>Urtica urens</i>	TS	T	TS	TS

TS: Très sensible (95-100%); S: Sensible (80-95%); MS: Moyennement sensible (60-80%); T: tolérante (0-60%).



Photo 3: Efficacité de la combinaison de deux herbicides de pré-levée (s-métolachlore et (mésotrione + s-métolachlore + terbutylazine)) sur les adventices du maïs au Gharb.

5.2. Herbicides de post-levée

Contrairement aux herbicides de pré-levée, ceux de post-levée sont utilisés après la levée des adventices et du maïs. Cette catégorie d'herbicides permet d'abord de dépasser les contraintes du sol qui compromettent l'efficacité et la sélectivité des herbicides de pré-levée, de choisir les herbicides sur la base de la flore adventice visiblement présente dans une parcelle et de moduler leurs doses en fonction de l'infestation et le stade des adventices. En outre, les herbicides de post-levée permettent de contrôler les vivaces et les annuelles les plus difficiles à maîtriser s'ils sont appliqués quand il faut et comme il faut (Bibard, 2000; Benoist, 2004). Enfin, les herbicides de post-levée permettent aussi de rattraper la non réalisation ou l'échec de désherbage chimique de pré-levée. Les herbicides de post-levée sont absorbés par les feuilles ou par les feuilles et les racines, et par voie de conséquence, ils arrêtent la croissance et le développement des adventices traitées. Ainsi, ces herbicides ne contrôlent pas la levée échelonnée des adventices et ils sont sensibles aux conditions climatiques. Pour réussir un désherbage de post-levée, il faut que le maïs dépasse le stade pointant pour éviter toute phytotoxicité éventuelle et que les adventices soient très jeunes et non stressées. En outre, l'humidité relative de l'air doit dépasser 70%, le sol suffisamment humide et la température au moment de traitement comprise entre 10 et 20°C (Benoist, 2004; Tanji, 2021). Les agriculteurs marocains disposent de neuf matières actives représentées par 13 herbicides ayant quatre sites d'action et utilisables en post-levée du maïs aux stades de 2 à 8 feuilles. Une seule matière active (Bromoxynil) ne contrôle que les adventices dicotylédones et plus de 50% des herbicides renferment dans leurs compositions chimique une matière active qui inhibe l'enzyme ALS intervenant dans la synthèse des acides aminés ramifiés (classée B selon HRAC) (Tableau 8).

Tableau 8: Herbicides de post-levée homologués pour le désherbage du maïs au Maroc (ONSSA, 2021).

Matières actives	Classification HRAC*	Produits commerciaux	Dose/ha	Stade du maïs
Bromoxynil	C3	Emblem Flo	1,0 L	2-8 feuilles
Nicosulfuron	B	Sangar	1,5 L	2-5 feuilles
Pyridate	C3	Lentagran	0,9 Kg	3-8 feuilles
		Lentagran 600	1,5 L	
		Onyx		
Rimsulfuron	B	Harris 25 WG	0,06 kg	4-6 feuilles
Tembotrione	F2	Laudis WG	0,5 kg	2-8 feuilles
Dicamba + Nicosulfuron	O + B	Kaltor	0,25 Kg	2-4 feuilles
Dicamba + Topramezone	O + F2	Clio Star	1,0 L	4-5 feuilles
		Stellar Star		
Foramsulfuron + Iodosulfuron-méthyl-sodium	B + B	Maister OD	1,25 L	2-6 feuilles
Dicamba + Nicosulfuron + Rimsulfuron	O + B + B	Draphen WG	0,4 Kg	3-4 feuilles
		Rinidi WG		

*Herbicide Resistance Action Committee

Des essais conduits au Gharb et au Loukkos ont permis de montrer que les herbicides à base de (dicamba + topamezone), (foramsulfuron + iodosulfuron-méthyl-sodium) ou de rimsulfuron sont sélectifs sur le maïs et que leurs efficacités sur les dicotylédones sont bonnes à excellentes (90 à 99%) selon le site (Bouhache & al., 2015) (Photo 4). Le même niveau du contrôle des dicotylédones avec rimsulfuron a été noté aussi en Chaouia par Faouzi & al. (2010). L'efficacité globale notée pour chaque un herbicide n'est que la résultante de la réaction de chaque espèce constituant le cortège floristique du chaque site au moment de son application (Tableau 9). Ainsi, la connaissance de la sensibilité des adventices aux différents herbicides de post-levée permet de concevoir des mélanges d'herbicides qui contrôlent le maximum d'espèces. En grande échelle, il est fréquent de voir des agriculteurs qui mélangent un herbicide avec un autre à base d'une phytohormone (principalement 2,4-D à moitié dose) en cas d'infestation du maïs par les liserons (*Convolvulus arvensis* et *C. althaeoides*).

Dans ce cas, le maïs ne doit pas dépasser le stade de 5 feuilles lors de traitement pour éviter sa phytotoxicité. Certains herbicides de pré-levée pourraient également être utilisés en post-levée précoce pour maîtriser une infestation particulière. Par exemple, lumax est utilisé en post-levée pour le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*) à condition que ce dernier soit très jeune (1-3 feuilles) (Mihi, comm. pers.).



Photo 4: Efficacité de l'herbicide de post-levée (dicamba + topramezone) sur les adventices du maïs au Gharb.

Tableau 9: Sensibilité de certaines adventices du maïs à quelques herbicides de post-levée (Bouhache & *al.*, 2015).

Espèces	Herbicides		
	Dicamba + Topramezone	Foramsulfuron + iodosulfuron- méthyl-sodium	Rimsulfuron
<i>Amaranthus blitoides</i>	TS	TS	TS
<i>Amaranthus retroflexus</i>	TS	TS	TS
<i>Anagallis arvensis</i>	T	TS	TS
<i>Beta macrocarpa</i>	TS	TS	S
<i>Chenopodium album</i>	TS	TS	TS
<i>Chrozophora tinctoria</i>	TS	TS	S
<i>Cichorium endivia</i>	TS	TS	TS
<i>Cyperus rotundus</i>	T	MS	MS
<i>Mesopates orontium</i>	TS	TS	TS
<i>Paspalum distichum</i>	TS	T	T
<i>Phalaris brachystachys</i>	TS	TS	TS
<i>Polygonum convolvulus</i>	TS	S	S
<i>Portulaca oleracea</i>	TS	TS	S
<i>Senecio vulgaris</i>	TS	TS	TS
<i>Sonchus oleraceus</i>	TS	TS	MS
<i>Stellaria media</i>	TS	TS	TS
<i>Teucrium resupinatum</i>	TS	TS	S
<i>Urtica urens</i>	S	TS	TS

TS: Très sensible (95-100%); S: Sensible (80-95%); S: Moyennement sensible (60-80%); T: tolérante (0-60%).

5.3. Herbicides de pré et de post-levée

Cette stratégie est basée sur l'application en séquence des herbicides de pré et de post-levée du maïs sur la même parcelle. Elle a l'avantage d'être souple selon le stade du maïs, très adaptée au maïs conduit en semis direct ou souhaitable en cas de fortes infestations par les adventices. L'utilisation des herbicides de post semis ou de pré-émergence s'impose pour atténuer la compétition précoce des mauvaises herbes et réduire l'infestation, alors que le recours aux herbicides de post-émergence est nécessaire sinon indispensable pour rattraper les insuffisances des traitements de prélevée, élargir le spectre d'action d'une stratégie de désherbage ou tout simplement pour maîtriser l'échelonnement de germination des adventices. Cependant, cette stratégie est considérée par les agriculteurs d'être très coûteuse. La réussite de cette stratégie dépend des mêmes conditions de réussite des herbicides de pré et de post-levée. Les traitements de pré-semis sont beaucoup utilisés pour le maïs conduit en semis direct au Loukkos et au Gharb (Ait Houssa, comm. pers.). L'utilisation des produits totaux (non sélectifs) à base du glyphosate restent de loin les plus dominants en ce mode de conduite. Ils sont appliqués sur la flore adventice ayant levé et 2 à 3 jours avant l'installation de la culture (Belbassir, comm. pers.). Au Loukkos, Ait Houssa & *al.* (2008) utilisaient les herbicides de post-levée à base de rimsulfuron, au stade 2-3 feuilles du maïs, pour contrôler les repousses de céréales non maîtrisées par les herbicides de pré-levée. Avec leurs sites d'action différents de ceux des herbicides de prélevée, non seulement les herbicides de post-émergence vont élargir le spectre d'action des stratégies de désherbage mais aussi vont contribuer à éviter ou du moins à retarder l'apparition de la résistance des mauvaises herbes aux herbicides.

5.4. Sarclage

Le sarclage est une méthode de désherbage non chimique qui consiste à arracher les adventices à l'aide d'outils mécaniques (tractés par tracteur ou animal) ou à main (avec binettes) pour les détruire (Photo 5). Il présente un intérêt certain dans le cas d'absence ou de l'inefficacité des herbicides. En plus de l'élimination de la végétation indésirable, le sarclage (binage) permet également d'ameublir et aérer le sol, de décroûter les sols battants, de limiter les pertes d'eau et de ruissellement ou autres (Tableau 10). Cependant, son efficacité dépend du climat et de la bonne maîtrise des outils de travail, il est peu efficace sur les vivaces, sur les plantes sur lignes non contrôlées et les nouvelles germinations (Photo 6). En outre, la réussite du sarclage nécessite un sol ressuyé, un temps sec (plus de 48 heures) et du soleil pour la dessiccation des plantes arrachées (Bibard, 2000; Benoist, 2004). Le sarclage mécanique est déconseillé en cas d'infestation du maïs par les adventices vivaces telles que le chiendent, le souchet à tubercule, les liserons, la morelle jaune, etc., car chaque intervention ne fait que fragmenter leurs systèmes racinaires, et par conséquent, favoriser l'émergence de nouvelles plantes. L'élimination des adventices selon cette stratégie pourrait être faite avant le semis du maïs (technique de faux semis ou du demkel (idmkalen en berbère) connus par les agriculteurs) ou après la levée du maïs. La technique du faux semis est un moyen très efficace pour diminuer le stock de semences des adventices dans les sols. Il consiste à provoquer la germination des mauvaises herbes par une première préparation du lit de semence sans semer le maïs. Une seconde préparation du lit de semence est effectuée plus tard lorsque les adventices ont émergé ou ont germé. Ce second passage agit comme un sarclage et offre un excellent premier contrôle des adventices. Dans la technique de demkel, la germination des adventices est provoquée par une bonne irrigation. Le sarclage est fréquemment utilisé en agriculture biologique, dans les petites exploitations et/ou dans les régions où le maïs est cultivé en bour (sans irrigation). Dans une région semi-aride comme la Chaouia, Zimdahl & *al.* (1992) ont montré, sur la base d'une enquête, que la culture du maïs n'était pas désherbée chimiquement et que le sarclage (binage) avait demandé entre 16 et 63 heures/ha pour éliminer les adventices mécaniquement ou manuellement. Plus la taille de l'exploitation est petite, plus la durée de sarclage est grande et plus le ratio de la main d'œuvre familiale/main d'œuvre recrutée est grand (Zimdahl & *al.*, 2008).



Photo 5: Opération du binage du maïs (Photo de Ben mansour).



Photo 6: Flore adventice dominée par le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*) non contrôlée sur les lignes jumelées du maïs avec le binage au Loukkos.

5.5. Stratégie mixte

Les adventices sont connues pour leurs réactions différentielles aux herbicides de pré et de post-levée. De ce fait, il est normal et non surprenant de constater la présence de quelques adventices dans les jours ou les semaines qui suivent l'application des herbicides sur le maïs. Toutefois, il est important de spécifier que la présence de ces mauvaises herbes au-delà de la période critique de désherbage n'affectera pas le rendement du maïs. Ainsi, la stratégie mixte, basée sur la combinaison du désherbage chimique avec le sarclage, est adoptée par certains agriculteurs pour atténuer l'inefficacité des herbicides sur certaines adventices et/ou de réduire le coût de désherbage. Dans le premier cas, le sarclage intervient dans le programme de désherbage comme un rattrapage après un premier traitement chimique réalisé en pré-levée ou en post-levée précoce (Photo 7). Dans le deuxième cas, la quantité (appliquée par hectare) d'un herbicide utilisé uniquement sur le rang ou la ligne de culture est divisée

par trois. La stratégie mixte a les mêmes avantages, inconvénients et exigences de réussite que les herbicides et le sarclage. Dans certaines grandes exploitations où le maïs est irrigué, l'ajout du binage a d'autres objectifs que le contrôle des adventices. Dans ce contexte, le nombre de binages et la période de leurs réalisations sont déterminées par le type de sol, le type d'herbicide et le niveau obtenu du contrôle des adventices (Tableau 10).

Tableau 10: Objectifs, fréquence et période de binage du maïs irrigué (Ben Mansour, comm. Pers.).

Type de sol	Type d'herbicide utilisé	Efficacité obtenue	Nombre et période du binage	Objectifs du binage
Limoneux dur et mal aéré	Pré-levée ou post-levée	Bon contrôle	4-5 feuilles* 8-10 feuilles	Couverture de l'azote, aération du sol, désherbage
Autres sols	Pré-levée	Bon contrôle	8-10 feuilles	Couverture de l'azote, infiltration de l'eau
		Contrôle insuffisant	4-5 feuilles 8-10 feuilles	Couverture de l'azote, infiltration de l'eau, désherbage
	Post-levée	Bon contrôle	8-10 feuilles	Couverture de l'azote, infiltration de l'eau

*Stade du maïs



Photo 7: Efficacité de l'herbicide de pré-levée (s-métolachlore et (mésotrione + s-métolachlore + terbutylazine) sur lignes jumelées et le binage entre rangs du maïs au Loukkos.

6. Conclusion

Le maïs est la première céréale cultivée dans le monde en devançant le blé et le riz. Au Maroc, le maïs est l'une des principales cultures d'été, cultivée pour l'alimentation des humains et des animaux. La flore associée au maïs est très riche et diversifiée. Ayant un cycle relativement court, la culture du maïs est très sensible à la concurrence des adventices depuis sa levée jusqu'au recouvrement des interlignes. Les adventices causent des pertes économiques importantes aux maïsiculteurs d'une façon directe ou indirecte. Explicitement, ces adventices perturbent les travaux agricoles, altèrent la qualité de la récolte, réduisent les rendements (jusqu'à 64%) et interfèrent avec d'autres ennemis de la culture (champignons, insectes et autres). Pour un niveau de pertes toléré de 5%, la période critique de désherbage est généralement comprise entre 1 à 3 feuilles et 8 à 10 feuilles du maïs. Les agriculteurs adoptent différentes stratégies de désherbage, avant et/ou après la levée du maïs, en utilisant des herbicides ou des sarclages. Ainsi, il existe cinq grands types de stratégies de désherbage du maïs: stratégie basée sur les herbicides de pré-levée, les herbicides de post-levée, les herbicides de pré-levée

et de post-levée, le sarclage ou sur la combinaison des herbicides avec le sarclage. Cependant, il n'existe pas une stratégie universelle qui passe par tout au niveau d'une région et/ou d'une exploitation. De ce fait, une stratégie de désherbage du maïs doit être fondée sur un raisonnement en tenant compte de la nature des mauvaises herbes et de leur nuisibilité, des conditions pédoclimatiques, du temps de travail et des coûts des traitements.

Références

- Abdennebi E.H. & Taleb A. (2019) Plantes toxiques pour les animaux domestiques au Maroc. I.A.V. Hassan II, Rabat, 282 p.
- Afifi M. & Swanton C. (2012) Early physiological mechanisms of weed competition. *Weed Science*, vol. 60 (4): 542-551.
- Aït Houssa A., Moutia S., Belbasri M., Hsayni M. & Loultiti MR. (2008) Productivité et rentabilité du maïs ensilage conduit en goutte à goutte dans les sables de Larache. *Transfert de Technologie en Agriculture*, N°169; Octobre 2008.
- Anonyme (2019) Adventices du maïs: la donne a changé. <http://www.bayer-agri.fr>. Consulté le 22/6/2021.
- Anonyme (2021) L'importance économique de la production du maïs. <https://www.gnis-pedagogie.org>. Consulté le 16/6/2021.
- Baye Y. & Bouhache M (2002) Étude de la compétition entre la morelle jaune et le maïs dans le Tadla. *Proc. Vème Congrès A.M.M.*, Rabat, pp. 41-50.
- Benoist D. (2004) Guide pratique pour les agriculteurs: désherbage du maïs. Arvalis et chambres d'agriculture des pays de la Loire, France, 18 p.
- Bibard V. (2000) Mieux utiliser les herbicides pour concilier désherbage et environnement. *Fourrages*, 163: 253-265.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc, Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 376 p.
- Bouhache M., Hachem J. & Ouattar S. (1989) Effet de la durée de compétition des mauvaises herbes sur la croissance et le rendement d'une culture de maïs (*Zea mays* L.) *Actes Inst Agron. Vét.*, Vol. 9 (3 et 4): 57-64.
- Bouhache M., Hachem J. & Ouattar S. (1992) La lutte chimique contre les adventices à base de graminées dans une culture de maïs au Gharb. *Bulletin de l'Association Marocaine de Malherbologie*; Janvier 1992.
- Bouhache M., Taleb A., Elbilali T. & Chetouani M. (2014) Efficacité des herbicides de pré-émergence utilisés dans le désherbage du maïs. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 2 (2): 12-17.
- Bouhache M., Taleb A., Elbilali T. & Chetouani M. (2015) Efficacité et sélectivité comparées des herbicides de post-émergence utilisés dans le désherbage du maïs fourrager. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 7: 81-89.
- Caussanel J.P. (1989) Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle: situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9: 219-240.
- Dogan M.N. & Boz O. (2005) Comparison of weed problems in main and second crop maize (*Zea mays* L.) growing areas in Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4 (3): 220-224.
- Faouzi B., Telha H. & Bouhache M. (2010) Efficacité comparée de quelques herbicides utilisés dans le désherbage du maïs. *Proc. 7ème Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP)*, pp. 287-294.
- Gantoli G., Ayala V.R. & Gerhards R. (2013) Determination of the critical period for weed control in corn. *Weed Technology*, vol. 27 (1): 63-71.

- Hachem J. (1985) Problème de graminées adventices dans la culture du maïs en irrigué: Étude de compétition et de lutte chimique (Au Gharb). Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 133 p.
- Jensen P.K., Bibard V., Csember S. & al. (2011) Survey of weeds in maize crops in Europe. Dept. Integr. Pest Manag., Aarhus University, Danemark.
- Mahfoud A. (1988) Etude autoécologique de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) et possibilité de lutte dans une culture du maïs au Tadla. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 121 p.
- Mahmoodi S. & Rahimi A. (2009) Estimation of Critical Period for Weed Control in Corn in Iran. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 3 (1): 27-32.
- MAPMDREF (2017) Situation de l'agriculture marocaine, l'interprofession: un partenariat renouvelé, dossier N° 12, 188 p.
- MAPMDREF (2021) Service des Statistiques de la Filière Végétale, Direction de la Stratégie et des Statistiques, Rabat.
- Page E.R., Cerrudo D., Westra P., Loux M. & al. (2012) Why early season weed control is important in maize. Weed Science, VOL. 60 (3): 423-430.
- Ruyet F. (2006) La période critique de désherbage sur la morphologie du maïs-grain (*Zea mays* L.) au Québec. Mémoire de fin d'études Ms. Sci., Fac. Sci. de l'Agriculture et de l'Alimentation. Université de Laval, Québec, Canada, 124 p.
- Salah Bennani A. (1974) La sésamie du maïs, *Sesamia nonagrioides* Lef. Résultats d'essais insecticides réalisés entre 1970 et 1975. Al-Awamia, 51: 9-30.
- Tanji A. (2003) Adventices du maïs non irrigué dans la province de Settât au Maroc. Al Awamia, 107: 39-46.
- Tanji A. (2015) Maïs: réussir le désherbage. Agriculture du Maghreb, Février 2015, 81: 56-58.
- Tanji A. (2021) Maïs: rappel des stratégies de gestion des adventices. Agriculture du Maghreb, Avril-Mai 2021, 135: 80-81.
- Tanji A., TALEB A. & BOULET C. (1989) Diversité systématique des adventices du maïs non irrigué en zones semi-aride. Actes Inst. Agron. Vét., Vol. 9 (3 et 4): 29-33.
- Zaim H. (1989) Désherbage chimique de *Solanum elaeagnifolium* Cav. dans les cultures printanières du Tadla: cas du maïs et du coton. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 103 p.
- Zimdahl R.L. (2004) Weed-Crop Competition - A review. Blackwell Publishing, 2d Edition, IOWA, USA, 229 p.
- Zimdahl R.L., Rafsnider G.T., Boughlala M. & Laamari A. (1992) Cost associated with weed management in cereals and food legumes in the Chaouia region of Settât province, Morocco. Weed Technology, 6: 156-160.

Page laissée vierge

Gestion des adventices des rizières

Mohamed BOUHACHE

1. Introduction

1.1. Culture du riz dans le monde

Avec ses deux espèces cultivées, *Oryza sativa* L. (originaire de l'Asie) et *O. glaberrima* Steudel (originaire de l'Afrique de l'ouest), la culture du riz (domestiqué depuis des millénaires) est l'une des trois principales céréales les plus cultivées au monde. La première espèce reste de loin la plus dominante dans les rizières du globe, alors que la seconde n'est cultivée qu'en Afrique de l'ouest et tend à disparaître au profit d'*O. sativa* (Courtois, 2007; Audebert & al., 2015). A la différence du blé et du maïs, le riz est la seule céréale destinée presque exclusivement à l'alimentation humaine. Effectivement, le riz est une culture socialement et économiquement importante. Il est pratiqué par 144 millions de familles et assure la nourriture de plus de 50% de la population mondiale (Jeong & al., 2017). En 2018, 165 millions d'hectares (dont 144 millions en Asie) ont été emblavés à l'échelle du globe. Ainsi, la production mondiale du riz non décortiqué (riz paddy) a été estimée à 769 millions de tonnes dont 90, 5, 3, 1 et 1% a été produits respectivement en Asie, Afrique, Amérique du sud, Amérique du nord et centrale et en Europe + Océanie (F.A.O., 2018). Bien que le riz soit cultivé dans plus de 100 pays dans tous les continents, à l'exception de l'Antarctique, l'Asie domine l'économie du riz avec 90% des surfaces et de la production qui y sont concentrées. Les grands pays producteurs (Inde, Chine, Indonésie, Bangladesh, Thaïlande, Vietnam) sont également les principaux consommateurs. De ce fait, moins de 10% de la production mondiale est échangée sur le marché international. L'Inde, le Vietnam, la Thaïlande, le Pakistan et les Etats-Unis sont les principaux exportateurs du riz (Courtois, 2007; Jeong & al., 2017).

Le riz (*O. sativa*) est cultivé sous un éventail très large de conditions climatiques et hydrologiques. Il peut être cultivé dans des champs (ou rizières) de deux façons: soit les grains sont semés directement dans la rizière, soit les jeunes plantules (issues de pépinières) sont repiquées dans la rizière. Cette dernière méthode donne des rendements élevés mais nécessite une main d'œuvre importante ou une mécanisation adaptée. De ce fait, le repiquage tend à céder la place au semis direct dans plusieurs pays. Généralement, trois grands types de riziculture peuvent être distingués (Courtois, 2007; Audebert & al., 2015):

Riziculture irriguée (intensive ou productive) avec des infrastructures hydro-agricoles qui permettent le contrôle de l'entrée, du retrait et de la hauteur de l'eau dans un clos de rizière. Ce type de rizière représente 55% des superficies emblavées et fournit 75% de la production mondiale,

Riziculture inondée ou submergée qui est pratiquée dans des zones naturellement inondables et dépend directement des pluies ou des crues. Elle couvre 33% des superficies cultivées avec de faibles rendements,

Riziculture pluviale caractérisée par l'absence de submersion et alimentée aussi par les pluies et/ou nappes phréatiques. Ce type de riziculture représente 12% des superficies mondiales et 40% des emblavements en Afrique. Les rendements de cette riziculture sont faibles.

1.2. Filière rizicole au Maroc

Au Maroc, la culture du riz est très ancienne, elle y a été introduite lors de la conquête arabe et les dernières petites rizières localisées entre Meknès et Fès ne disparurent qu'en 1940. Après une série d'essais agronomiques, le riz était considéré la meilleure culture du printemps pour la mise en valeur des terres lourdes hydromorphes du Gharb. Effectivement, c'était en 1949 que la culture du riz a été

cultivée en grande culture dans le Gharb sur une superficie de 65 ha (Miège, 1951; Grillot, 1952). Depuis, la culture du riz est pratiquée exclusivement dans cette région et en partie dans le Loukkos après son réintroduction en 2002. La superficie totale aménagée dans les deux régions pour cette culture est de l'ordre de 14.000 ha dont 12.000 ha au niveau du périmètre du Gharb en grande hydraulique (Labidi, 2019). Dans cette région, plus de 75% des superficies emblavées sont réalisées par les coopératives de la réforme agraire, alors qu'au Loukkos le riz est cultivé d'un seul tenant dans une exploitation très moderne gérée par une société espagnole. La superficie emblavée annuellement dans les deux régions, durant cette dernière décennie, oscillait entre 2550 et 9154 ha avec une production de 178 000 à 696 000 qx (Tableau 1). La production nationale, dont 75% est produit dans le Gharb, permet de couvrir plus de 72% des besoins de la consommation du pays. Six rizeries (cinq au Gharb et une au Loukkos) permettent de traiter le riz récolté avec une capacité globale d'usinage annuelle de 1,2 millions de quintaux du riz paddy, dont 70% à Kénitra et Allal Tazi et 30% à Larache (Anonyme, 2021). De ce fait, la filière rizicole nationale contribue au développement socio- économique du Royaume en générant des revenus stables au profit de 2.500 agriculteurs et en créant annuellement environ 1,5 millions de journées de travail dont 87% en amont de la filière et 13% en aval (Anonyme, 2021).

Tableau 1: Superficies et productions du riz au Maroc durant la période 2010-2020 (ONICL, 2021).

Années	Superficies (ha)	Productions (1000 qx)	Rendements (qx/ha)
2020	8 784	655	75
2019	7 973	646	81
2018	8 091	630	78
2017	8 013	577	72
2016	7 527	534	71
2015	6 699	536	80
2014	4 407	331	75
2013	5 000	377	75
2012	9 154	696	76
2011	2 550	178	70
2010	7 430	505	68

Aussi bien au Gharb qu'au Loukkos, le riz est conduit d'une façon intensive et mécanisé. Par exemple, des semis par avion ont été tentés au Loukkos et l'application des herbicides par avion au Loukkos et/ou au Gharb est devenue une pratique presque habituelle (Observ. pers.). Il est cultivé dans des clos aménagés pour être irrigué par submersion. Le riz est semé à la main ou au semoir dans des rizières sèches ou inondées. Dans ce dernier cas, les riziculteurs sèment les grains pré-germés du riz, après les avoir trempés dans l'eau. Avec cette conduite, les agriculteurs arrivent à réaliser un rendement moyen de l'ordre de 54 qx/ha durant la période 1996-2004 (Moinina & *al.*, 2018). L'introduction de la subvention des semences certifiées, le nivellement des parcelles, la maîtrise de l'irrigation, l'utilisation de nouvelles variétés productives, la disponibilité des pesticides pour maîtriser les ennemis du riz et autres ont permis d'obtenir des rendements qui oscillaient entre 68 et 81 qx/ha durant cette dernière décennie (Tableau 1). Il est à noter que le rendement réalisé durant la campagne agricole 2018-19 (81 qx/ha) a dépassé le rendement objectif du contrat programme signé avec l'interprofession (80 qx/ha) et fixé par le Plan Maroc Vert. Des pics de rendement dépassant 110 qx/ha ont été enregistrés chez 5% des riziculteurs Gharbaouis avertis (Anonyme, 2021). Cette augmentation substantielle du rendement moyen met en évidence l'importance de la marge d'amélioration de la productivité et de la rentabilité de cette culture et montre au même temps le potentiel important de notre riziculture. Ainsi, une gestion adéquate des mauvaises herbes et/ou des autres ennemis de la rizière est obligatoire afin d'assurer une bonne production du riz. Une telle gestion devrait être basée en ce qui concerne les mauvaises herbes sur des interventions ciblées, respectueuses de l'environnement et ajustées selon leur nature et leur nuisibilité, les conditions pédoclimatiques, les méthodes de lutte permises et les coûts des opérations de désherbage.

2. Caractérisation de la flore adventice

Au Maroc, la culture du riz est conduite totalement dans des clos endigués et submergés, depuis le semis jusqu'à deux semaines avant la récolte. La présence d'une lame d'eau dans les rizières n'est pas suffisante pour empêcher leur infestation par une catégorie d'adventices bien adaptée à ce milieu aquatique. Ces adventices aquatiques ou hydromorphes poussent ou au moins complètent une partie de leurs cycles vitaux dans l'eau (Bouhache, 2021). Toutes les études floristiques des adventices des rizières ont été conduites dans la région du Gharb car à l'époque le riz n'était pas encore cultivé au Loukkos (Bouhache, 1981; El Brahli, 1983; Bouhache, 1989; Bouhache et Bayer, 1989; Boulet et Bouhache, 1990; Sow, 1990). Ainsi, la nature et l'importance des adventices associées à la culture du riz au Maroc sont déduites de ces inventaires floristiques et des récentes visites ou observations faites par l'auteur et/ou Pr. Taleb dans les deux régions rizicoles. Le clos d'une rizière comprend deux zones bien distinguées qui offrent aux adventices des conditions écologiques très différentes, la zone I et la zone II (Fig. 1). La première zone correspond à l'intérieur du clos submergé qui peut être scindée en deux parties: l'une interne supportant le riz (I_1) et l'autre périphérique (I_2), plus profonde et exempte de riz. La deuxième zone est constituée de la partie plane des digues (II_1) et des bordures constamment humides mais non submergées (II_2). En admettant cette topographie du clos de rizière, seules les espèces présentes dans la zone I sont considérées comme adventices préoccupantes des rizières.

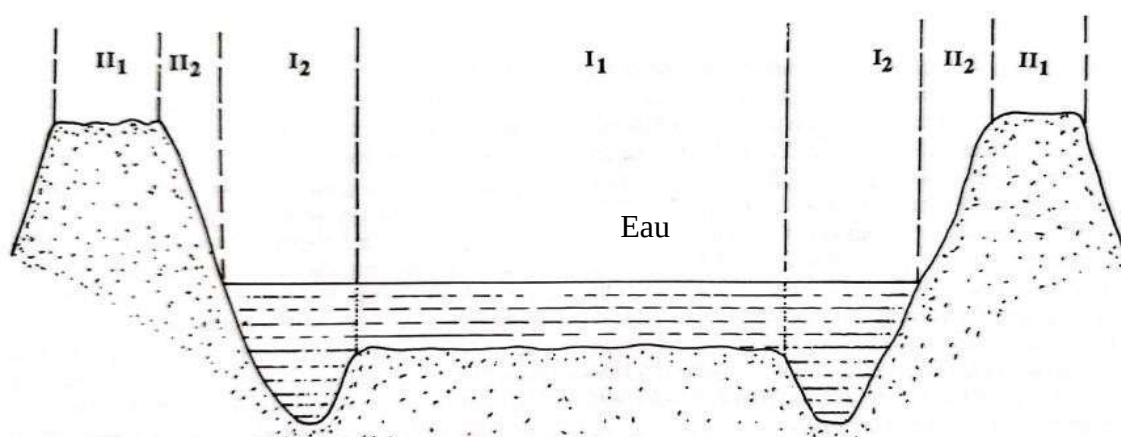


Figure 1: Coupe topographique d'un clos de rizière (Boulet et Bouhache, 1990).

Une vingtaine d'espèces appartenant à trois classes (monocotylédones, dicotylédones et charophycées) et à différentes familles botaniques pourraient être considérées comme les principales adventices du riz irrigué au Maroc (Tableau 2). La classe des charophycées est représentée par une seule espèce, *Chara vulgaris*, qui est une algue verte vivace à reproduction à la fois végétative (bouturage) et sexuée (Boulet et Bouhache, 1990). La flore adventice des rizières marocaines est caractérisée par la dominance des monocotylédones (principalement les *Poaceae* et les *Cyperaceae*) et la bonne représentativité des vivaces. Les rizières du Gharb renferment plus d'adventices que celles du Loukkos (Tableau 2) car la culture de riz est très ancienne dans le Gharb où elle s'étend sur une grande superficie avec des sols à texture diversifiée et désherbée principalement à la main. Plus de 50% de ces adventices ont été signalées depuis que la culture de riz a été cultivée en grande culture dans le Gharb (Tableau 2) (Foury & al., 1954), alors que les autres espèces ont regagné le cortège floristique suite à l'extension de la sole rizicole ou à leur introduction via les lots de semences du riz contaminés comme c'était le cas d'*Echinochloa phyllopogon* (Bouhache et Bayer, 1989), d'*Ammannia coccinea* d'*Heteranthera reniformis* et du riz sauvage ou adventice (Observ. pers.). Généralement, 13 espèces sont considérées les plus nuisibles et causent à elles seules, dans le Gharb et/ou dans le Loukkos, de

sérieux problèmes qui nécessitent des actions pour limiter leurs dégâts. Il s'agit d'*Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa phyllopogon*, *Cyperus difformis*, *Eclipta prostrata* (= *E. alba*), *Lythrum junceum*, *Oryza* sp. (riz adventice), *Ammannia coccinea*, *Alisma plantago-aquatica*, *Scirpus maritimus*, *Paspalum paspalodes* (= *P. distichum*), *Phragmites communis* (= *P. australis*), *Typha latifolia* et du *Chara vulgaris*. Cette flore adventice préoccupante n'est pas spécifique à la riziculture du Maroc, mais elle est aussi présente dans plusieurs pays à climat tropical ou tempéré où le riz irrigué est cultivé. Cependant, l'importance d'une espèce ou d'un groupe d'espèces diffère d'un pays à l'autre (Rao & al., 2007). Par exemple et par ordre d'importance, *Echinochloa crus-galli*, *Scirpus maritimus*, *Cyperus difformis*, *Cyperus fuscus*, *Oryza sativa* (adventice), *Paspalum paspalodes* et *Typha latifolia* sont indiquées comme principales adventices du riz en Camargue (région rizicole en France) (Carlin & al., 2004).

Tableau 2: Principales adventices des rizières au Maroc.

Espèces	Familles botaniques	Classes botaniques	Régions	
			Gharb	Loukkos
Vivaces				
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.*	<i>Alismataceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Aster squamatus</i> Hieron.*	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	x	
<i>Chara vulgaris</i> L.*	<i>Characeae</i>	Charophycées	x	x
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.*	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roemer et Schultes	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx.) Scribn.*	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Phragmites communis</i> Trin.*	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Rumex crispus</i> L.*	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone	x	
<i>Scirpus maritimus</i> L.*	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Typha latifolia</i> L.*	<i>Typhaceae</i>	Monocotylédone	x	
Annuelles				
<i>Ammannia coccinea</i> Rottb.	<i>Lythraceae</i>	Dicotylédone	x	x
<i>Cyperus difformis</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Cyperus fuscus</i> L.*	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Damasonium alisma</i> Miller*	<i>Alismataceae</i>	Monocotylédone	x	
<i>Eclipta prostrata</i> L.*	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	x	x
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.*	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Echinochloa phyllopogon</i> (Stapf.) Koss.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Juncus bufonius</i> L.	<i>Juncaceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Lythrum junceum</i> Banks et Solander	<i>Lythraceae</i>	Dicotylédone	x	x
<i>Oryza</i> sp. (riz sauvage ou adventice)	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Polygonum lapathifolium</i> L.*	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone	x	
<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	

*Espèces déjà signalées dans les rizières du Gharb en 1951. x: Présence

3. Impact de la flore adventice sur le riz

Généralement, l'impact de la flore adventice sur le riz est apprécié sur la base de son effet sur la quantité et la qualité du produit riz paddy récolté. En outre, les pertes économiques fréquemment relevés sont dues aux nuisibilités directe et/ou indirecte des mauvaises herbes. Ainsi, ces dernières perturbent les travaux agricoles, altèrent la qualité de la récolte, réduisent les rendements et interfèrent avec d'autres ennemis de la culture surtout avec les organismes pathogènes responsables de maladies et les insectes.

3.1. Nuisibilité directe

Il va de soi que la compétition entre le riz irrigué ou inondé et les adventices vis-à-vis de l'eau est absente, alors que celle vis-à-vis de la lumière et les éléments fertilisants du sol est très sévère (Bouhache, 1989; Bouhache et Bayer, 1993; Rao & *al.*, 2007). Le résultat de la compétition entre le riz et les adventices est dû à l'acquisition différentielle des ressources de la rizière aussi bien dans le temps que dans l'espace pour la croissance et le rendement final. Les baisses de rendement du riz dues à la présence des adventices dépendent principalement de la variété du riz cultivé, de la nature du cortège floristique, du degré d'infestation des rizières, des techniques culturales, de la région et des conditions climatiques de l'année, etc.. Les mauvaises herbes associées à la culture de riz pourraient engendrer des pertes de rendement potentielles de 14 à 77% dans les conditions du Gharb ou du Loukkos, si aucune mesure de gestion n'est pas prise à temps par l'agriculteur (Tableau 3). Ces niveaux de pertes concordent avec ceux (10 à 100%) enregistrés dans plusieurs pays des cinq continents où le riz irrigué est cultivé (Rao & *al.*, 2007; Juraimi & *al.*, 2013; Phukan & *al.*, 2021). Parfois, une seule mauvaise herbe suffit pour infliger à la culture de riz autant de dégâts. Ainsi, Moinina & *al.* (2018) ont rapporté qu'au Gharb les fortes infestations d'*Echinochloa crus-galli* pourraient réduire la production du riz paddy de 30 à 100%. Effectivement, cette espèce était la contrainte biologique majeure au développement de cette culture au Maroc avant l'année 2000, période caractérisée par l'absence (sur le marché marocain) d'herbicides efficaces sur cette adventice (Bouhache, 1981, 1989). A l'instar de plusieurs pays rizicoles où le riz adventice est devenu une espèce problématique qui pourrait causer une chute de rendement du riz de 60 à 74% (Juraimi & *al.*, 2013), ce riz sauvage récemment introduit au Maroc a sévèrement affecté le rendement du riz au Loukkos (Tableau 3). L'absence au Maroc d'herbicides efficaces sur le riz sauvage et sélectifs vis-à-vis de la culture de riz pourrait compromettre notre riziculture.

Tableau 3: Estimation des pertes de rendement du riz dues aux adventices.

Variété du riz (région)	Adventices dominantes	Perte de rendement (%)	Références
Triomphe (Gharb)	<i>Scirpus maritimus</i> , <i>Echinochloa crus-galli</i> et <i>Cyperus fuscus</i>	14	Bouhache & <i>al.</i> (1984)
Elliot (Gharb)	<i>Echinochloa phyllopogon</i> , <i>Cyperus difformis</i> et <i>Scirpus maritimus</i>	43	Boumezzourh (2003)
Triomphe (Gharb)	<i>Scirpus maritimus</i> , <i>Cyperus fuscus</i> , <i>Paspalum paspalodes</i> , <i>Echinochloa phyllopogon</i> , <i>Eclipta prostrata</i> et <i>Chara vulgaris</i>	70	Sow (1990)
? (Loukkos)	<i>Oryza</i> sp. (Riz sauvage ou adventice)	77	Observ. pers.

3.2. Nuisibilité indirecte

Indirectement, les adventices des rizières agissent sur la culture de différentes façons. Les adventices pourraient aggraver l'état sanitaire de la culture de riz en créant les conditions favorables au développement des autres ennemis ou en assurant le rôle de relais ou de réservoirs pour les agents pathogènes des maladies et les insectes. A titre d'exemple, la sésamie (*Sesamia nonagrioides* Lef.), fréquente dans le Gharb sur le maïs, le sorgho et la canne à sucre, attaque aussi le riz (Miège, 1951; Salah Bennani, 1974). Les chenilles de cette noctuelle s'introduisent dans les tiges et creusent des galeries; elles pénètrent également dans les épis et détruisent l'intérieur des grains. En outre, la formation des galeries empêche la montée de la sève et compromet la croissance des épis. Certaines

graminées très fréquentes dans la culture de riz telles qu'*Echinochloa crus-galli* et *Phragmites communis* et autres hébergent les premiers stades larvaires de la sésamie, servent de relais et constituent ainsi des sources importantes d'infestation de la culture (Salah Bennani, 1974). La présence des adventices ayant une stature plus haute que celle du riz comme *Aster squamatus* et *Phragmites communis* entrave l'opération de récolte, et par voie de conséquence, augmente les frais de production. En outre, ces plantes hautes constituent un perchoir pour les moineaux qui attaquent les épis mûrs du riz. Un autre mécanisme par lequel les adventices des rizières affectent indirectement la culture de riz revient à la prolifération des algues vertes comme les spirogyres. Ces algues filamenteuses agissent de deux façons. Elles forment une couche superficielle qui intercepte la lumière, et par conséquent, entrave le développement du riz (Foury & *al.*, 1954). Parfois, ces algues s'entourent autour de jeunes pieds de riz, et lors du retrait de l'eau de la rizière (pour une opération culturale), elles entraînent avec elles les pieds de riz non ou faiblement enracinés hors des clos de rizières (Observ. pers.). Cette action mécanique réduit le peuplement visé, et par conséquent, affecte le rendement final (Photo 1).



Photo 1: Prolifération des algues vertes dans une rizière au Gharb.

4. Période critique de désherbage du riz

Dans toute stratégie de désherbage, il est nécessaire de répondre à la question fondamentale quand faut-il désherber? Le concept de la période critique de compétition apporte une partie de la réponse à cette question. La période critique de compétition (PCC) est définie comme étant « la période pendant laquelle la présence des adventices entraîne une perte de rendement mesurable » (Caussanel, 1989). Elle indique ainsi la meilleure période pour réaliser une ou plusieurs opérations de désherbage afin de prévenir les pertes inacceptables de rendement. Pour cette raison, elle est aussi appelée la période critique de désherbage (PCD). En d'autres termes, en dehors de cette période, la lutte contre les adventices n'est pas nécessaire ou ne contribue pas à l'amélioration du rendement potentiel de la culture (Bouhache, 2021). Dans l'approche de gestion intégrée des adventices des rizières, la notion de la PCD joue un rôle très important dans le contrôle de la végétation qualifiée d'indésirable. Sa détermination permet de cibler les traitements, et par conséquent, d'optimiser le désherbage dans le temps surtout dans le cas des stratégies basées sur les traitements de post émergence (Juraimi & *al.*, 2013). Effectivement, la connaissance de la PCD et les facteurs actifs sur elle est essentielle pour pouvoir prendre la décision sur le moment propice de désherbage et utiliser d'une façon efficiente les herbicides choisis.

La compétition des adventices est plus sévère pour le riz semé directement que pour le riz repiqué car dans le premier cas les plantules du riz et celles des adventices émergent simultanément et ont besoin de mêmes ressources. Ainsi, il est très important de désherber une culture de riz durant ses premiers stades précoces pour garantir un rendement final maximal. Raj et Syriac (2017) ont rapporté que la compétition des adventices au-delà de 15 jours après le semis du riz entraîne inéluctablement une perte significative de rendement grain. De même, l'analyse comparative de la croissance du riz et deux espèces

adventices (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*), considérées les plus redoutables de cette culture, a permis de déduire que le riz pourrait tolérer la présence des adventices pendant trois semaines après semis et son désherbage devrait être lancé dès la quatrième semaine après semis (Bouhache, 1989). En outre, Raj et Syriac (2017) ont signalé que la rizière doit être maintenue indemne d'adventices au moins 60 à 70 jours après semis pour produire un rendement du riz comparable à celui d'une rizière gardée propre depuis le semis jusqu'à la récolte. Pratiquement, l'élimination des adventices durant la période critique de désherbage est suffisante pour garantir un rendement final maximal. Pour une culture donnée, la PCD n'est pas une période fixe, mais elle varie avec le site, la saison, le sol, la nature et la densité des adventices (Zimdahl, 2004). Pour ces considérations et d'autres facteurs, comme le pourcentage de perte de rendement toléré, les limites inférieures et supérieures de la PCD changent d'un auteur à l'auteur: 16-53 jours après semis du riz (JAS) pour Azimi & al. (2007), 21-49 JAS pour Khaliq et Matloob (2001), 15-73 JAS pour Juraimi & al. (2013) ou 14-41 JAS pour Raj et Syriac (2017). Toutes ces PCD indiquent que les adventices associées à la culture du riz doivent être éliminées durant les premières semaines de son cycle de développement.

5. Gestion des adventices

L'importance des pertes de rendement dues aux adventices et les limites des périodes critiques de désherbage déterminées permettent de souligner que le riz est une culture sensible à la concurrence des adventices. Effectivement, tous les essais de désherbage, menés dans les conditions du Gharb, ont montré qu'un désherbage réussi de cette culture pourrait engendrer un gain de rendement très important, mais variable selon plusieurs facteurs dont la méthode de désherbage: 100% (Bouhache & al., 1989), 197% (Bouhache et Zemrag, 1984), 226% (Sow, 1990) ou 76% (Boumezzourh, 2003). Pour avoir une meilleure productivité du riz, les riziculteurs marocains utilisent une ou plusieurs méthodes de désherbage telles que la prévention, l'arrachage manuel, les techniques culturales ou l'utilisation des herbicides. Chaque méthode a des avantages et des inconvénients et une méthode n'est pas suffisante pour maîtriser toutes les espèces adventices problématiques des rizières. En outre, il n'existe pas une méthode universelle valable partout au niveau d'une région ou d'une exploitation.

5.1. Prévention

Bien que l'introduction de nouvelles espèces dans un écosystème se passe à l'insu des agriculteurs, certaines mesures ou méthodes peuvent être prises ou utilisées pour limiter sinon stopper cette invasion. La prévention consiste à empêcher l'introduction, l'établissement ou la dissémination des espèces dans un milieu où elles étaient absentes. L'utilisation des lots de semences contaminées est l'une des voies d'introduction de nouvelles espèces. Ces dernières années, plusieurs espèces ont été introduites dans les rizières du Gharb et du Loukkos via les semences importées d'Europe et principalement de l'Espagne. Nous citons à titre d'exemples: *Echinochloa phyllopogon*, *Ammannia coccinea*, *Heteranthera reniformis* et le riz sauvage ou adventice (Observ. pers.). Ainsi, les mesures législatives et/ou techniques existantes ne sont pas suffisantes et devraient être renforcées pour être plus rigoureuses afin de barrer cette route de déplacement des espèces.

La prévention consiste aussi à empêcher l'avancement des espèces de la zone II vers la zone I où le riz est cultivé (Fig. 1) (Photo 2). Les études floristiques des rizières ont permis de souligner que la zone II (bordure) des clos de rizières renferme une flore plus importante, riche et diversifiée que celle de la zone I (Boulet et Bouhache, 1990; Sow, 1990). En dehors de leur rôle non négligeable dans la fixation du sol des digues de certaines rizières, cette végétation constitue un danger permanent et latent pour la culture de riz, surtout en cas d'abaissement de la hauteur de la lame d'eau ou d'un mauvais nivellement des parcelles. Ainsi, les bordures des rizières au Loukkos sont systématiquement désherbées chimiquement en utilisant des herbicides totaux. Cependant, les riziculteurs du Gharb ne sont pas conscients du danger de cette source d'infestation et c'est rare de trouver des clos de rizières avec des bordures bien nettoyées de cette végétation indésirable et menaçante (Observ. pers.).

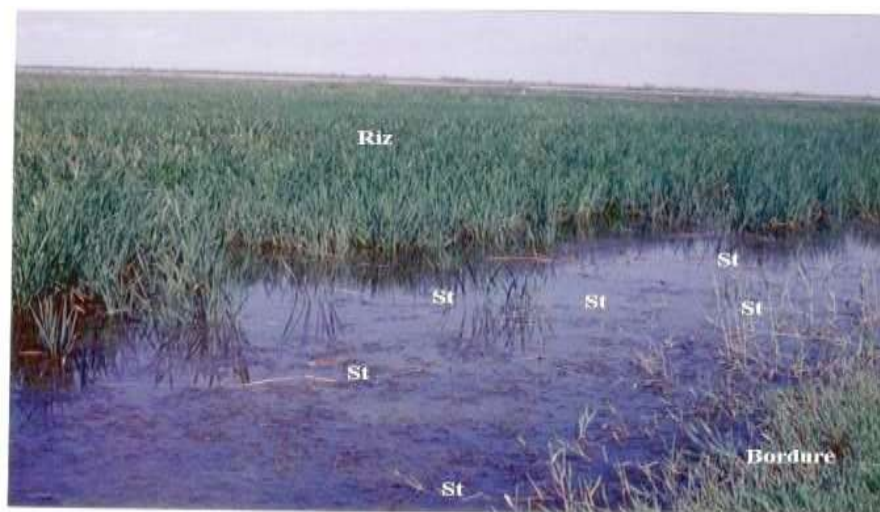


Photo 2: Avancement des stolons du *Paspalum paspalodes* (St) de la bordure vers l'intérieur d'une rizière au Gharb.

5.2. Techniques culturales

Le principe de base de la lutte culturale est l'augmentation de la compétitivité de la culture aux dépens des adventices. En plus du travail de sol, de la rotation, de la variété, du semis (date, dose et mode), de la gestion de la fertilisation et de l'eau, etc., deux techniques culturales sont souvent utilisées par les riziculteurs pour atténuer les préjudices des adventices: le nivellement et le faux semis. Le nivellement est une technique culturale primordiale dans les rizières. Elle consiste à aplanir la surface d'une parcelle, d'une façon uniforme, en utilisant un cadre métallique trainé par un tracteur. Cette façon de faire traditionnelle commence à être remplacée par l'utilisation des niveleuses aux rayons laser et équipées de GPS. Cette nouvelle technique a été utilisée pour niveler toutes les rizières du Loukkos et certaines rizières du Gharb (surtout celles ayant un contrat avec la rizerie Mundaroz à Larache). Le nivellement garantit un bon établissement de la culture, une économie de l'eau en uniformisant la hauteur de la lame d'eau partout dans la parcelle ou une augmentation de l'efficacité des herbicides. Dans ce dernier cas, il est rapporté par Raj et Syriac (2017) que le nivellement réduit l'infestation des adventices de 40% et la main d'œuvre impliquée dans le désherbage de 75%.

Le faux semis est une autre technique culturale à considérer surtout dans le cas de la résistance des adventices aux herbicides ou d'une infestation par une espèce assez proche de la culture sur le plan systématique et physiologique. La technique du faux semis est un moyen très efficace pour diminuer le stock de semences des adventices dans les sols. Cette technique consiste à travailler le sol superficiellement (sur 5 cm de profondeur) et en apportant une irrigation pour favoriser la germination et la levée des mauvaises herbes et de les détruire (mécaniquement ou chimiquement) avant l'installation de la culture. En absence d'herbicides sélectifs du riz et efficaces sur le riz sauvage, l'adoption de la technique de faux semis a permis de réduire l'infestation du riz sauvage de 85% dans la culture du riz au Loukkos. Dans ce cas, les levées du riz sauvage ont été détruites avec des herbicides de post-émergence avant le semis de la culture (Observ. pers.). De ce fait, cette technique reste la plus efficace et la plus économique pour régler ce problème.

5.3. Désherbage manuel

Le désherbage manuel qui consiste à arracher les mauvaises herbes à la main est une méthode ancestrale qui continue à être utilisée, à l'échelle mondiale, dans les petites exploitations non mécanisées ou pour régler certains problèmes d'adventices non maîtrisables avec d'autres méthodes de désherbage (Photos 3 et 4). Avant la fin des années 1990, la totalité des rizières marocaines ont été désherbées manuellement. Rien que pour éliminer deux espèces jugées très agressives (*Echinochloa*

crus-galli et *Scirpus maritimus*), le désherbage manuel était une opération très coûteuse. Elle représentait 16 à 27% du coût de revient d'un hectare de riz soit 56 à 74% des journées de travail réservées à la conduite de la culture au Gharb; suivant la taille de l'exploitation et le degré d'infestation des rizières (Ait Mousse & *al.*, 1982). Malgré les aspects négatifs du désherbage manuel (coût souvent élevé, retard, piétinement et cassure de la culture, faible efficacité sur les vivaces, etc.), le désherbage manuel reste aujourd'hui encore valable et utilisable dans nos rizières. Au Gharb, cette méthode primitive est principalement utilisée par les riziculteurs des coopératives de la réforme agraire qui exploitent 75% des superficies rizicoles de la région (Anonyme, 2021). Tandis qu'au Loukkos, le désherbage manuel est préconisé comme un complément ou une solution d'un problème spécial. Ainsi, il est adopté pour éliminer les premiers foyers du riz sauvage ou le reste du riz sauvage non contrôlé par la technique du faux semis. De même, les mauvaises herbes résistantes aux herbicides et/ou non contrôlées par un herbicide ou une séquence d'herbicides sont arrachées manuellement dans les deux régions rizicoles. Enfin, les riziculteurs avertis arrachent manuellement tout individu de plante vue pour la première fois dans une rizière et le détruisent par mesure préventive avant sa grenaison.



Photo 3: Opération de désherbage manuel d'une rizière au Gharb.

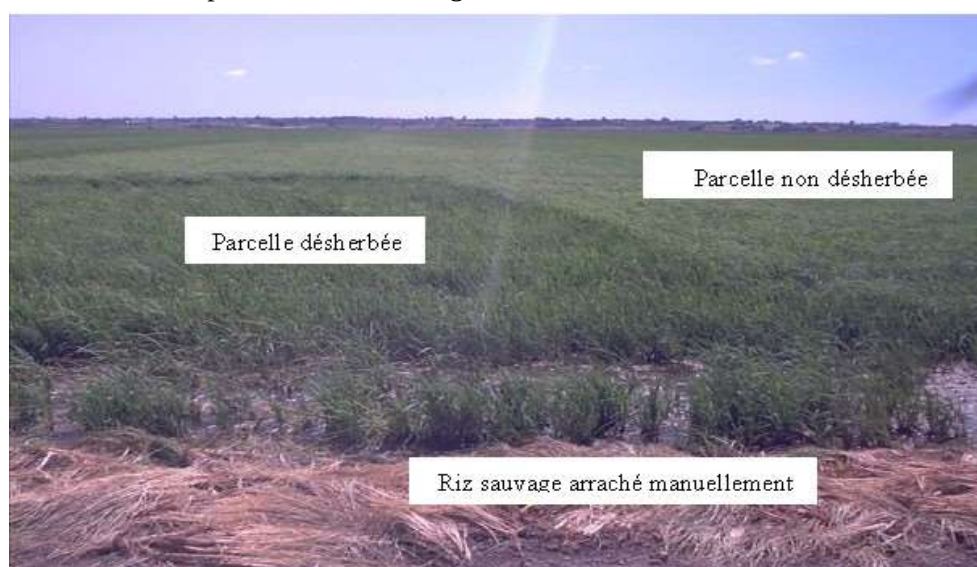


Photo 4: Importance de l'infestation d'une rizière par le riz sauvage et son arrachage manuel au Loukkos.

5.4. Désherbage chimique

Le désherbage chimique consiste à utiliser des substances chimiques, appelées herbicides, pour lutter contre toute végétation indésirable. La rareté de la main d'œuvre, son coût de plus en plus élevé et la volonté incessante d'augmenter la productivité de la culture sont autant de facteurs qui sont derrière la recherche et/ou l'introduction des herbicides dans la riziculture comme méthode incontournable et alternative au désherbage manuel. Effectivement, l'homologation au Maroc du « clincher » comme herbicide contre les panics (*panicum*), il y a plus de deux décades, a été bien accueillie par les riziculteurs à tel point que ces derniers se renseignaient (auprès de la société phytosanitaire) sur la disponibilité de l'herbicide avant tout emblavement du riz !! (Obser. Pers.). Le désherbage chimique devient plus important ou une nécessité lorsque les plantules du riz et des adventices ont la même période d'émergence ou quand les plantules de certaines espèces (comme les panics, le riz sauvage) sont morphologiquement semblables à celles du riz. Malgré les effets négatifs des herbicides sur l'environnement et/ou sur les manipulateurs non avertis, le désherbage chimique est encore considéré comme une méthode efficace, pratique ou économique parmi les méthodes de gestion des mauvaises herbes des rizières. Cependant, l'utilisation des herbicides ne devrait pas être considérée comme la seule méthode alternative et remplaçante des autres méthodes de désherbage des rizières, mais plutôt comme une composante (parfois nécessaire) d'une gestion intégrée de la flore adventice de la culture de riz. La réussite d'une opération de désherbage chimique dépend, entre autres, du choix judicieux des herbicides et de la dose, la période, la méthode et des conditions de leur application. Les riziculteurs marocains disposent de quatre matières actives à la base de quatre herbicides avec quatre sites d'action différents et utilisables en post-levée du riz du stade une feuille au stade gonflement du riz. A l'exception de la matière active « cyhalofop-butyle » qui ne contrôle que les graminées, les autres matières actives sont efficaces sur les graminées, les cypéracées et les dicotylédones. Un seul herbicide (agixa) renferme dans sa composition chimique deux matières actives avec deux sites d'action différents (Tableau 4). D'ailleurs cet herbicide est récemment homologué pour corriger les insuffisances du cyhalofop-butyle (clincher) ou élargir le spectre d'action du produit formulé (Anonyme, 2018).

Tableau 4: Herbicides homologués pour le désherbage du riz au Maroc (ONSSA, 2021).

Matières actives	Classification HRAC*	Produits commerciaux	Dose/ha	Stade du riz
Cyhalofop-butyle	A	Clincher	1,0 L	1-4 feuilles
Penoxsulam	B	Rainbow	1,0 L	2 feuilles – 1 nœud
Oxadiazon	E	Festival	2,0 L	1-3 feuilles
Cyhalofop-butyle + Florpyrauxifène-benzyle	A + O	Agixa	2,0 L	3 feuilles -gonflement

*Herbicide Resistance Action Committee

Festival (oxadiazon) est un herbicide de contact très ancien (connu auparavant sous le nom de ronstar) utilisable en pré-semis, pré-levée ou en post-levée précoce du riz partout dans le monde. Au Maroc, il est homologué pour des applications de post-levée des adventices et du riz. Cet herbicide, connu pour son efficacité sur *Heteranthera* spp et autres espèces, appartient à la classe des inhibiteurs de l'enzyme Protoporphyrinogène Oxydase (PPO ou Protox) (groupe E) impliquée dans la biosynthèse de la chlorophylle. Son utilisation en pré-levée a été tentée à grande échelle au Loukkos pour contrôler *Echinochloa crus-galli* résistant au cyhalofop-butyle (Observ. pers.). Clincher (cyhalofop-butyle) est un herbicide systémique qui fait partie des antigraminées appelés les Fops et connus comme des inhibiteurs de l'enzyme ACCase (Acétyl-Coenzyme A Carboxylase) qui conduit à la synthèse des lipides ou acides gras (groupe A). Cet herbicide était le premier à être homologué au Maroc pour maîtriser les infestations des panics et du paspalum (Tableau 5). Rainbow (penoxsulam) est aussi un herbicide systémique, homologué après le clincher, qui a pour cible l'Acétolactate Synthase (ALS) ou Acétohydroxyacide Synthase (AHAS) (groupe B), enzyme impliquée dans la synthèse de trois acides aminés: valine, leucine et isoleucine. Ayant un spectre d'action et une période d'application plus larges, Rainbow est largement utilisé dans nos rizières aux dépens de clincher (Tableau 5). Agixa est

le dernier herbicide systémique de post-levée tout récemment homologué au Maroc. Cet herbicide est composé de deux substances actives ayant deux sites d'action différents: le florpyrauxifène-benzyle (Groupe O) qui perturbe la régulation de l'auxine et le cyhalofop-butyle (Groupe A). L'association de ces substances a pour but d'éradiquer les mauvaises herbes sensibles (Tableau 5) mais aussi les espèces ayant développé une tolérance ou une résistance à d'autres matières actives chez les adventices des rizières (Anonyme, 2018). Tous ces herbicides sont principalement absorbés par les feuilles. De ce fait, leurs efficacité et/ou sélectivités dépendent énormément de la gestion de l'eau avant et après leur application. Ainsi, ces herbicides ont besoin que l'eau soit retirée totalement ou partiellement des clos de telle façon que plus de 70% des feuilles soient exposé aux traitements d'herbicides. La remise en eau ou l'inondation des clos de rizières doit être faite 24 à 72 heures après l'application pour couvrir les plantes traitées et garantir, par conséquent, une bonne efficacité. L'efficacité recherchée pour un herbicide n'est que la résultante de la réaction de chaque espèce constituant le cortège floristique de chaque site au moment de son application (Tableau 5). Ainsi, la connaissance de la sensibilité des adventices problématiques des rizières aux différents herbicides permet de concevoir des mélanges extemporanés d'herbicides ou des séquences qui contrôlent le maximum d'espèces.

Tableau 5: Sensibilité de certaines adventices des rizières aux herbicides (Observ. pers.; Ampong-Nyarko et De Datta, 1991; Anonyme, 2018).

Espèces	Agixa	Clincher	Festival	Rainbow
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	S	NS	S	S
<i>Ammannia coccinea</i>	S	NS	MS	NS
<i>Echinochloa crus-galli</i>	S	S	S	S
<i>Echinochloa phyllopogon</i>	S	S	S	S
<i>Eclipta prostrata</i>	MS	NS	MS	S
<i>Cyperus difformis</i>	S	NS	MS	S
<i>Lythrum junceum</i>	-	NS	-	S
<i>Paspalum paspalodes</i>	S	S	NS	NS
<i>Scirpus maritimus</i>	S	NS	NS	S
<i>Typha latifolia</i>	S	NS	-	S

S: Sensible, MS: Moyennement sensible, NS: Non sensible, -: Absence de données

6. Résistance des adventices aux herbicides

La résistance des adventices aux herbicides est un phénomène associé au désherbage chimique des cultures. Le premier cas de résistance dans l'écosystème rizicole a été enregistré en 1983 aux Philippines. Depuis, le nombre de plantes résistantes ne cesse d'augmenter pour atteindre 179 cas en Août 2021 (Heap, 2021). D'après cet auteur, ces cas de résistance, fournies par 42 espèces différentes, ont été déclarés dans plusieurs pays et dans tous les continents où le riz est cultivé. Il s'agit de résistances croisée ou multiple développées par les principales espèces adventices du riz dont *Alisma plantago-aquatica*, *Ammannia coccinea*, *Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa phyllopogon* et *Cyperus difformis* qui sont aussi considérées très importantes et/ou fréquentes dans les rizières marocaines. Les herbicides inhibiteurs de l'ALS et de l'ACCCase sont des herbicides à haut risque en termes de résistance (Bouhache, 2020). Les panics (*Echinochloa* spp.) sont des adventices redoutables du riz chez lesquelles des résistances aux inhibiteurs de l'ALS et de l'ACCCase sont déjà connues dans plusieurs pays où le riz est largement cultivé (Heap, 2021). Malheureusement, ces types d'herbicides sont beaucoup utilisés au Maroc pour le désherbage des rizières. Ainsi, des doléances concernant ce phénomène de résistance ont été faites depuis 2004 avec la résistance des panics (*Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa phyllopogon*) au clincher qui est un herbicide antigraminées du type ACCCase (Photo 5). Suite à ces réclamations, deux essais conduits en 2005 par Bouhache et Taleb (données non encore publiées), dans les deux régions rizicoles du Maroc, ont permis de montrer qu'effectivement les panics ne sont plus maîtrisées avec le clincher dans les rizières au Loukkos comme auparavant (Tableau 6).



Photo 5: Collecte de semences des panics résistants au clincher (Loukkos 2006)

Tableau 6: Efficacité comparée des herbicides Rainbow et Clincher sur quelques adventices des rizières (Bouhache et Taleb, 2005).

Régions	Espèces cibles	Efficacité (%) à 35 JAT	
		Rainbow	Clincher
Loukkos	<i>Echinochloa crus-galli</i>	100	0
	<i>Echinochloa phyllopogon</i>	100	0
	<i>Cyperus difformis</i>	100	0
	<i>Lythrum junceum</i>	100	0
Gharb	<i>Echinochloa crus-galli</i>	97	90
	<i>Echinochloa phyllopogon</i>	97	90
	<i>Cyperus difformis</i>	96	0
	<i>Eclipta prostrata</i>	100	0
	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	100	0
	<i>Scirpus maritimus</i>	95	-

JAT: jours après traitement, -: non observée

La résistance des adventices aux herbicides inhibiteurs des ACCases peut être causée par une mutation (ou une altération) du site d'action qui se manifeste suite à la présence d'au moins une mutation sur le gène de la cible empêchant l'herbicide de s'y fixer (enzyme) (Bouhache, 2020). Ainsi, il est indispensable de choisir un herbicide de rechange avec un autre site d'action auquel la mauvaise herbe n'est pas résistante. Effectivement, l'homologation en 2004 du rainbow, un herbicide inhibiteur de l'ALS, a permis de bien contrôler les dicotylédones, les cypéracées et les panics y compris ceux résistants au clincher (Photo 6) (Tableaux 6 et 7). Malheureusement cette solution n'est que provisoire. L'utilisation répétitive du rainbow au détriment du clincher sur les mêmes clos de rizière a fini, au bout de 5 à 6 ans d'usage, à déclencher une résistance des panics (surtout *Echinochloa phyllopogon*) aux herbicides de type ALS selon les observations des riziculteurs. Les essais conduits par Bouhache et Taleb en 2012 et 2013 (données non encore publiés) ont permis de noter qu'effectivement l'efficacité du rainbow sur *Echinochloa phyllopogon* a commencé à baisser dans les rizières du Loukkos d'une façon surprenante (55 contre 100% auparavant) et l'efficacité observée sur *Cyperus difformis* est inquiétante !! (Tableau 7). Ce niveau d'efficacité observé témoigne de la non dominance des biotypes résistants au sein de la flore adventice traitée. Une autre fois, cette résistance aux herbicides ALS est due à une mutation du site d'action et que l'homologation récente de l'herbicide agixa est une solution provisoire à ce problème. La matière active « Florpyrauxifène-benzyle » contenue dans l'herbicide agixa a un site d'action différent de celui des autres herbicides, clincher et rainbow. L'herbicide Agixa est classé comme

un herbicide auxinique qui a démontré un contrôle des espèces graminées, dicotylédones et de cypéracées ayant développé une tolérance ou une résistance à ces herbicides (Anonyme, 2018).



Photo 6: Efficacité du Rainbow sur les panics à 20 jours après application (Loukkos 2005).

Tableau 7: Efficacité comparée des herbicides Rainbow et Clincher sur quelques adventices des rizières au Loukkos (Bouhache et Taleb, 2012, 2013).

Espèces	Efficacité (%) à 56 JAT			
	Rainbow		Clincher	
	2012	2013	2012	2013
<i>Echinochloa phyllopogon</i>	85	55	0	81
<i>Cyperus difformis</i>	63	96	0	0
<i>Ammannia coccinea</i>	-	100	-	0
<i>Oryza</i> sp. (riz sauvage)	0	-	0	-

JAT: jours après traitement, -: non observée

Le problème de la résistance dans une rizière durera tant que le stock de semences des adventices résistantes persiste dans le sol. Ainsi, toutes les mesures ou les pratiques qui permettent d'épuiser cette source d'infestation et/ou d'empêcher son approvisionnement sont indispensables ou recherchées pour une solution durable. Les mesures préventives et/ou les pratiques culturales sont nécessaires pour atteindre cet objectif, mais parfois elles ne sont pas suffisantes pour résoudre le problème posé. En outre, les méthodes de lutte permises pour le contrôle des adventices dans les rizières ont des atouts et des faiblesses. De ce fait, une bonne gestion des adventices doit reposer sur la diversification de la lutte non chimique et sa combinaison avec la lutte chimique selon les principes de la gestion intégrée des mauvaises herbes dans une culture.

7. Conclusion

Le riz (*Oryza sativa* L.), originaire de l'Asie, est l'une des trois principales céréales les plus cultivées au monde. Au Maroc, la culture du riz est très ancienne, elle y a été introduite lors de la conquête arabe. Depuis 1949, la culture du riz est pratiquée exclusivement dans la région du Gharb et en partie dans le Loukkos après son réintroduction en 2002. La superficie totale aménagée dans les deux régions pour cette culture est de l'ordre de 14.000 ha dont 12.000 ha au niveau du périmètre du Gharb en grande hydraulique. Dans ces deux régions, la culture du riz est conduite totalement dans des clos

endigués et submergés, depuis le semis jusqu'à deux semaines avant la récolte. La présence d'une lame d'eau dans les rizières n'est pas suffisante pour empêcher leur infestation par une catégorie d'adventices bien adaptées à ce milieu aquatique. Ainsi, les pertes économiques fréquemment relevés (14 à 77%) sont dues aux nuisibilités directe et/ou indirecte des mauvaises herbes. Ces dernières perturbent les travaux agricoles, altèrent la qualité de la récolte, réduisent les rendements et interfèrent avec d'autres ennemis de la culture. Tous les essais de désherbage, menés dans les conditions du Gharb, ont montré qu'un désherbage réussi de cette culture pourrait engendrer un gain de rendement très important (226%). Les adventices associées à la culture du riz doivent être éliminées durant les premières semaines de son cycle de développement. Pour avoir une meilleure productivité du riz, les riziculteurs marocains utilisent une ou plusieurs méthodes de désherbage telles que la prévention, l'arrachage manuel, les techniques culturales ou l'utilisation des herbicides. Cependant, l'usage répété des herbicides, comme la seule méthode de désherbage des rizières surtout au Loukkos, a engendré l'apparition de la résistance des panics aux herbicides inhibiteurs des ACCases ou de l'ALS.

Références

- Ait Mousse H., Bellouch H., El Yousfi B., Rizqui A. & Sarrar M. (1982) Stratégies de lutte contre *Panicum crus-galli* dans les différents types d'exploitation rizicole du Gharb. Rapport de stage de développement, I.A.V. Hassan II, Rabat, 57 p.
- Ampong-Nyarko K. & De Datta S.K. (1991) A handbook for weed control in rice. International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 112 p.
- Anonyme (2018) RinskorTM active. Technical bulletin. Corteva agrosience, 9 p.
- Anonyme (2021) Fellah Trade. Chiffres clés, filière rizicole. Crédit Agricole, Rabat, Maroc. Site Web consulté le 17/7/2021.
- Audebert A., Ahmadi N. & Jamin J.Y. (2015) Riz, rizièrre, riziculture. Les Mots de l'agronomie. 7 p. https://loexplor.istex.fr/Wicri/Europe/France/InraMotsAgro/fr/index.php?title=Riz,_rizièrre,_riziculture&printable=yes, consulté le 7/7/2021.
- Azmi M., Juraimi A.S. & Mohammad Najib M.Y. (2007) Critical period of weedy rice control in direct seeded rice. J. Tropic. Agric. Food Sci. 35: 319-332.
- Bouhache M. (1981) Analyse qualitative et quantitative des semences d'adventices dans les sols des rizières du Gharb. Mém. 3ème Cycle Agronomie, Option Malherbologie, I.A.V. Hassan II, 130 p.
- Bouhache M. (1989) Barnyardgrass complex (*Echinochloa* spp.) in rice: taxonomy and comparative photosynthesis, growth and competitive ability. Thèse Doctorat ès Sciences Agronomiques, I.A.V. Hassan II, 140 p.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 376 p.
- Bouhache M. & Bayer D. (1993) Photosynthetic response of flooded rice (*Oryza sativa*) and three *Echinochloa* species to changes in environmental factors. Weed Science, 41: 611-614.
- Bouhache M. & Bayer D.E. (1989) A survey of the ricefield species of barnyardgrass complex (*Echinochloa* spp) in Gharb area (Morocco). Actes Inst. Agron. Vét., Vol. 9 (3 et 4): 5-10.
- Bouhache M. & Zemrag A. (1984) sur le désherbage des rizières du Gharb. Journées Nationales de Phytologie, Rabat, 13 p.
- Bouhache M., Boulet C. & El Brahli A. (1984) Comparaison de quelques méthodes de désherbage des rizières du Gharb (Maroc). Proc. EWRS 3rd Symp. on Weed Problems in the Mediterranean Area, pp. 205-213.
- Bouhache M., Zemrag A. & El Brahli A. (1989) Le désherbage des rizières du Gharb: résultats de deux années d'expérimentation Actes. Inst. Agron. Vét., Vol. 9 (3 et 4): 15-20.
- Boulet C. & Bouhache M. (1990) Diversité floristique, biologie et nuisibilité des adventices des rizières du Gharb (MAROC). Actes Inst. Agron. Vét., Vol. 10 (2): 41-48.

- Boumezzourh A. (2003) Essai de désherbage chimique de la culture du riz dans la région du Gharb. Mémoire pour l'avancement dans le grade d'ingénieur d'état, option phytatrie, DPVCTRF, Rabat, 17 p.
- Carlin A., Mouret J.C., Dreyfus F. & Roy H. (2004) Riziculture biologique et maîtrise des mauvaises herbes en Camargue: questionnements et débats techniques, diversité des pratiques et premiers résultats de recherche, 20 p.
- Caussanel J.P. (1989) Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle: situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9: 219-240.
- Courtois B. (2007) Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique. Cirad, France, 13 p.
- El Brahli A. (1983) Les adventices des rizières: étude floristique et comparaison de quelques méthodes de désherbage. Mémoire de 3ème cycle, Agronomie, I.A.V. Hassan II, Rabat, 74 p.
- F.A.O. (2018) Suivi du marché du riz (SMR). Rome, Italie, 10 p.
- Foury A., Perrin de Brichambaut G. & Sauvage Ch. (1954) Espèces adventices des rizières du Gharb. *La Terre Marocaine*, 300: 1-3.
- Grillot G. (1952) La riziculture au Maroc et ses problèmes techniques. Journées du riz, Arles, France, 23 p.
- Heap I. (2021) The International Herbicide-Resistant Weed Database. www.weedscience.org, site Web consulté le 18 Août 2021.
- Jeong J.M., Kim E.C., Venkatanagappa S. & Lee J.S. (2017) Review of rice: production, trade, consumption, and future demand in Korea and worldwide. *Korean J. Crop Sci.*, 62 (3): 157-165.
- Juraimi A.S. & al. (2013) Sustainable weed management in direct seeded rice culture: a review. *Australian Journal of Crop Science*, 7 (7): 989-1002.
- Khaliq A. & Matloob A. (2011) Weed-crop competition period in three fine cultivars under direct-seeded rice culture. *Pak. J. Weed Sci. Res.*, 17 (3): 229-243.
- Labidi N. (2019) Riz, le Maroc progresse vite. *BAB Magazine*, N° 7, agence marocaine de presse. Site web consulté le 3/09/2021.
- Miège É. (1951) La question du Riz au Maroc. In: *Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*, 31^e année, bulletin n°343-344, Mai-juin 1951. pp. 294-312. DOI: <https://doi.org/10.3406/jatba.1951.6757>.
- Moinina A., Boulif M. & Lahlali R. (2018) La culture de riz (*Oryza sativa*) et ses principaux problèmes phytosanitaires: une mise au point sur la région du Gharb. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 6 (4): 544-557.
- ONICL (2021) Statistiques, Riz. Rabat, Maroc. Site Web. Consulté le 17/7/2021.
- ONSSA (2021) Intrants agricoles, Index phytosanitaires. Site Web consulté le 18 Août 2021.
- Phukan J., Kalita S. & Bora P. (2021) Weed management in direct seeded rice: a review. *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10 (2): 742-748.
- Raj S.K. & Syriac E.K. (2017) Weed management in direct seeded rice: a review. *Agricultural Reviews*, 38 (1): 41-50.
- Rao A.N., Johnson D.E., Sivaprasad B., Ladha J.K. & Mortimer A.M. (2007) Weed management in direct-seeded rice. *Advances in Agronomy*, 93: 153-255.
- Salah Bennani A. (1974) La sésamie du maïs, *Sesamia nonagrioides* Lef. Résultats d'essais insecticides réalisés entre 1970 et 1975. *Al-Awamia*, 51: 9-30.
- Sow A. (1990) Les mauvaises herbes des rizières du Gharb: aspect floristique et lutte chimique. Mémoire de fin d'études, option phytatrie, I.A.V. Hassan II, Rabat, 92 p.
- Zimdahl R.L. (2004) *Weed-Crop Competition - A review*. Blackwell Publishing, 2d Edition, IOWA, USA, 229 p.

Page laissée vierge

Gestion des adventices des légumineuses alimentaires (fève, pois chiche, petit pois et lentille)

Abbès TANJI

1. Introduction

Les légumineuses alimentaires comme la fève (*Vicia faba* L. var. *major*), le pois chiche (*Cicer arietinum* L.), le petit pois (*Pisum sativum* L.) et la lentille (*Lens culinaris* Medik.) ont une teneur en protéines plus élevée que celle des céréales. Les graines des légumineuses sont appréciées dans le monde entier comme une alternative peu coûteuse à la viande et sont considérées comme la deuxième source de nourriture après les céréales. En fait, les légumineuses fournissent des protéines avec des acides aminés essentiels, des glucides complexes, des fibres alimentaires, des graisses insaturées, des vitamines et des minéraux essentiels pour l'alimentation humaine. Elles entretiennent une relation symbiotique avec les *Rhizobium* fixateurs d'azote localisés dans les nodosités bactériennes, ce qui en fait d'excellentes cultures de rotation (Kettani et Khalfi, 2017).

Au Maroc, les superficies cultivées pendant les 20 dernières années ont varié entre 82 000 et 206 000 ha pour la fève, entre 34 000 et 89 000 ha pour le pois chiche, entre 15 000 et 56 000 ha pour le pois sec, entre 10 000 et 23 000 ha pour le petit pois frais et entre 9 000 et 61 000 ha pour la lentille (Tableaux 1, 2, 3). Les rendements ont varié entre 3 et 11 qx/ha de fève, entre 4 et 11 qx/ha de pois chiche, entre 3 et 9 qx/ha de petit pois sec, entre 4 et 8 T/ha de gousses de petit pois frais et entre 2 et 11 qx/ha de lentille. Les productions ont varié entre 26 000 et 180 000 tonnes de fève, entre 25 000 et 75 000 tonnes de pois chiche, entre 6 000 et 40 000 tonnes de pois sec, entre 65 000 et 160 000 tonnes de gousses de petit pois frais et entre 2 000 et 50 000 tonnes de lentille. La production nationale ne couvre pas les besoins du pays et les importations pour la consommation humaine sont alors nécessaires. Ainsi, les importations ont varié entre 159 et 29 000 tonnes de fève, entre 0 et 17 000 tonnes de pois chiche, entre 2 500 et 22 000 tonnes de petit pois sec et entre 5 000 et 85 000 tonnes de lentille (www.fao.org/faostat).

Malgré l'importance des légumineuses alimentaires dans la rotation des cultures et la nutrition humaine, les agriculteurs ne sont pas motivés à moderniser la production de ces cultures pour obtenir des rendements élevés. Les faibles rendements sont dus à plusieurs facteurs parmi lesquels les sécheresses, l'emploi d'itinéraires techniques peu performants et la faiblesse d'utilisation des intrants (semences certifiées, engrais, pesticides, mécanisation, irrigation) (El Baghati, 1995; Guennouni, 2012a & 2012b; ADM, 2020). Les techniques de production utilisées actuellement dépendent fortement de la main d'œuvre qui devient de plus en plus rare, chère et exigeante (horaire, transport, repas) (Ouzine, 2010; Hmimina, 2017).

Le faible peuplement des légumineuses alimentaires ainsi que l'espacement entre les lignes créent des conditions favorables au développement des adventices. A fortes densités, les adventices concurrencent les cultures pour l'eau et les éléments fertilisants, gênent la récolte, réduisent les rendements et déprécient la qualité des grains et de la paille. Certains agriculteurs utilisent les herbicides et les sarclages pour nettoyer les parcelles des légumineuses alimentaires, alors que la plupart des petits agriculteurs font une ou plusieurs opérations de sarclage et d'arrachage manuel des plantes adventices. D'ailleurs, peu d'herbicides sont homologués au Maroc pour le désherbage de ces cultures.

Tableau 1: Evolution des superficies, rendements, productions et importations de la fève et du pois chiche au Maroc de 2001 à 2020 (www.fao.org/faostat).

Année	Fève				Pois chiche			
	Sup. en ha	Rend. en T/ha	Prod. en tonnes	Import. en tonnes	Sup. en ha	Rend. en T/ha	Prod. en tonnes	Import. en tonnes
2001	142 500	0,5756	82 020	4 620	58 000	0,5481	31 790	6 040
2002	154 100	0,5761	88 780	14 478	71 600	0,7170	51 340	202
2003	151 400	0,6807	103 060	2 760	70 900	0,6068	43 020	140
2004	152 900	0,7145	109 250	795	72 000	0,5825	41 940	84
2005	145 600	0,5011	72 960	7 038	76 300	0,4229	32 270	14
2006	169 100	1,0674	180 490	2 437	74 900	0,8854	66 320	208
2007	180 800	0,3863	69 850	619	78 500	0,4252	33 380	6
2008	181 900	0,5975	108 680	1 685	64 900	0,5871	38 100	50
2009	179 800	0,8512	153 040	16 084	80 900	0,6444	52 130	0
2010	196 900	0,7587	149 380	4 185	78 100	0,7250	56 620	0
2011	199 610	0,8544	170 552	4 185	88 780	0,5151	45 734	136
2012	187 160	0,7907	147 993	289	50 560	0,6626	33 499	144
2013	205 520	0,7623	156 670	680	57 019	0,4385	25 004	3 050
2014	190 966	0,8728	166 680	1 021	72 564	0,8613	62 499	524
2015	191 300	0,4719	90 279	159	59 472	1,1024	65 559	0
2016	82 774	0,3209	26 564	28 590	88 030	0,5005	44 062	122
2017	131 380	0,7109	93 400	15 135	34 091	0,7440	25 364	126
2018	137 032	1,0855	148 745	14 166	86 800	0,4183	36 312	17 050
2019	125 860	0,5779	72 739	862	81 982	0,9199	75 413	6 270
2020	107 408	0,4560	48 973	28 779	53 599	0,9275	49 714	4 284

Tableau 2: Evolution des superficies, rendements, productions et importations du petit pois au Maroc de 2001 à 2020 (www.fao.org/faostat).

Année	Petit pois sec				Gousses de petit pois frais			
	Sup. en ha	Rend. en T/ha	Prod. en tonnes	Import. en tonnes	Sup. en ha	Rend. en T/ha	Prod. en tonnes	Import. en tonnes
2001	27 500	0,4651	12 790	9 094	16 210	4,8686	78 920	0
2002	39 500	0,5461	21 570	3 851	11 260	6,0897	68 570	0
2003	33 100	0,6873	22 750	6 172	19 870	5,8103	115 450	0
2004	38 400	0,6737	25 870	5 518	20 895	6,9600	145 430	0
2005	36 400	0,3934	14 320	8 753	14 575	4,4789	65 280	122
2006	36 000	0,6750	24 300	4 552	21 355	6,8752	146 820	0
2007	37 300	0,3193	11 910	5 217	18 606	6,4952	120 850	0
2008	37 900	0,4108	15 570	4 509	16 935	6,9179	117 155	0
2009	39 000	0,7074	27 590	5 624	19 175	7,5155	144 110	0
2010	43 100	0,5995	25 840	5 354	17 547	7,9968	140 319	2
2011	50 240	0,7920	39 788	2 500	20 685	7,7416	160 136	2
2012	51 770	0,5675	29 382	3 020	21 155	6,2078	131 325	0
2013	55 711	0,6654	37 072	5 753	23 203	5,4080	125 482	0
2014	41 487	0,5644	23 417	8 118	15 967	6,1323	97 915	1
2015	49 792	0,6985	34 782	5 864	20 559	6,2333	128 151	1
2016	15 060	0,4212	6 343	7 027	10 637	7,1573	76 132	2
2017	37 091	0,6838	25 364	10 951	19 517	4,1630	81 249	0
2018	41 293	0,8590	35 470	14 529	20 996	5,8687	123 219	0
2019	41 034	0,4411	18 101	9 894	20 402	5,2475	107 059	8
2020	42 223	0,3334	14 077	22 340	14 500	6,6800	96 860	36

Tableau 3: Evolution des superficies, rendements, productions et importations de la lentille au Maroc de 2001 à 2020 (www.fao.org/faostat).

Année	Superficies en ha	Rendement en T/ha	Productions en tonnes	Importations en tonnes
2001	41 900	0,3076	12 890	29 338
2002	61 100	0,6820	41 670	14 130
2003	54 200	0,6203	33 620	5 003
2004	52 100	0,6248	32 550	7 915
2005	49 200	0,2986	14 690	35 366
2006	50 300	0,6805	34 230	19 461
2007	32 700	0,2599	8 500	31 911
2008	35 200	0,2665	9 380	24 702
2009	34 700	0,6689	23 210	19 385
2010	40 500	0,7017	28 420	16 250
2011	57 980	0,7837	45 438	5 442
2012	49 110	0,4490	22 048	5 504
2013	53 266	0,8063	42 949	5 888
2014	45 863	0,6688	30 671	6 764
2015	45 495	1,0991	50 004	5 099
2016	9 581	0,2092	2 004	19 481
2017	42 838	0,6574	28 163	45 456
2018	39 797	0,7975	31 739	49 061
2019	40 207	0,9226	37 095	33 683
2020	40 560	0,2230	9 044	85 218

2. Caractérisation de la flore adventice

2.1. Aperçu général

La synthèse des travaux de recherche de Boulif (1992), El Brahli (1987 & 1994), Loudyi (1978, 1985, 1987, 1995), Loudyi & al. (1995a & 1995b), Tanji (1994, 2001a, 2001b, 2001c, 2003) et Baye (2015) a montré que les adventices des légumineuses alimentaires se répartissent essentiellement en quatre groupes:

Groupe des adventices graminées annuelles comme les repousses de blé ou d'orge, les ivraies (*Lolium rigidum*, *Lolium multiflorum*), l'avoine stérile (*Avena sterilis*), les alpistes (*Phalaris brachystachys*, *P. minor*, *P. paradoxa*), le brome rigide (*Bromus rigidus*), etc...

Groupe des dicotylédones annuelles comme le coquelicot (*Papaver rhoeas*), la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*), la chicorée (*Cichorium intybus*), l'émex épineux (*Emex spinosa*), les gaillets (*Galium tricornutum*, *G. verrucosum*), les chrysanthèmes (*Chrysanthemum coronarium*, *C. segetum*), les soucis (*Calendula arvensis*, *C. stellata*), les diplotaxes (*Diptotaxis assurgens*, *D. catholica*, *D. tenuisiliqua*), la mauve (*Malva parviflora*), les mélilots (*Melilotus indicus*, *M. sulcatus*), la luzerne (*Medicago polymorpha*), l'aneth des moissons (*Ridolfia segetum*), le grand ammi (*Ammi majus*), l'herbe aux cure dents (*Ammi visnaga*), la bifore (*Bifora testiculata*), la vaccaire (*Vaccaria hispanica*), le mufler (*Misopates orontium*), le chardon de Marie (*Silybum marianum*), etc...

Groupe des vivaces comme les liserons (*Convolvulus arvensis*, *C. althaeoides*), le souchet (*Cyperus rotundus*), le chiendent (*Cynodon dactylon*), la morelle (*Solanum elaeagnifolium*), le gouet (*Arisarum vulgare*), le concombre d'âne (*Ecballium elaterium*), le silène enflé (*Silene vulgaris*), la buglosse d'Italie (*Anchusa italica*), etc...

Groupe des plantes parasites comme l'orobanche (*Orobanche crenata*) et la cuscute (*Cuscuta campestris*) sous forme d'infestations sporadiques.

2.2. Adventices de la fève

Dans 25 champs de fève non irriguée à la Chaouia, Tanji (2001a) a recensé 191 espèces adventices dont 169 espèces dicotylédones (87%), 166 espèces annuelles (87%), 7 vivaces monocotylédones et 18 vivaces dicotylédones. Le nombre d'espèces adventices par champ a été en moyenne 45, avec un minimum de 28 et un maximum de 63 espèces. Il faut noter que les champs de fève sont en général désherbés une à plusieurs fois avec des opérations de sarclage et d'arrachage manuel des plantes adventices.

2.3. Adventices du pois chiche

Tanji (2001c) a trouvé que le nombre total des espèces adventices dans 25 champs de pois chiche de printemps conduit en bour a été de 148 dont 129 espèces dicotylédones (soit 87%) et 120 espèces annuelles (81%). Le nombre d'espèces adventices par champ a été de 36 en moyenne, avec un minimum de 21 et un maximum de 64 espèces. Les champs de pois chiche dans la province de Settat sont en général désherbés une à plusieurs fois au moyen de sarclage et d'arrachage manuel des plantes adventices. Dans 4 champs de pois chiche d'hiver à El Gara en Chaouia, Tanji et Lhaloui (2014) ont identifié 47 espèces adventices: 32 dicotylédones annuelles, 7 graminées annuelles, 4 dicotylédones vivaces et 4 monocotylédones vivaces. Après la levée de la culture, les densités totales des adventices ont varié entre 89 et 428 plantes/m², avec une moyenne de 244 plantes/m² sur les lignes et 226 plantes/m² entre les lignes.

2.4. Adventices du petit pois

La prospection de 25 champs de petit pois non irriguée a permis d'inventorier 167 espèces adventices dont 145 espèces dicotylédones (87%), 140 espèces annuelles (84%), 8 vivaces monocotylédones et 19 vivaces dicotylédones. Le nombre d'espèces adventices a été en moyenne 45 par champ, avec un minimum de 24 et un maximum de 68 espèces (Tanji, 2003). D'habitude, une à plusieurs opérations de sarclage et d'arrachage manuel des plantes adventices sont effectuées pour désherber cette culture.

2.5. Adventices de la lentille

Dans 25 champs de lentille non irriguée à la Chaouia, Tanji (2001b) a trouvé 188 espèces adventices dont 164 espèces sont des dicotylédones (87%) et 161 espèces annuelles (86%). Le nombre d'espèces adventices par champ a été en moyenne de 52, avec un minimum de 28 et un maximum de 72 espèces. Ces chiffres indiquent la richesse floristique des champs de lentille en absence d'un désherbage correct. Les champs de lentille sont en général désherbés une à plusieurs fois moyennant le sarclage et l'arrachage manuel des plantes adventices.

3. Impact des adventices sur les légumineuses alimentaires

Le faible peuplement des légumineuses alimentaires, la taille basse des cultures ainsi que l'espacement entre les lignes favorisent le développement et l'envahissement des adventices aussi bien sur les lignes qu'entre les lignes. Ces adventices concurrencent les cultures pour l'eau, les éléments fertilisants et la lumière, et par conséquent, elles réduisent le rendement, entravent la récolte, déprécient la qualité du produit récolté et maintiennent une humidité favorable au développement des maladies et des ravageurs. Les pertes de rendement dues aux adventices sont variables selon plusieurs facteurs (culture, variété, date de semis, peuplement de la culture, fertilisation, nature des adventices et leur densité, durée de compétition, etc...). Boulif (1992) a indiqué que les pertes de rendement dues aux adventices ont atteint 44% chez la fève, 56% chez la lentille et 60 à 100% chez le pois chiche.

Dans les essais de désherbage, plusieurs auteurs ont constaté que les rendements obtenus dans les témoins non désherbés ont été en général faibles à nuls, comme dans le cas de la fève (Boutguelmoust & El Amrani, 1979; Halloumi & Nahri, 1981; El Harfaoui, 1994; Bamouh & El Harfaoui, 1996; Bouhaja 1998; Zemrag, 1998), de la lentille (Soumah, 1981; El Brahli, 1987 & 1994; Naciri, 1994; Bamouh & Naciri, 1997a; Najah, 2014; Riad, 1997; Bamouh & Ryad, 1998; Azizi & Srour, 2015; Srour & *al.*, 2017; Benalla, 2020), du pois chiche (El Brahli, 1987 & 1994; Abbadi, 1994; Abdallaoui, 1994; Benallou, 1994; Guellaoui, 1994; Najah, 2014) et du petit pois (Marrakchi, 1981; Bouhaja 1998).

Dans un essai de désherbage de la lentille en Chaouia, Naciri (1994) a trouvé que la compétition des adventices a réduit le nombre de gousses par plante de 80%, le nombre de grains par plante de 76% et le rendement grain de 79%. Quant à Riad (1997), il a trouvé dans 9 essais de désherbage de la lentille en Chaouia que les pertes en rendement grain dues aux adventices ont atteint 66%. Les pertes de rendement ont été estimées par Soumah (1981), dans un essai de désherbage à Meknès, à 69% chez la variété L24 et 76% chez la variété L56. Toutes ces pertes de rendement de la lentille sont dues d'une part à la taille basse de la lentille (10 à 30 cm) et d'autre part aux adventices qui concurrencent la culture pour l'eau et les éléments fertilisants et qui dépassent la culture pour intercepter la lumière et réduire l'activité photosynthétique de la culture (Bamouh & Naciri, 1997a).

Dans un essai de petit pois en serre, Marrakchi (1981) a déterminé que les adventices ont réduit le nombre de gousses/plante et le nombre de grains/gousse. Les pertes de poids des gousses de petit pois conduit sous un fort peuplement (150 plantes de petit pois/m²), sous un peuplement moyen (114 plantes/m²) et sous un faible peuplement faible (81 plantes/m²) ont été respectivement de 45, 40 et 61%.

Zemrag (1998) a rapporté dans un essai de désherbage au Gharb que la phase sensible de la fève aux adventices se situe entre 40 et 90 jours après le semis. Concernant le pois chiche d'hiver, Abbadi (1994) a trouvé que la période critique de compétition entre la culture et les adventices se situe entre 30 et 113 jours après la levée de la culture qui correspond à début floraison du pois chiche.

4. Gestion des adventices

4.1. Prévention

Avant de semer les légumineuses alimentaires, il est important **1)** d'éviter les champs qui sont connus par la présence d'adventices vivaces ou difficiles à contrôler telles que l'orobanche, les liserons, le chiendent, le souchet, la morelle, etc....., **2)** d'éviter les champs ayant des sols contaminés avec des herbicides rémanents employés sur les cultures précédentes, car les légumineuses sont sensibles et peuvent être endommagées par les résidus de certains herbicides persistants comme l'aminopyralide, le metsulfuron, etc... et **3)** d'utiliser les semences certifiées ou propres (ne contenant pas de semences d'adventices). En analysant 38 échantillons de semences non certifiées de pois chiche de printemps et 40 échantillons de semences non certifiées de fève, Akaaboune (1981) a trouvé en moyenne 26 semences d'adventices par kg de pois chiche et 17 semences d'adventices par kg de fève. En fait, l'emploi des semences certifiées permet d'éviter de semer les semences d'adventices.

4.2. Pâturage avant le semis

Le pâturage du cheptel avant le semis des cultures réduit les infestations par les adventices et les repousses des cultures précédentes (Photo 1). En général, les animaux de la ferme ne consomment pas les plantes épineuses comme *Notobasis syriacum*, *Scolymus hispanicus*, *Scolymus maculatus*, *Silybum marianum*, etc... et les plantes toxiques comme *Euphorbia medicaginea*, *Mandragora autumnalis* etc...).



Photo 1: Pâturage avant le semis des cultures

4.3. Préparation du sol avant le semis

Le travail du sol avant le semis conventionnel permet d'une part de détruire les adventices et les repousses des cultures précédentes, et d'autre part de préparer le lit de semences (Photo 2). Parfois, on peut pratiquer le faux-semis qui consiste à stimuler la levée des adventices (après une irrigation ou une pluie consistante) et ensuite labourer. A noter que le faux semis est devenu nécessaire dans le cas des adventices résistantes aux herbicides comme le ray grass, le coquelicot et le chrysanthème.



Photo 2: Labour avec le cover crop avant le semis

4.4. Désherbage chimique

Pour toutes les cultures, l'application des herbicides de pré-semis, pré-levée ou de post-levée est faite soit avec des pulvérisateurs tractés, soit avec des pulvérisateurs à dos utilisés dans les petites exploitations ou des exploitations sous mécanisées (Photos 3).



Photos 3: Application des herbicides avec le pulvérisateur tracté (à gauche) et avec le pulvérisateur à dos (à droite).

4.4.1. Herbicides de pré-semis

Dans le cas du semis direct (ou non labour), la végétation adventice ainsi que les repousses des cultures précédentes peuvent être traitées avec des herbicides non sélectifs comme le glyphosate (Photo 4). C'est un herbicide systémique qui contrôle toutes les plantes monocotylédones et dicotylédones. En général, la dose de 720 g m.a./ha est efficace sur les jeunes adventices et repousses de cultures, alors que la dose de 1080 g m.a./ha est efficace sur les plantes développées. Le glyphosate n'est pas persistant et on peut semer immédiatement ou quelques jours après le traitement, sachant que les plantes traitées fanent et dépérissent en général 2 à 3 semaines après les traitements. S'il n'y a pas de végétation le jour du semis, le semis direct a lieu sans aucun traitement herbicide.



Photo 4: Traitement herbicide avec le glyphosate avant le semis

4.4.2. Herbicides de pré-levée

Plusieurs herbicides disponibles sur le marché ont montré leur importance dans le désherbage de pré-levée des légumineuses alimentaires: aclonifen, clomazone, métribuzine, pendiméthaline, s-métolachlore, terbutylazine, etc... (Baye, 2012; Najah, 2014; Azizi & Srou, 2015; Hajjaj & *al.*, 2016; Tanji, 2012, 2013, 2018, 2019 & 2020). D'ailleurs, aclonifène et clomazone + pendiméthaline sont homologués pour le désherbage en pré-levée de la féverole, et peuvent donc être utilisés sur la fève. Azizi et Srou (2015) ont trouvé, dans un essai de désherbage de la lentille à Merchouch, que s-métolachlore (1250 g m.a./ha) + terbutylazine (750 g m.a./ha), métribuzine (350 g m.a./ha) et pendiméthaline (1320 g m.a./ha) ont été sélectifs de la lentille et ont réduit la biomasse des adventices respectivement de 84, 79 et 72%. Bouhache et Benmansour (2014) ont trouvé que la pendiméthaline (1050 g m.a./ha), la métribuzine (420 g m.a./ha) et la s-métolachlore (1440 g m.a./ha) ont permis d'avoir des efficacités dépassant 90% sur les adventices dicotylédones et dépassant 80% sur les graminées quatre mois après les traitements de la fève. La métribuzine (420 g m.a./ha) a causé la phytotoxicité sur la fève (Baye, 2012) et la féverole (Bouhache et Benmansour, 2014), alors qu'une dose de 150 g m.a. métribuzine./ha) a été sélective des différentes légumineuses alimentaires (Tanji, 2012).

Pour réussir les traitements de pré-levée, il est nécessaire de traiter un sol finement travaillé et suffisamment humide. Une faible pluie ou une petite irrigation après les traitements pourrait incorporer les herbicides dans le sol, et par conséquent, inhiber la germination et/ou empêcher la levée de la plupart des adventices. Par contre, un excès de pluie ou une forte irrigation après les traitements peut entraîner les herbicides en profondeur, ce qui risque de casser la sélectivité de position, et par conséquence, endommager les semences et/ou les plantules des cultures traitées. Dans le tableau 4 sont rapportés quelques herbicides qui peuvent être utilisés dans les différentes légumineuses alimentaires. Si les désherbants de pré-levée sont convenablement appliqués sur un sol bien travaillé et suffisamment humide, ils bloquent la levée de la plupart des adventices (Photo 5). Mais, ils n'ont aucun effet sur les légumineuses sauvages comme les astragales, les luzernes, les mélilots, les vesces, les gesses, etc... En général, les herbicides de pré-levée réduisent les infestations des adventices, mais 'autres traitements herbicides de post-levée ainsi que des opérations de sarclage et/ou d'arrachage manuel des plantes adventices seraient nécessaires pour avoir des cultures propres jusqu'à la récolte.



Photo 5: Lentille propre après les traitements de pré-levée

4.4.3. Herbicides de post-levée contre les graminées

Plusieurs matières actives graminicides de post-levée peuvent être utilisées pour le désherbage des légumineuses alimentaires: les cyclohexanediones ou « dimes » comme cléthodime, cycloxydime, tépraloxydime, etc... et les aryloxyphénoxypropionates ou « fops » comme fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, etc... (Tableau 4). Tous ces herbicides inhibent l'enzyme acétyl coenzyme A carboxylase (ACCase) qui catalyse la première étape de la synthèse des acides gras. Ils sont absorbés par le feuillage



Photo 6: Excellente efficacité des herbicides anti-graminées dans le pois chiche

et transportés dans le phloème jusqu'au méristème. Les symptômes causés par ces herbicides apparaissent plusieurs jours après le traitement des graminées. Ils se caractérisent par la chlorose ou le jaunissement des feuilles nouvellement formées, avec possibilité d'apparition d'une couleur rouge ou violette sur les feuilles âgées. Les tissus au point de croissance brunissent et finissent par se décomposer. Tous ces herbicides donnent en général, 2 à 3 semaines après les traitements, une excellente efficacité sur les jeunes graminées annuelles comme les repousses de céréales, les bromes, les alpistes, les avoines, les ray grass, etc... (Photo 6). La cléthodime peut être utilisée pour contrôler le ray grass résistant aux herbicides « fops ».

Tableau 4: Synthèse des recherches et recommandations concernant la lutte intégrée contre les adventices dans les légumineuses alimentaires.

Fève et féverole	
Avant la levée des cultures	Désherbage chimique de pré-levée pour contrôler les adventices dico et graminées aclonifène (2400 g m.a./ha) clomazone (75 g m.a./ha) + pendiméthaline (832,5 g m.a./ha) s-métolachlore (1250 g m.a./ha) + terbuthylazine (750 g m.a./ha) métribuzine (150 g m.a./ha) + pendiméthaline (330 g m.a./ha) pendiméthaline (1320 g m.a./ha)
Après la levée des cultures	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les adventices dico et graminées bentazone (720 g m.a./ha) + imazamox (33,6 g m.a./ha)
	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les adventices dicotylédones bentazone (720 g m.a./ha)
	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les graminées cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, tépraloxydime, etc...
	Faire 1 ou 2 sarclages avec la sarcluse à tracteur ou la sarcluse à traction animale
	Faire 1 ou 2 sarclages manuels avec la houe et la main d'œuvre
Petit pois	
Après la levée des cultures	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les adventices dico et graminées bentazone (720 g m.a./ha) + imazamox (33,6 g m.a./ha)
	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les adventices dicotylédones bentazone (720 g m.a./ha)
	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les graminées cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, tépraloxydime, etc...
	Faire 1 ou 2 sarclages avec la sarcluse à tracteur ou la sarcluse à traction animale
	Faire 1 ou 2 sarclages manuels avec la houe et la main d'œuvre
Pois chiche	
Avant la levée des cultures	Désherbage chimique de pré-levée pour contrôler les adventices dico et graminées aclonifène (2400 g m.a./ha) clomazone (75 g m.a./ha) + pendiméthaline (832,5 g m.a./ha) s-métolachlore (1250 g m.a./ha) + terbuthylazine (750 g m.a./ha) métribuzine (150 g m.a./ha) + pendiméthaline (330 g m.a./ha)
Après la levée des cultures	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les adventices dicotylédones pyridate (600 à 900 g m.a./ha)
	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les graminées cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, tépraloxydime, etc...
	Faire 1 ou 2 sarclages avec la sarcluse à tracteur ou la sarcluse à traction animale
	Faire 1 ou 2 sarclages manuels avec la houe et la main d'œuvre

Tableau 4 (suite)

Lentille	
Avant la levée des cultures	Désherbage chimique de pré-levée pour contrôler les adventices dico et graminées s-métolachlore (1250 g m.a./ha) + terbuthylazine (750 g m.a./ha) métribuzine (150 g m.a./ha) + pendiméthaline (330 g m.a./ha)
Après la levée des cultures	Désherbage chimique de post-levée pour contrôler les graminées cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, tépraloxymé, etc...
	Faire 1 ou 2 sarclages avec la sarcleuse à tracteur ou la sarcleuse à traction animale
	Faire 1 ou 2 sarclages manuels avec la houe et la main d'œuvre

4.4.4. Herbicides de post-levée contre les dicotylédones annuelles

Désherbage de la fève et du petit pois

Le mélange bentazone + imazamox + adjuvant est homologué pour le désherbage en post-levée de la féverole (Photo 7), mais il est possible de l'utiliser également pour le désherbage de la fève et du petit pois (Tableau 4). Parfois, des tâches noires peuvent apparaître sur le feuillage des cultures traitées avec la dose homologuée (720 g de bentazone/ha + 33,6 g d'imazamox/ha) quelques jours après les traitements. Ces symptômes disparaissent ultérieurement sans avoir des effets néfastes sur le rendement. L'efficacité est maximale quand l'application est réalisée sur les plantules d'adventices dicotylédones et graminées annuelles (Tanji et Elbilali, 2019). Parmi les adventices sensibles, on peut citer les avoines, les alpistes, les bromes, la blette, la capselle, les chardons, les chénopodes, les fumeterres, les gaillets, le lamier, les moutardes, les ravenelles, les diplotaxes, les chrysanthèmes, les soucis, la vaccaire, l'ortie, le pourpier, etc... Parmi les adventices tolérantes, on peut citer l'émex, les luzernes, les mélilots, l'astragale, le plantain pucier, etc... En général, les parcelles traitées restent propres pendant longtemps. Mais parfois, il est nécessaire de faire un ou deux sarclages ou l'arrachage manuel des plantes adventices pour contrôler les adventices qui restent (ou qui poussent) après le désherbage chimique.

La bentazone seule peut être utilisée dans le désherbage de post-levée de la fève et du petit pois bien que cette matière active ne soit pas homologuée sur ces deux cultures (Tableau 4) (<http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx>). La dose de 960 g.m.a./ha cause des dégâts de phytotoxicité sur les deux cultures. Pour minimiser la phytotoxicité, il faut soit employer la dose de 720 g m.a./ha ou procéder au fractionnement de la dose en deux traitements de 480 g m.a./ha. Mais, il est nécessaire d'appliquer un herbicide contre les graminées et de faire une ou plusieurs opérations de sarclages et arrachage manuel des plantes adventices pour contrôler les adventices qui restent (ou qui poussent) après les traitements.



Photo 7: Efficacité de bentazone + imazamox sur les adventices dans la fève **a)** en haut parcelle non traitée et **b)** en bas parcelle traitée.

Désherbage du pois chiche

L'herbicide pyridate a été homologué en 2018 pour le désherbage de post-levée du pois chiche pour le contrôle des adventices dicotylédones annuelles (Tableau 4) (Photo 8). Il est absorbé rapidement par les organes verts des plantes, et agit en inhibant la photosynthèse des plantes sensibles. C'est un

herbicide de contact et son efficacité sur les adventices est observée 3 à 7 jours après les traitements. Il est sélectif et son efficacité est maximale quand l'application de pyridate à la dose de 600 à 900 g m.a./ha est réalisée sur les plantules des adventices dicotylédones annuelles. Les essais de désherbage du pois chiche réalisés à la Chaouia, Rommani et Saïs ont montré que parmi les dicotylédones annuelles sensibles au pyridate (600 à 900 g m.a./ha), on peut citer les amarantes, la blette, la capselle, les centaurées, les chardons, la chenillette, les chénopodes, les diplotaxes, les gaillets, le mouron, les moutardes, l'ortie, la ravenelle, les soucis, la vaccaire, etc... Certaines dicotylédones annuelles ne sont pas contrôlées avec le pyridate comme la chicorée, le mufler, le plantain pucier, le torilis, etc... Mais, il est nécessaire d'appliquer un herbicide contre les graminées et de faire une ou plusieurs opérations de sarclage ou d'arrachage manuel pour contrôler les adventices qui restent (ou qui poussent) après les traitements (Tanji & Bailo Bah, 2019).



Photo 8: Efficacité de pyridate sur les adventices dicotylédones dans le pois chiche

4.4.5. Phytotoxicité des herbicides sur les légumineuses alimentaires

Dans certains cas, des symptômes de phytotoxicité des herbicides peuvent apparaître sur les plantules et les jeunes plantes des légumineuses alimentaires. Ces symptômes peuvent provenir soit des herbicides (de pré-levée ou de post-levée) employés dans les légumineuses, soit des résidus d'herbicides utilisés dans le désherbage des cultures précédentes. Ainsi, des tâches noires peuvent apparaître sur le feuillage de la fève et la féverole traitées avec bentazone + imazamox (Photo 9a). Dans certains cas, une forte pluie ou une irrigation copieuse après l'application des herbicides de pré-levée peut parfois causer des symptômes de jaunissement et de rabougrissement des légumineuses (Photos 9b et 9c). Parfois, les résidus de certains herbicides de céréales comme aminopyralide, metsulfuron, etc.... peuvent causer des symptômes caractérisés par le jaunissement, le rabougrissement et la déformation des légumineuses (Photo 9d).



Photo 9: **a)** symptômes de phytotoxicité sur la fève/féverole après le traitement de post-levée avec bentazone + imazamox, **b)** symptômes de phytotoxicité sur la fève/féverole après le traitement avec différents herbicides de pré-levée, **c)** symptômes de phytotoxicité sur le pois chiche après le traitement avec différents herbicides de pré-levée, **d)** symptômes de phytotoxicité sur la fève/féverole dus aux résidus d'aminopyralide.

4.5. Sarclage

En général, les agriculteurs qui cultivent les légumineuses alimentaires font une à plusieurs opérations de sarclage suivies parfois de collecte manuelle d'adventices quand la main d'œuvre est disponible (El Aboudi, 1975; Fellousi & Lakhal, 1980; Bouhatous, 1987; Bihya, 1992; El Brahli, 1992; Zemrag, 1997; Chafai Elalaoui, 2000).

4.5.1. Sarclage avec les outils tractés

L'espace entre les lignes des légumineuses favorise le développement des adventices, ce qui nécessite la mise en œuvre d'une ou de plusieurs opérations de sarclage. Il convient de prévoir, lors du semis, un écartement suffisant entre les lignes pour permettre le sarclage. Plusieurs sarcleuses à tracteur sont disponibles au Maroc pour le sarclage des légumineuses et autres cultures semées en ligne: la sarcleuse à dents, la sarcleuse à pattes d'oie, la sarcleuse à roues rotatives, etc... Elles sont réglables et peuvent à chaque passage travailler plusieurs interlignes; le service de sarclage coûte 200 à 300 DH/ha. Le tracteur doit être équipé des roues étroites, les lignes de semis doivent être bien parallèles et le matériel doit être bien réglé de façon à éviter les dégâts sur les cultures. Ces sarcleuses tractées sont recommandées pour pallier aux carences en main d'œuvre (Photo 10). L'efficacité du sarclage mécanique est variable selon le type de sol, l'humidité du sol, les espèces adventices et leur stade, et la qualité de l'outil utilisé. Ces opérations de sarclage doivent être réalisées quand le feuillage de la culture est sec et quand les journées sont relativement chaudes et ensoleillées pour empêcher le ré-enracinement des adventices. Le sarclage entre les lignes présente une alternative ou un complément au désherbage chimique. Car, les herbicides (de pré-levée et/ou de post-levée) ne donnent pas un contrôle total de toutes les adventices. Le sarclage est efficace sur les jeunes adventices annuelles à travers leur destruction, déracinement, sectionnement des racines, etc... Toutefois, le sarclage risque a) d'amener les semences d'adventices dormantes à la surface du sol où elles peuvent germer, et b) de favoriser la propagation des plantes vivaces, en fragmentant les racines, les rhizomes, les stolons et les tubercules (cas du chiendent, des liserons, de la morelle, du sorgho d'Alep, du souchet, etc...).



Photo 10: Sarclage mécanique du petit pois

4.5.2. Sarclage à traction animale

Plusieurs outils à traction animale sont utilisés pour le sarclage des légumineuses: l'araire en métal ou en bois, la herse, la sarcleuse à dents, la sarcleuse à pattes d'oie, etc... L'objectif est de réduire les infestations des adventices entre les lignes. L'efficacité dépend surtout de la qualité de l'outil de travail, de la rigueur de l'opérateur et de la vigueur de l'animal (Photo 11). A noter que le sarclage à traction animale nécessite un à deux jours de travail par ha. La distance parcourue, aussi bien par l'animal que l'opérateur, dépend de l'espacement entre les lignes (25 km/ha si l'espacement entre les lignes est de 40 cm, 20 km si l'espacement est de 50 cm, etc...).



Photo 11: Sarclage du pois chiche avec l'araire métallique

4.5.3. Sarclage manuel avec la houe

Le sarclage manuel avec la houe vise la destruction des adventices sur les rangs et entre les rangs (Photo 12). Il permet de détruire les adventices annuelles, mais il n'est pas efficace sur les adventices vivaces comme le chiendent, les liserons, la morelle, le sorgho, le souchet et autres. C'est une pratique parfois coûteuse, mais il permet d'employer la main d'œuvre quand elle est disponible. Le sarclage manuel nécessite, selon le degré d'infestation des adventices et la rigueur des ouvriers, entre 10 et 20 jours de travail par hectare avec un salaire variant entre 80 et 100 DH/jour, soit un montant de 800 à 2000 DH/opération/ha. La rareté de la main d'œuvre empêche souvent la réalisation des sarclages manuels dans de bonnes conditions et dans les meilleurs délais. En fait, le recours au sarclage manuel avec la houe est parfois nécessaire pour compléter le désherbage chimique et/ou le sarclage mécanique et/ou le sarclage à traction animale. L'objectif serait donc d'éliminer les adventices qui restent (ou qui poussent) après les autres opérations de désherbage.



Photo 12: Sarclage manuel du pois chiche avec la houe.

Dans un essai de désherbage du pois chiche d'hiver à Meknès, Abdallaoui (1994) a trouvé qu'un sarclage manuel réalisé 30 jours après la levée suivi d'un deuxième sarclage manuel 60 jours après la levée ont réduit la biomasse des adventices de 96%. A Douyet, El Harfaoui (1994) a rapporté qu'un sarclage manuel de la fève réalisé 43 jours après la levée suivi d'un deuxième sarclage manuel 80 jours après la levée ont réduit la biomasse des adventices de 91%. Quant à Bouhaja (1998), il a conclu que deux binages manuels du petit pois ont permis d'avoir des parcelles totalement propres et un rendement de 8,9 tonnes de gousses fraîches/ha, alors que la parcelle témoin non désherbé a donné seulement 2,6 tonnes/ha.

4.6. Arrachage manuel des adventices

Les plantes adventices prélevées (parfois gratuitement par les voisins) dans les champs de légumineuses alimentaires sont collectées et utilisées dans l'alimentation du cheptel (Photo 13). L'arrachage manuel concerne généralement les adventices qui ont plus de 20 cm de hauteur. Car, la présence des adventices à un stade avancé des cultures (entre la floraison et la maturité) nécessite parfois l'arrachage manuel. Même après l'emploi des herbicides et les sarclages, il faut surveiller les infestations des adventices sur les lignes et entre les lignes pour pouvoir intervenir, si nécessaire, avec une ou deux opérations d'arrachage manuel des adventices. Zimdahl & al. (1992) ont trouvé que 85 petits agriculteurs de la Chaouia ont utilisé 124, 98, 74 et 51 heures de travail de la main d'œuvre familiale pour prélever les plantes adventices respectivement dans un ha de fève, un ha de lentille, un ha de pois chiche et un ha de petit



Photo 13: Arrachage manuel et collecte des adventices dans un champ de lentille

pois. Cette même tendance a été rapportée à Abda par Rafsnider & *al.* (1990). Aussi bien en Chaouia qu'à Abda, Hajjaj (2010) a remarqué que les producteurs de légumineuses n'utilisent pas les herbicides mais font des opérations de sarclage et d'arrachage des adventices. A vrai dire, de grandes quantités de biomasse fraîche d'adventices peuvent être collectées et utilisées dans l'alimentation du cheptel. Dans un essai de désherbage du pois chiche d'hiver à Meknès, Abdallaoui (1994) a trouvé 2,5 kg de biomasse fraîche de la partie aérienne des adventices/m² (25 tonnes de fourrages «gratuites»/ha) collectées dans le témoin non désherbé 114 jours après levée.

4.7. Paillage plastique

Au Maroc, certains producteurs font le paillage plastique avec une bâche trouée (Photo 14). Cette méthode consiste à poser au préalable une bâche tendue sur la parcelle, puis de semer les graines dans des orifices percés dans la bâche. Elle présente l'avantage de ne pas avoir à désherber entre les plants, car la bâche empêche la levée des adventices annuelles. Cette technique a aussi l'avantage d'éviter tout contact des gousses avec le sol, et par conséquent, empêcher les pourritures molles des gousses dues aux champignons telluriques.



Photo 14: Paillage plastique du petit pois

4.8. Pâturage des ovins dans les champs de fève

Certains agriculteurs lâchent les ovins dans les parcelles de fève et de féverole semées en ligne et avant la floraison de ces deux cultures (Photo 15). Ainsi, les animaux pâturent les adventices sans endommager ou consommer les cultures.

Certaines adventices ne sont pas consommées par les animaux, en particulier les plantes épineuses (*Notobasis syriacum*, *Scolymus hispanicus*, *Scolymus maculatus*, *Silybum marianum*, etc...), les plantes toxiques (*Euphorbia medicaginea*, *Mandragora autumnalis*, etc...) et les plantes non appréciées (*Ammi visnaga*, etc...).



Photo 15: Patûrage des ovins dans la fève

4.9. Gestion intégrée des adventices

Les recherches conduites jusqu'à présent au Maroc sur le désherbage des légumineuses alimentaires ont montré que ni les herbicides seuls (en pré-levée et en post-levée) ni les opérations de sarclage seules ne contrôlent la totalité ou la majorité des adventices. Les meilleures efficacités et les meilleurs rendements ont été obtenus quand un ou plusieurs sarclages ont été réalisés après les traitements herbicides. Dans le périmètre irrigué de Tadla, Baye (2012) a trouvé que le mélange métribuzine (180 g/ha) + pendiméthaline (660 g m.a./ha) en pré-levée, suivi ultérieurement d'un sarclage manuel avec la houe, ont donné des efficacités de 90 à 95% à 3 mois après les traitements de la fève, du pois chiche, du petit pois et de la lentille. Les rendements en grain ont été respectivement de 21, 13, 12 et 9 qx/ha.

El Harfaoui (1994) a constaté que les parcelles de fève étaient totalement propres après un traitement de pré-levée avec la terbutryne (3 kg m.a./ha) suivi d'un sarclage manuel à 146 jours après la levée. Il a obtenu un rendement grain de 41 qx/ha. Dans un essai de désherbage du pois

chiche d'hiver à la Chaouia, Benallou (1994) a montré que la terbutryne (3 kg m.a./ha), suivi d'un sarclage manuel à 63 jours après la levée, a réduit la biomasse des adventices de 87% et a donné un rendement de 9 qx/ha. Tanji et Lhaloui (2014) ont trouvé dans 4 champs de pois chiche d'hiver en Chaouia qu'un traitement avec un graminicide, suivi d'un sarclage à traction animale et d'un sarclage manuel avec la houe, ont réduit jusqu'à 96% les densités totales des adventices graminées et dicotylédones.

5. Conclusion

Les graines des légumineuses sont appréciées dans le monde entier comme une alternative peu coûteuse à la viande et sont considérées comme la deuxième source de nourriture après les céréales. La production nationale ne couvre pas les besoins du pays et les importations pour la consommation humaine sont alors nécessaires. Le faible peuplement des légumineuses alimentaires, la taille basse des cultures ainsi que l'espacement entre les lignes favorisent le développement et l'envahissement des adventices aussi bien sur les lignes qu'entre les lignes. La gestion des adventices dans ces cultures est l'une des voies d'amélioration de leur production. Les adventices associées aux légumineuses alimentaires sont très diversifiées et seule la lutte intégrée combinant la rotation des cultures, les labours, les herbicides et les sarclages pourrait réduire les infestations à un niveau faible. Les bonnes pratiques agricoles comme l'emploi des semences certifiées, le choix de la variété, du peuplement adéquat, de la fertilisation raisonnée et de la protection appropriée contre les maladies et les ravageurs, pourrait contribuer à avoir des cultures compétitives vis-à-vis des adventices, productives et rentables.

Le désherbage chimique des légumineuses alimentaires n'est pas très pratiqué au Maroc car les herbicides de ces cultures sont soit introuvables chez les revendeurs de pesticides, soit méconnus des producteurs, soit vendus à des prix élevés. Pourtant, certains herbicides de pré-levée et de post-levée ont montré leur utilité dans le désherbage des légumineuses. Des recherches sur la gestion intégrée des adventices basées sur l'emploi des herbicides (anti-graminées et anti-dicotylédones) et du sarclage avec des outils tractés seraient nécessaires pour faciliter le désherbage et contribuer à la réduction de l'emploi de la main d'œuvre qui devient de plus en plus rare, chère et exigeante. Des actions de vulgarisation concernant l'emploi des herbicides et des différentes techniques de désherbage et de l'approche intégrée de gestion des adventices des légumineuses alimentaires devraient améliorer la production de ces cultures stratégiques pour notre pays.

Références

- Abbadi L. (1994) Stratégies de désherbage chez le pois chiche d'hiver: aspects concurrentiels et méthodes de contrôle. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 133 p.
- Abdellaoui A. (1994) Etude de l'élaboration du rendement grain chez le pois chiche d'hiver, influence de deux paramètres agronomiques: espacement entre les lignes et pratiques de désherbage. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 120 p.
- ADM (Agriculture du Maghreb) (2020) Légumineuses alimentaires, améliorer la production et la commercialisation. Agriculture du Maghreb, No 130, Septembre/Octobre 2020: 86-88.
- Akaaboune A. (1981) Etude de la qualité des semences non certifiées de blé dur, d'orge, de pois chiche et de fève utilisées dans quelques régions du Maroc. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 76 p.
- Azizi I. & Srouf M. (2015) Evaluation de nouvelles technologies de production de la lentille dans la région de Zaer: semis direct et désherbage chimique. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 148 p.
- Bamouh A. & El Harfaoui S. (1996) Désherbage chimique de la fève. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture, No 25, Octobre 1996.

- Bamouh A. & Naciri M. (1997) Désherbage chimique de la lentille: Recherche d'une stratégie efficace et économique. Bulletin mensuel d'information et de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture, No 39, Décembre 1997.
- Bamouh A. & Riad F. (1998) Diffusion d'une technologie de désherbage chimique de la lentille auprès des agriculteurs de la zone de Ben Ahmed. Proceedings du quatrième Congrès de l'Association Marocaine de Malherbologie (AMM), Rabat, pp. 47-60.
- Baye Y. (2012) Possibilités de désherbage chimique des légumineuses alimentaires en irrigué. Proceedings du 8ème Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Rabat, pp. 445-454.
- Baye Y. (2015) Mauvaises herbes des légumineuses alimentaires: espèces rencontrées, impact sur le rendement et moyens de lutte. Guide pratique pour la protection phytosanitaire des céréales et des légumineuses alimentaires, INRA-ICARDA, Rabat, pp. 54-56.
- Benalla A. (2020) Sélection pour la tolérance aux herbicides chez la lentille (*Lens culinaris*). Mémoire de fin d'études pour un Master en Sciences et Techniques, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan Premier, Settat, 42 p.
- Benallou L. (1994) Intensification des itinéraires techniques du pois chiche (*Cicer arietinum* L.): Stratégie de désherbage, variété et position du cycle. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 123 p.
- Bihya B. (1992) Technologie de production de la fève et du pois chiche dans la région de Taounate et de la lentille dans la région de Settat, intensification d'itinéraires techniques performants à promouvoir à court terme. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Bouhache M. & Benmansour S. (2014) Possibilités de désherbage chimique de la féverole (*Vicia faba* var. *minor*) conduite en irrigué et en bour. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 6:51-62.
- Bouhaja H. (1998) Contribution à l'élaboration d'une stratégie de désherbage des légumineuses alimentaires: cas de la fève et du petit pois. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 140 p.
- Bouhatous B. (1987) Les légumineuses alimentaires: potentialités et possibilités d'intensification au Maroc. Compte Rendus du Séminaire National sur les Légumineuses Alimentaires au Maroc, Kamal M. & al. (éd.), INRA-ICARDA, Settat.
- Boulif M. (1992) Maladies et adventices. Le Secteur des Légumineuses Alimentaires au Maroc. Edition Actes, Rabat, pp. 281-314.
- Boutguelmoust A. & El Amrani A. (1979) Mise en place et étude d'itinéraires techniques de lutte contre les adventices en interaction avec la date de semis, la densité et la structure de peuplement chez la fève. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 34p.
- Chafai Elalaoui A. (2000) Mécanisation de la culture des légumineuses alimentaires au Maroc. Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison du Programme National du Transfert de Technologie en Agriculture, No 64, Janvier 2000.
- El Aboudi A. (1975) Techniques culturales des pois chiche, fèves et lentilles dans la région de Meknès. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès.
- El Baghati H. (1995) La production des légumineuses alimentaires au Maroc. Al Awamia, 89: 77-82.
- El Brahli A. (1987) Lutte contre les mauvaises herbes dans la lentille et le pois chiche d'hiver en zone semi-aride. Compte Rendus du Séminaire National sur les Légumineuses Alimentaires au Maroc, 7-9 Avril 1987, Kamal M. & al. (éd.), INRA-ICARDA, Settat.
- El Brahli A. (1994) Désherbage des légumineuses alimentaires en zones semi-arides du Maroc. Proceedings du « Séminaire International sur les Acquis et Perspectives de la Recherche Agronomique dans les Zones Arides et Semi-arides », El Gharous & al. (éd.), INRA-MIAC, Rabat, pp. 210-215.
- El Harfaoui S. (1994) Intensification des itinéraires techniques de la fève (*Vicia faba* L.): recherche d'une stratégie de désherbage. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 157 p.

- Felloussi A. & Lakhal M. (1980) Contribution à l'étude des techniques culturales pratiquées sur la fève dans la région de Meknès et analyse de l'élaboration du rendement de cette culture par le biais d'une enquête au champ. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès.
- Guellaoui F. (1994) Effet de la date de désherbage sur la croissance et le rendement grain du pois chiche d'hiver. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 82 p.
- Guenouni A. (2012a) Le pas de deux des légumineuses alimentaires. Agriculture du Maghreb, No 57, Février 2012: 74-77.
- Guenouni A. (2012b) Les légumineuses alimentaires, à la recherche d'un itinéraire technique adéquat. Agriculture du Maghreb, No 59, Avril 2012: 120-127.
- Hajjaj B. (2010) Diagnostic de la situation du désherbage chimique des céréales et légumineuses dans la région de Sidi El Aidi (Chaouia) et Jemaa shaim (Abda). Proceedings du septième congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMMP), Rabat, pp. 357-364.
- Hajjaj B., Bouhache M., Mrabet R., Taleb A. & Douaik A. (2016) Efficacité de quelques séquences d'herbicides contre les mauvaises herbes du pois chiche et de la féverole conduits en semis direct. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét., 4(3): 37-47.
- Halloumi M. & Nahri M. (1981) Comparaison d'itinéraires techniques de conduite de la fève en peuplements denses: étude des interactions caractéristiques du peuplement x lutte contre les adventices. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 65 p.
- Hmimina M. (2017) La main d'œuvre agricole: récriminations patronales et ouvrières. Agriculture du Maghreb, No 102, Mars 2017: pp. 64-67.
- Kettani R. & Khalfi C. (2017) Valorisation des légumineuses alimentaires à travers la rotation culturale au Saïs. Agriculture du Maghreb, No 103, Avril 2017: 134-135.
- Loudyi M.C. (1978) Caractérisation botanique de la flore adventice des cultures de la région de Meknès. Mémoire DEA, Montpellier, France-USTL.
- Loudyi M.C. (1985) Etudes botanique et écologique de la végétation spontanée du Plateau de Meknès (Maroc). Thèse de doctorat, USTL, Montpellier, France.
- Loudyi M.C. (1987) La flore adventice des légumineuses cultivées dans le plateau de Meknès. Comptes Rendus du Séminaire National sur les Légumineuses Alimentaires au Maroc, Kamal M. & al. (éd.), INRA-ICARDA, Settat, pp. 220-233.
- Loudyi M.C. (1995) Contribution à l'étude floristico-écologique des groupements des mauvaises herbes des cultures du Saïs (Maroc Central). Thèse de doctorat es-sciences naturelles, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan II, Casablanca, 327 p.
- Loudyi M.C., Godron M. & El Khyari D. (1995a) Influence des variables écologiques sur la distribution des mauvaises herbes des cultures du Saïs (Maroc Central). Weed Research, 35: 225-240.
- Loudyi M.C., Godron M. & El Khyari D. (1995b) Profits écologiques et liaisons interspécifiques, deux approches complémentaires appliquées à l'étude des groupements de mauvaises herbes des cultures du Saïs (Maroc central). Weed Research, 35: 121-131.
- Marrakchi A. (1981) Etude de la concurrence entre mauvaises herbes et petit pois. Mémoire de fin d'étude, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 122 p.
- Naciri M. (1994) Intensification des itinéraires techniques de la lentille: recherche d'une stratégie de désherbage. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 141p.
- Najah S. (2014) Évaluation de stratégies de désherbage chimique des légumineuses alimentaires: cas de la lentille à Zaer et du pois chiche en Basse Chaouia. Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II.
- Ouzine M. (2010) La main d'œuvre agricole au Gharb, rareté et nouvelles tendances à la production. Agriculture du Maghreb, No 48, Décembre 2010: 52-53.
- Rafsnider G., Zimdahl R. & Hammida M. (1990) Costs associated with weed management in cereals and food legumes in Safi province, Morocco. FAO Plant Protection Bulletin, 38: 188-193.
- Riad F. (1997) Diffusion d'une technologie de désherbage chimique de la lentille auprès des agriculteurs de la zone de Ben Ahmed (Chaouia). Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 123 p.

- Soumah S. (1981) Essai de désherbage chimique sur lentille. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture, Meknès, 45 p.
- Srour M., Azizi I. & Bamouh A. (2017) Evaluation des herbicides de pré-levée pour le contrôle des adventices de la lentille dans la région de Zaer. Poster présenté au Salon National Professionnel des Céréales et Légumineuses, Berrechid, 12-15 Octobre 2017.
- Tanji A. (1994) Mauvaises herbes et désherbage des cultures dans les régions arides et semi-arides du Maroc. Proceedings du Séminaire International sur les Acquis et Perspectives de la Recherche Agronomique dans les Zones Arides et Semi-arides, El Gharous & *al.* (éd.), INRA, Rabat, pp. 190-204.
- Tanji A. (2001a) Adventices de la fève non irriguée dans la province de Settât. *Al Awamia*, 103: 71-81.
- Tanji A. (2001b) Adventices de la lentille non irriguée dans la province de Settât. *Al Awamia*, 104:49-59.
- Tanji A. (2001c) Adventices du pois chiche de printemps dans la province de Settât. *Al Awamia*, 104: 61-71.
- Tanji A. (2003) Adventices du petit pois non irrigué dans la province de Settât. *Al Awamia*, 107: 29-37.
- Tanji A. (2012) Contribution au désherbage chimique des légumineuses alimentaires. Proceedings du huitième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Rabat, pp. 409-419.
- Tanji A. (2013) Légumineuses alimentaires: gestion intégrée des adventices. *Agriculture du Maghreb*, No 71, Novembre 2013: 60-61.
- Tanji A. (2018) Fève et féverole: quoi de neuf pour le désherbage ? *Agriculture du Maghreb*, No 114, Septembre/Octobre 2018: 70-73.
- Tanji A. (2019) Légumineuses: gestion des mauvaises herbes du pois chiche. *Agriculture du Maghreb*, No 124, Décembre 2019: 82-84.
- Tanji A. (2020) Gestion des adventices dans la lentille. *Agriculture du Maghreb*, No 131, Novembre 2020: 94-95.
- Tanji A. & Lhaloui S. (2014) Dynamique des populations des adventices dans la culture du pois chiche d'hiver dans la Chaouia. Neuvième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des plantes (AMPP), Rabat, pp. 283-297.
- Tanji A. & Bailo Bah M. (2019) Pyridate: un nouvel herbicide pour le désherbage en post-levée du pois chiche. Onzième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Rabat, pp. 423-429.
- Tanji A. & Elbilali T. (2019) Bentazone + imazamox: un nouvel herbicide pour le désherbage des fèves, féveroles et petits pois. Onzième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Rabat, pp. 431-438.
- Zemrag A. (1997) Les acquis de la recherche en matière de désherbage: cas des légumineuses alimentaires. Compte Rendus de la Journée Nationale sur la Problématique du Désherbage des Grandes Cultures, Association Marocaine de Malherbologie (AMM), Meknès, pp. 15-28.
- Zemrag A. (1998) Détermination de la phase sensible de la culture des fèves (*Vicia faba* L.) aux mauvaises herbes. Compte Rendus du Quatrième Congrès de l'Association Marocaine de Malherbologie (AMM), Rabat, pp. 17-21.
- Zimdahl R.L., Rafsnider G., Boughlala M. & Laamari A. (1992) Costs associated with weed management in cereals and food legumes in the Chaouia region of Settât province, Morocco. *Weed Technology*, 6: 156-160.

Page laissée vierge

Gestion des adventices de la betterave à sucre

Yahya BAYE

1. Introduction

La betterave à sucre est la principale culture industrielle à côté de la canne à sucre dont la récolte est destinée à la production de sucre (saccharose). Ce dernier sert essentiellement à la consommation mais une partie non négligeable est réservée à la production de biogaz dans certains pays. Elle est cultivée partout dans le monde où le climat est tempéré. Elle est la seule ou la principale plante cultivée pour la production du sucre dans les zones tempérées de l'hémisphère boréale. Depuis la seconde guerre mondiale, la betterave à sucre a été aussi cultivée comme culture dans les pays à climat plus chaud tels que le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, l'Egypte, la Syrie, l'Irak et l'Iran (FAO, 2018). Les données concernant les principaux pays producteurs avec la production, la superficie cultivée et le rendement moyen sont consignées dans le tableau 1. La Russie, la France et les Etats-Unis viennent en tête et accaparent la part du lion. Les meilleurs rendements moyens ont été enregistrés en France, en Allemagne et aux Etats Unis (FAO, 2018).

Tableau 1: Principaux producteurs de betterave à sucre au monde (FAO, 2018).

Pays	Production en millions de tonnes (Chiffres de 2018)	Superficie (ha)	Rendement racine (T/ha)
Russie	42.065	1.092.024	47
France	39.579	402.675	83,9
États-Unis	30.068	455.760	73,4
Allemagne	26.191	334.500	76,2
Turquie	18.900	321.953	60,4
Pologne	14.302	205.572	65,7
Ukraine	13.967	291.200	48,1
Chine	12.077	135.668	59,6
Égypte	11.222	254.991	52,2
Royaume-Uni	7.620	86.000	66,1

Au Maroc, depuis son introduction au début des années 60, la superficie emblavée avec la culture a connu son apogée vers les années 80 et 90 lorsqu'elle atteignait presque 70 000 ha (ORMVAT, com. pers.). Cependant, dernièrement, avec les changements climatiques et la rareté des ressources en eaux d'irrigation, cette superficie a connu une nette diminution. Les superficies récoltées et les rendements moyens pour les différents périmètres betteraviers pour les deux dernières campagnes betteravières 2019/2020 et 2020/2021 sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2: Superficies et rendement de la culture au niveau national (Anonyme, 2021a).

Périmètre ou région	Superficie récoltée (Ha)		Rendement moyen (T/ha)	
	2019/2020	2020/2021	2019/2020	2020/2021
Gharb	16.003	14.493	58	49,3
Doukkala	17.803	10.722	70	73
Tadla	14.863	10.000	70	73
Moulouya	3.752	4.400	61	58
Loukkos	2.688	4.995	65	39,7
Total	55.109	44656	-	-

La filière sucrière a bénéficié du soutien de l'état et cet appui s'est renforcé davantage depuis la mise en place du Plan Maroc-Vert dans le cadre de la nouvelle vision du Département de l'Agriculture, vu son rôle stratégique aussi bien au niveau national que régional (Anonyme, 2021b). En effet, c'est un secteur stratégique qui joue un rôle socio-économique considérable avec la création de journées de travail allant jusqu'à 5 millions/an et garantissant un revenu brut moyen qui peut dépasser les 30.000 dh/ha (Anonyme, 2021b). La betterave à sucre, comme toutes les autres cultures, est sujette à de nombreux problèmes phytosanitaires parmi lesquels on peut citer des ravageurs tels que les taupins, le cléone mendiant, la casside, le spodoptera, les nématodes ainsi que des maladies fongiques telles que la cercosporiose, la pourriture racinaire à *Sclerotium*, le *Pytium*, etc... (Boucaid & Kebir, 2006). Les adventices constituent une véritable contrainte pour la culture qui est très sensible à leur concurrence en particulier au début de sa croissance. Les pertes de rendement peuvent être importantes en cas de fortes infestations notamment en absence d'une bonne gestion de ce problème. Les rendements moyens obtenus (Tableau 2) qui sont d'une manière générale encore loin du potentiel requis peuvent être expliqués en partie par la non maîtrise des aspects relatifs au désherbage. Dans le but de mettre au point des stratégies de gestion des adventices pour améliorer la maîtrise de l'itinéraire technique d'une part et de rentabiliser la culture de la betterave à sucre d'autre part, un grand nombre de travaux de recherche ont été menés aussi bien au Maroc qu'à l'étranger. Ces études sont afférentes à la nature de la flore adventice accompagnant la culture, à son impact agronomique et économique sur la production et sa qualité et à la stratégie de lutte intégrée contre ces ennemis. Le présent travail propose de faire une synthèse de ces travaux et d'exposer les différentes stratégies possibles pour une gestion raisonnable, efficace et durable de ces adventices.

2. Caractérisation de la flore adventice

Plusieurs auteurs ont tenté de dresser un premier inventaire des adventices de la culture au Maroc (Link et Mouch, 1984; Link et Behada, 1984; Mouch, 1984). Toutefois, ce n'est qu'au début des années 80 que des études botaniques, agronomiques et floristiques proprement dites des adventices de la betterave à sucre dans les différents périmètres betteraviers avaient commencé et se sont intensifiées. Ainsi, jusqu'à l'année 2000, faisant une synthèse de 319 relevés effectués sur la betterave à sucre dans les différentes zones betteravières, Taleb & *al.* (2000) rapportaient que le nombre d'espèces adventices accompagnant la culture est de l'ordre de 301. Les travaux de recherches dans ce domaine avec le nombre de relevés réalisés, l'effectif d'espèces identifiées et les références sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3: Le nombre d'espèces recensées dans la betterave à sucre par région (Taleb & *al.*, 2000).

Régions	Nombre de relevés	Effectif d'espèces	Références
Gharb	100	256	Tanji & <i>al.</i> (1984)
Tadla	120	144	Bennig et Taleb (1995)
Moulouya	40	142	Taleb et Rzozi (1993)
Doukkala	59	127	Bouhache et Ezzahiri (1993)
Total	319	301	

Cet effectif spécifique qui est de 301 correspond à 35,9% de l'effectif de la flore adventice du Maroc occidental et central qui est évalué à 838 espèces (Boulet & *al.*, 1989). Le nombre total de familles botaniques des espèces adventices constituant le cortège floristique de la betterave à sucre est de 42. Ce chiffre est inférieur à celui trouvé pour les céréales (48) (Taleb & *al.*, 1998). L'ensemble des familles de la flore adventice de la betterave à sucre représentent respectivement 65,5% et 33% des familles botaniques adventices du Maroc occidental (Boulet & *al.*, 1989) et de la flore du Maroc (Ibn Tatou & Fennane, 1989). Selon leurs contributions relatives, sept d'entre elles dominent très nettement la flore adventice de la betterave à sucre en genre et en espèce. Il s'agit des *Asteraceae*, des *Fabaceae*, des *Poaceae*, des *Brassicaceae*, des *Apiaceae*, des *Caryophyllaceae* et des *Lamiaceae*.

Les familles des *Asteraceae* et *Lamiaceae* ont gardé le même rang dans toutes les régions, cependant, les cinq autres familles occupent des rangs variables d'une région à l'autre (Tableau 4). Ces familles totalisent à elles seules 162 espèces, soit 53,8% de l'effectif spécifique total. A l'échelle régionale, cette contribution varie entre 53,3 et 58, 2% (Taleb & *al.*, 2000). La représentativité de ces familles a été aussi observée dans la flore adventice associée aux céréales d'automne (Taleb & *al.*, 1998) et pour la flore adventice du Maroc occidental et central (Boulet & *al.*, 1989). L'importance de ces familles peut être expliquée par leur prépondérance, à l'échelle nationale, par leur aire de répartition biogéographique méditerranéenne et par leur aptitude à s'adapter à des biotopes instables et très diversifiés (Taleb & Maillet, 1994), en plus de leur productivité élevée de semences, la grande longévité de leurs graines, la dissémination des semences facilitée par les travaux aratoires et la phénologie parfaitement adaptée à la culture (Tanji & *al.*, 1984).

Tableau 4: Contribution et rang des principales familles des adventices de la betterave à sucre dans les périmètres betteraviers (Taleb & *al.*, 2000).

Régions	Tadla		Gharb		Basse Moulouya		Doukkala	
Principales familles	C%	R	C%	R	C%	R	C%	R
<i>Asteraceae</i>	13,2	1	15,2	1	16,3	1	20,5	1
<i>Fabaceae</i>	12,5	3	11,3	2	5,7	5	9,4	2
<i>Poaceae</i>	13,2	1	8,6	3	12,8	2	7,9	4
<i>Brassicaceae</i>	6,2	4	5,5	6	9,9	3	7,9	4
<i>Apiaceae</i>	5,5	5	5,9	4	4,9	6	4,7	6
<i>Caryophyllaceae</i>	5,5	5	5,9	4	6,4	4	6,3	5
<i>e Lamiaceae</i>	2,1	7	3,9	7	1,4	7	0,8	7
Contribution en %	58,2		65,3		57,4		57,0	
Nombre total de familles botanique	30		35		30		42	

Concernant l'aspect biologique et éthologique des espèces adventices accompagnant la betterave à sucre, les thérophytes dominent respectivement avec 83,0%, 57,1%, 79,4% de l'effectif spécifique des dicotylédones, des monocotylédones et de la flore adventice totale de la culture. La même tendance a été notée au niveau régional (Tableau 5) (Taleb & *al.*, 2000). Dans un second rang, viennent les géophytes avec une contribution de 12,6% de l'effectif spécifique et ils sont composés essentiellement par les monocotylédones avec 47,6% de l'effectif spécifique de cette classe et 6,6% de l'effectif spécifique total. Ce rang s'explique par leur bonne adaptation à l'étage aride et semi-aride grâce à leurs organes végétatifs (rhizomes, bulbes, tubercules, bourgeons épiradiculaires, etc...) (Loudyi, 1985; Taleb & Maillet, 1994). *Convolvulus arvensis*, *Cynodon dactylon*, *Convolvulus althaeoides*, *Cyperus rotundus*, *Arisarum simorrhinum*, *Gladiolus italicus*, *Launaea nudicaulis*, *Mandragora autumnalis* et *Solanum elaeagnifolium* sont les géophytes les plus fréquentes.

Tableau 5: Spectre éthologique des adventices de la betterave à sucre dans les différents périmètres betteraviers et leur comparaison avec la flore adventice totale.

Types biologiques	Tadla	Gharb	Moulouya	Doukkala	Flore adventice totale
Thérophytes	82,6	80,4	83,8	86,6	79,4
Géophytes	11,8	11,3	10,6	8,7	12,6
Hémicryptophytes	3,5	3,5	3,5	4,7	5,6
Caméphytes	0,7	1,6	0,0	0,0	0,7
Nanophanéophytes	0,7	0,8	0,7	0,0	0,7
Parasites	0,7	1,6	1,4	0,0	0,7
Hydrophytes	0,0	0,8	0,0	0,0	0,3

Les hémicryptophytes (5,6%) *Rumex pulcher* L., *Beta macrocarpa* et *Scorzonera laciniata* sont fréquentes et peu abondantes. Les chaméphytes et les nanophanérophites sont assez rares et sont représentés chacune d'elles par deux espèces: *Psoralea americana* et *Phlomis herba-venti* et *Ziziphus lotus* et *Vitex agnus-cactus*, respectivement. Ces espèces sont rencontrées souvent aux bordures ou accidentellement dans des parcelles insuffisamment travaillées. Quant aux espèces parasites, il s'agit du genre *Cuscuta* sp.

La flore potentiellement nuisible est dominée en nombre par les dicotylédones et les annuelles, tandis que les graminées telles que *Lolium rigidum* L., *Phalaris brachystachys* Link., *Avena sterilis* L. sont les plus fréquentes. Ceci est aussi confirmé par les études malherbologiques concernant la flore adventice de la betterave à sucre dans les différents périmètres betteraviers (Tanji & al. 1984; Bouhache & Rzozi, 1999; Bouhache & al., 1993; Bouhache & Ezzahiri, 1993; Taleb & Rzozi, 1993). Ces données témoignent d'une ressemblance relative qui existe entre les différentes flores problématiques de la betterave sucrière au Maroc. Néanmoins, les différences observées dans la composition de la flore problématique de cette culture peuvent être expliquées par l'influence de type de sol, la date de semis, les herbicides appliqués etc... Dans l'impossibilité de dresser toutes les 300 espèces adventices accompagnant la betterave à sucre durant son cycle végétatif, il a été jugé utile de présenter les principales, les plus abondantes et les plus fréquentes et ce sur la base de l'ensemble des études floristiques qui ont été menées dans les différents périmètres betteraviers (Tableau 6).

La betterave à sucre peut être infestée par l'abondance d'une seule espèce (Photos 1 et 2) ou par un ensemble d'espèces qui contribuent par effet de cumul (Photo 3).



Photo 1: Betterave à sucre infestée principalement par la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*).



Photo 2: Betterave à sucre infestée principalement par la mauve (*Malva parviflora*).



Photo 3: Betterave à sucre infestée par différentes espèces dicotylédones.

Tableau 6: Principales adventices de la betterave à sucre.

Espèce	Famille botanique	Classe botanique
Vivaces		
<i>Convolvulus althaeoides</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone

Tableau 6 (Suite)

<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	<i>Oxalidaceae</i>	Dicotylédone
<i>Silene gallica</i> L.	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone
<i>Rumex pulcher</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
Annuelles		
<i>Amaranthus albus</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Ammi majus</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Anacyclus radiatus</i> Loisel.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Anagallis foemina</i> Miller	<i>Primulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Astragalus boeticus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Avena sterilis</i> L.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Beta macrocarpa</i> Guss.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Calendula arvensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus	<i>Brassicaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chenopodium album</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Chrysanthemum segetum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Cichorium endivia</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Cuscuta</i> spp. (Plante parasite)	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Euphorbia exigua</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Love	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Fumaria agraria</i> Lag.	<i>Papaveraceae</i>	Dicotylédone
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	<i>Papaveraceae</i>	Dicotylédone
<i>Galium aparine</i> L.	<i>Rubiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Galium verrucosum</i> Hudson	<i>Rubiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Lavatera trimestris</i> L.	<i>Malvaceae</i>	Dicotylédone
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Malva parviflora</i> L.	<i>Malvaceae</i>	Dicotylédone
<i>Medicago polymorpha</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Melilotus sulcatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Misopates oriontium</i> (L.) Rafin	<i>Scrophulariaceae</i>	Dicotylédone
<i>Papaver hybridum</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	Dicotylédone
<i>Papaver rhoeas</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	Dicotylédone
<i>Phalaris brachystachys</i> Link.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Phalaris minor</i> Rets	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Phalaris paradoxa</i> L.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Picris echioides</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Portulaca oleracea</i> L.	<i>Portulacaceae</i>	Dicotylédone
<i>Ridolfia segetum</i> Moris	<i>Apiaceae</i>	Dicotylédone

Tableau 6 (suite)

<i>Scorpiurus muricatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Scorpiurus vermiculatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Setaria verticillata</i> (L.) Beauv.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertner	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Sinapis arvensis</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	Dicotylédone
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertner	<i>Apiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Vaccaria hispanica</i> (Miller) Rauschert	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone
<i>Veronica polita</i> Fries	<i>Scrophulariaceae</i>	Dicotylédone
<i>Vicia benghalensis</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Vicia sativa</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone

Ces dernières années, les adventices accompagnants la betterave à sucre tout au début de son cycle végétatif sont en train de connaître une modification en terme d'espèces, de leur fréquence et de leur abondance et leur apparition par rapport au cycle de la culture et ce à cause des changements climatiques. En effet, l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) a rapporté que les mois de septembre, d'octobre et voire de novembre de ces trois dernières années ont été les plus chauds comparativement à ceux des années passées. Ces conditions sont en cours d'aboutir à l'envahissement de la culture par les espèces printanières et estivales annuelles telles que *Amaranthus spp.*, *chenopodium spp.*, *Portulaca oleracea*, *Solanum nigrum*, *Abutilon theophrasti*, *Xanthium strumarium* pour les dicotylédones et les sétaires, *Setaria verticillata* en particulier, pour les poaceae. Pour les vivaces, la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) et le souchet (*Cyperus rodontus* L.) sont les plus concernés et sont à surveiller (Planche 1). Par ailleurs, la précocité relative des semis de la betterave à sucre adoptée dernièrement (du moins au Tadla) a accentué ce phénomène (obs. pers.). La cuscute (*Cuscuta spp.*), plante parasite foliaire est une autre espèce à prendre avec sérieux dans la mesure où elle pourrait détruire la culture à son début de cycle (stade sensible) avec ces changements (Planche 1).

3. Impact de la flore adventice sur la betterave à sucre

Comme toutes les cultures, la betterave à sucre est concurrencée par un grand nombre d'espèces d'adventices et ce vis-à-vis des facteurs du milieu à savoir l'eau, les éléments nutritifs, la lumière ainsi que l'espace. Cette concurrence est rendue plus sévère étant donné qu'il s'agit d'une culture basse très sensible à la compétition des adventices surtout au début de son cycle végétatif. Outre cette concurrence ou nuisibilité directe, ces adventices ont également des effets indirects en hébergeant des organismes nuisibles (Maladies, ravageurs etc...) constituant ainsi des sources d'infestation pour la culture. Elle pourrait également gêner la récolte dans certains cas.

3.1. Nuisibilité directe

L'impact des adventices sur la betterave à sucre et les pertes de rendement correspondantes ont fait l'objet de nombreuses études et travaux de recherche dans les périmètres betteraviers aussi bien à l'étranger qu'au Maroc. Le tableau 7 montre quelques données sur les pertes de rendement infligées à la betterave à sucre au niveau de certains pays. Ces pertes sont généralement déterminées en comparant des parcelles désherbées pendant tout le cycle de la culture à des parcelles enherbées.



Cyperus rotundus



Solanum elaeagnifolium



Portulaca oleracea



Amaranthus albus



Setaria sp.



Cuscuta sp. en décembre

Planche 1: Adventices printanières ou estivales envahissant la betterave à sucre au Tadla.

Tableau 7: Pertes de rendement de la betterave à sucre dues aux adventices.

Pays	Pertes de rendement (%)	Références
Maroc:		
Gharb	89,3	Bensellam & <i>al.</i> (1993)
	99,0	Abidi (1991)
	99,9	Moustadraf (1990)
	91,7	Alaoui & <i>al.</i> (2003)
Doukkala	95	Link & Behada (1984)
Moulouya	88,7	Rzozi & <i>al.</i> (non daté)
Tadla	85	Rzozi & <i>al.</i> (1994)
	97,6	Baye & <i>al.</i> (2012)
	86,7	Baye (2019)
Iran	92,9	Salehi & <i>al.</i> (2006)
Roumanie	50 à 100%	Deveikyte & Seibutis (2006)
Egypte	79,8	Mobarak (2013)

Ainsi, au Maroc les pertes de rendement en racines (T/ha) pour la betterave à sucre dues aux adventices peuvent aller de 85 à 99,9% (Tableau 7). Ces chiffres confirment que cette culture est très sensible à la concurrence des mauvaises herbes notamment au stade début de croissance (Photo 4). Meyer & Widmer (1986) ont signalé que les parcelles qui ne sont pas désherbées le long de l'année enregistrent des rendements nettement inférieurs à ceux des parcelles où les adventices sont bien contrôlés. Er & Inan (1987) ont indiqué qu'un mauvais contrôle des adventices au stade précoce de la betterave à sucre cause des pertes de l'ordre de 60 à 80% et ont trouvé une corrélation significative entre la matière sèche des adventices juste avant l'arrachage et le rendement racine. Cette compétition est exercée essentiellement vis-à-vis des sels minéraux, de l'eau et de la lumière et dépend de la nature des espèces associées à la betterave comme démontré par plusieurs études (Kropff & *al.* (1987; Mesbah & *al.*, 1991; Mesbah & *al.*, 1994; Mesbah, 1993; El-Zeny, 1996; Norris, 1997; Baye, 2019; Deveikyte & Seibutis, 2006). Certaines espèces problématiques peuvent infliger de lourdes pertes à la culture. C'est le cas de la cuscute (*Cuscuta* spp.) par exemple. En effet, cette plante parasite foliaire pourrait être à l'origine de diminution de rendement de l'ordre de 37% (Baye, 2012). De même, des pertes de 50% ont été rapportées par Lukovin & Kitenko (1974).



Photo 4: Effet de la durée de compétition précoce (désherbée jusqu'à 50 JAL à droite) et tardive (non désherbée jusqu'à 50 JAL à gauche) avec JAL: Jours Après Levée.

3.2. Nuisibilités indirecte et potentielle

Parmi les effets indirects des adventices de la betterave à sucre, on peut citer notamment la gêne de la récolte. En effet, dans le cas où la stratégie de désherbage n'atteint pas ses objectifs c'est-à-dire une efficacité acceptable, certaines espèces adventices non contrôlées peuvent constituer une contrainte pour l'arrachage de la culture. Dans ce sens, la betterave à gros fruit (*Beta macrocarpa* Guss.) qui est une espèce de la même famille que la culture, non contrôlée par les herbicides, peut entraver sérieusement l'opération de récolte surtout qu'il s'agit d'une espèce très robuste et nettement plus haute que la betterave (Tanji, 2019b). Le problème est d'autant plus épineux si l'infestation est forte. Il en est de même pour la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.), espèce vivace et très épineuse. Par ailleurs, les adventices peuvent héberger des maladies et des ravageurs pouvant constituer des foyers d'infestation pour la betterave à sucre. C'est le cas des chénopodes (*Chenopodium spp.*) et de *Beta macrocarpa*, appartenant à la même famille de la culture, qui constituent des foyers pour la cercosporiose et la casside (Ezzahiri, comm. pers.). Par ailleurs, certaines espèces adventices appartenant aux familles des *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae* (parmi lesquelles *Beta macrocarpa*) et des *Tetragoniaceae* sont déclarées comme plantes hôtes du virus de la rhizomanie (Ezzahiri, comm. pers.).

4. Période critique de désherbage de la betterave à sucre

Pour toute stratégie de désherbage, il est très important de déterminer la période optimale d'intervention dans le but de cibler et de réduire au minimum les coûts de cette opération. Cette période est appelée période critique de sensibilité de la culture aux adventices ou période critique de désherbage (PCD) ou période critique de compétition (PCC). La période critique de désherbage de la betterave à sucre a fait l'objet de nombreux travaux de recherche presque dans le monde entier là où la culture est pratiquée. Le tableau 8 résume et récapitule quelques-uns de ces travaux aussi bien au Maroc que dans d'autres pays. D'après ce tableau, il ressort que cette période est plus ou moins longue et dépend des auteurs et des pays où les études ont été faites. Pour une culture donnée, la PCD n'est pas une période fixe, mais elle varie avec le site, la saison, le sol et la nature et la densité des adventices ainsi que la date de semis (Zimdahl, 2004; Suso & al., 1999). Elle pourrait également varier selon que la culture est conduite en irrigué ou sous régime pluvial (Gutierrez & Mulero, 1993). Pour la betterave à sucre, le niveau d'infestation par les mauvaises herbes durant la saison de croissance est un facteur extrêmement important pour le rendement final. La période critique est définie comme étant la durée sans présence de mauvaises herbes, exigée par la culture, pour éviter des pertes de rendements mesurables qui seraient dues à la compétition vis-à-vis des nutriments, de la lumière et de l'eau particulièrement. Dans le but d'obtenir de hauts rendements avec le minimum de coût, il est impératif que la culture soit débarrassée durant cette période de ces adventices avec tous les moyens disponibles (chimiques, manuels et/ mécanique) (Pardo, 1990). Les mauvaises herbes levant au-delà de cette période n'influencent pas le rendement dans la mesure où elles sont contrôlées naturellement par la culture (Scott & al., 1979; Mobarak & al., 2012), mais pourraient être à l'origine de la nuisibilité primaire indirecte ou de la nuisibilité secondaire.

Toutes ces études montrent que les pertes de rendement augmentent au fur et à mesure que la durée de compétition est longue. L'accumulation de matière sèche par les adventices au cours de la saison a un impact négatif sur le rendement racine. Tous les paramètres de croissance à savoir le nombre de feuilles, la surface foliaire, la hauteur, le diamètre des pivots et leur longueur sont aussi négativement et significativement influencés par la concurrence des adventices. Pour le Maroc (Tadla), étudiant la période critique de désherbage de la betterave, Baye & al. (2012) ont estimé que cette période est située entre la 4^{ème} et la 12^{ème} semaine et la 7^{ème} et la 14^{ème} semaine après levée pour un semi précoce et un semis tardif, respectivement. Rzozi & al. (1994b) ont rapporté que pour une concurrence précoce, la betterave à sucre ne supporte pas la présence des mauvaises herbes à partir de 20 jour après levée, période à partir de laquelle des chutes de rendement significatives sont enregistrées. Pour le Gharb, cette période est de 2 à 2,5 semaines après levée pour un niveau de perte toléré de 5%. Tout retard de désherbage pendant cette période sensible, il faut s'attendre à des pertes de rendement significatives sur le plan quantité et qualité. La présence de mauvaises herbes durant tout le cycle de la betterave à

sucre peut engendrer des pertes de rendement en sucre (saccharose) de 99 à 100% (Alaoui & *al.*, 2003) (Photo 5).

Tableau 8: Périodes critiques de désherbage de la betterave à sucre dans quelques pays et au Maroc.

Pays	Périodes		Pertes de rendement tolérées (%)	Références
	Début: JAS, JAL, SAS ou SAL	Fin: JAS, JAL, SAS ou SAL		
Turquie	12 JAL	46 JAL	5	Isik & Akca (2018)
	8 JAL	54 JAL	5	
Iran	25 JAS	78 JAS	5	Salehi & <i>al.</i> (2006)
	4 JAS	88 JAS	5	Jahadakbar & <i>al.</i> (2004)
	4 SAS	21 SAS	-	
Egypte	1 à 2 SAL	13 à 14 SAL	5	Mobarak (2013)
Canada	2 à 4 SAL	?	?	Anonyme (2009)
Espagne	14 JAL	110 JAL	1	Martinez & <i>al.</i> (2015)
	41 JAL	70 JAL	5	
Maroc:Gharb Tadla Tadla Doukkala	12 SAL	16 SAL	?	Berrada (1990)
	20 JAS	?	5	Rzozzi & <i>al.</i> (1994)
	4 à 7 SAL	12 à 15 SAL	5	Baye & <i>al.</i> (2012)
	6 SAL	12 SAL	?	Link et Koch (1984)

JAS: Jours après semis; JAL: Jours après levée; SAS: Semaines après semis

SAL: Semaines après levée



DTC

T1

Photo 5: Effet des mauvaises herbes sur le rendement et la taille des racines de la betterave à sucre. A droite: racines issues d'une parcelle non désherbée tout le cycle. A gauche: racine issue d'une parcelle désherbée tout le cycle.

5. Gestion des adventices

Pour la betterave à sucre qui est concurrencée par les adventices pendant tout son cycle, qui est plus ou moins long, toute stratégie efficace en matière de gestion de cette flore indésirable doit impérativement veiller à maintenir la culture propre pendant sa période critique de désherbage. Cette stratégie ne peut connaître de succès que si elle intègre plusieurs méthodes à savoir la lutte chimique, mécanique et manuelle et ce sur le court, le moyen et le long terme dans le cadre de la rotation agricole.

5.1. Désherbage chimique

Au Maroc, plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à la mise au point de programmes de désherbage chimique depuis l'introduction de la culture au pays (Kaeding & Koch, 1963; Koch & Schmid, 1969; Link & Behada, 1984; El Ghrasli, 1998; El Ghrasli & Allali, 2002; El Antri, 2002). Malgré ces nombreux travaux et les résultats plus ou moins encourageants, le désherbage chimique de la betterave à sucre a été peu adopté (à l'exception des antigraminées qui sont peu chers et efficaces) jusqu'à la fin des années 2000. Cela revient à la cherté des herbicides anti-dicotylédones d'une part et à la difficulté de prendre des décisions en ce qui concerne le choix des herbicides en fonction de la flore présente et à la faible maîtrise de l'opération de traitement d'autre part. En effet, faisant une enquête auprès des agriculteurs au Tadla, Baye (2004) rapportait que rares sont les betteraviers qui utilisent les herbicides correctement et que la majorité utilise un seul herbicide. Les travaux de recherche sur le désherbage chimique de la betterave à sucre se sont intensifiés avec l'introduction du produit Betanal Progres à base de phenmédiphame + Desmédiphame + Ethofumésate. Ainsi, les mélanges de ce produit avec les autres herbicides déjà existants ont fait l'objet de nombreux essais en particulier au Tadla et aux Doukkala (Baye, 2006; Baye & *al.*, 2012; Tanji, 2011; Tanji, 2018a; Tanji, 2019a). Tous ces travaux ont abouti à la mise au point de programmes de désherbage chimique efficaces et adaptés à la flore adventice associée à la culture. Les principaux herbicides homologués sur la culture de la betterave à sucre (ONSSA, 2021) sont donnés dans le tableau 9.

Tableau 9: Herbicides homologués sur betterave à sucre (ONSSA, 2021).

Produit commercial	Matière active	Dose	Groupe HRAC	Stade d'application
Antidicotylédones principalement				
Goltix 90* Mito* Golzit Ultra* Celmitron 70WDG* *Anti-mono aussi	90% de métamitron 70% de métamitron 70% de métamitron 70% de métamitron	3,1 kg/ha 4 Kg/ha 4 Kg/ha 4 Kg/ha	C1	-Prélevée -Postlevée précoce
Safari	50% triflusal-sulfuron-méthyl	60 g/ha	B	-Postlevée précoce
Venzar	80% lénacile	800g/ha	C1	-Prélevée -Postlevée précoce

Tableau 9 (suite)

Betanal Expert**	91g/l phenmédiphame + 71g/l desmédiphame+ 112g/l éthofumésate	4L/ha	C1 + C1 + N	Postlevée précoce
Betasana Trio**	76,5 phenmédiphame + 15,5g/l desmédiphame+ 115g/l éthofumésate	5L/ha	C1 + C1 + N	Postlevée précoce
Bison 400**	150g/l phenmédiphame + 50g/l desmédiphame+ 200g/l éthofumésate	2,5L/ha	C1 + C1 + N	Postlevée précoce
Oblix 500	500 g/L d'éthofumésate	2 L/ha	N	-Prélevée -Postlevée précoce
Twister	150g/l métamitrone + 350g/l éthofumésate	6L/ha	C1 + N	Postlevée précoce
Lontrel 100 SL	100g/l clopyralide	2L/ha	O	Postlevée précoce
Anti-graminées spécifique de post-levée				
Akodim	120g/Lcléthodime	1L/ha	A	Deux feuilles à début tallage
Select Super	120g/L cléthodime	1L/ha	A	
Focus Ultra, Devin	100g/L cycloxydime	1 L/ha	A	
Aramo 50	50g/L tépraloxydime	1L/ha	A	
Sector T	120g/L quizalofop	0,4L/ha	A	
Fusilad Forte	150g/L fluazifop	0,75L/ha	A	
Gallant Super	104g/L haloxyfop	0,5L/ha	A	
Agil	100g/L propaquizafop	0,5L/ha	A	
Kartouche 60	60% carbétamide	3,5Kg/ha	K2	
Herbicides anti-graminées et anti-dicot de prélevée				
Dual Gold 960	960g/L de s-métolachlore	1,5L/ha	K3	Prélevée
Strim	960g/L de s-métolachlore	1,5L/ha	K3	Prélevée

** produits retirés du marché au Maroc à partir de 2022 (Retrait du desmédiphame)

La majorité des études (citées ci-dessus) relatives au désherbage de la betterave à sucre rapporte que la gestion des graminées adventices est plus ou moins aisée dans la mesure où la quasi-totalité des anti-graminées spécifiques contrôlent de manière très satisfaisante ces adventices. En plus, ces produits coûtent relativement peu cher. Cependant, il est à signaler que les cas où les parcelles infestées par le ray-gras résistant sont à exclure de cette situation. En effet, cette adventice est devenue résistante aux anti-graminées (ayant pour site d'action ACCase et/ou ALS en particulier) dans plusieurs zones des périmètres betteraviers du Maroc en particulier Doukkala et Tadla (Tanji, 2012; Baye, 2014; Tanji & Boutfiras, 2018; Bouhache, 2020). La cléthodime est encore efficace pour plusieurs populations de la mauvaise herbe et il en est de même pour le S-métolachlore (mode d'action différent) et utilisé en prélevée (Tableau 9).

5.1.1. Désherbage de prélevée

Généralement, le désherbage de prélevée a l'avantage de permettre à la culture de lever et poursuivre sa croissance pendant une durée plus ou moins longue en absence de toute concurrence adventice et d'atteindre le stade de couverture totale du sol avec le minimum de coût. Cependant, l'obtention de résultats satisfaisants en matière d'efficacité nécessite une bonne technicité de la part de l'agriculteur. En effet, la réussite de ce type de traitement est subordonnée à la préparation d'un lit de semence très fin (sans débris de végétaux, sans mottes, etc...) et un sol suffisamment humide. En plus, il faut respecter la durée entre la germination de la betterave à sucre et l'application du produit pour garantir une sélectivité de position et éviter les problèmes de phytotoxicité. Par conséquent, le produit doit être appliqué au plus tard deux à trois jours après semis et irrigation.

Dans le cas où la parcelle n'est pas infestée par le ray-grass résistant, l'utilisation du mélange lénacile + éthofumésate donnent de bons résultats (Photo 6) en éliminant un grand nombre d'adventices monocotylédones et dicotylédones (Baye, 2021; Baye & *al.*, 2006) à l'exception des situations où l'Emex (*Emex spinosa*) est abondante. En effet, cette espèce est tolérante à ces herbicides (Baye & *al.*, 2006). Dans des situations avec de fortes infestations par le ray-grass résistant, il est impératif d'utiliser le s-métolachlore dans la mesure où cette mauvaise herbe est contrôlée par cet herbicide. Ce dernier élimine également certaines dicotylédones (Baye, 2014; Tanji, 2018a).



Photo 6: Bonne efficacité du traitement de prélevée lénacile + éthofumésate

5.1.2. Désherbage de post levée

Le désherbage de post levée de la betterave à sucre a fait l'objet de nombreux essais au niveau des principaux périmètres betteraviers du Maroc (El Ghrasli, 1998; El Antri, 2002; El Ghrasli et Allali, 2002; Baye & *al.*, 2006; Tanji, 2011; Baye & *al.*, 2012; Tanji, 2018; Baye, 2019; Tanji, 2019a; Baye, 2020; Baye, 2021). La synthèse de tous ces résultats montrent que les mélanges des matières actives sélectives de la culture en l'occurrence la métamitrone, le triflurosulfuron méthyl, le phenmédiphame, le desmédiphame, le lénacile ainsi que l'éthofumésate à des doses réduites (par rapport à la dose homologuée) donnent d'une manière générale des efficacités satisfaisantes en matière de contrôle de l'ensemble de la flore adventice présente. La composition de ces mélanges dépend des espèces de mauvaises herbes rencontrées (Tableau 10). Ainsi, en présence des *Malvaceae* (*Malva parviflora*

principalement), des *Apiaceae* (*Ridolfia segetum*, *Ammi majus* et *Torilis nodosa*), des *Brassicaceae* (*Sinapis arvensis* principalement) et d'autres espèces, le mélange Triflusaluron méthyl + métamitrone + (phenmédiphame + desmédiphame + éthofumésate) + lénacile est à préconiser (Photo 7). En absence des espèces précédentes, le mélange métamitrone + (phenmédiphame + desmédiphame + éthofumésate) + lénacile est suffisant. Généralement, les traitements sont fractionnés en deux applications espacées d'une semaine à dix jours. La première doit être faite à un stade très précoce des adventices (Cotylédon – une à deux feuilles au plus tard). L'adjonction d'un adjuvant (huile) au mélange optimise l'efficacité. Il est également à souligner que l'utilisation d'une bouillie (200 à 300L/ha) convenable (pH de l'eau principalement) est requise pour l'obtention de bons résultats. Le spectre d'activité vis-à-vis de quelques espèces adventices pour certains herbicides et leurs mélanges est rapporté dans le tableau 11.

Tableau 10: Programmes de désherbage chimique de post-levée de la betterave à sucre selon la nature des adventices.

Nature des adventices	Herbicides utilisés	
Graminées	Graminées avec ray- gras résistant aux herbicides	Cléthodime (120 g/ha) ou Carbétamide (2100 g/ha)
	Graminées avec ray- gras sensible aux herbicides	Cléthodime ou cycloxydime (100 g/ha) ou tépraloxydime (50 g/ha) ou fluasifop- P – butyl (112,5 g/ha) ou haloxyfop (52 g/ha) ou propaquizafop (50 g/ha) ou quizalofop (48 g/ha) ou tépraloxydime
Dicotylédones	Présence de mauves, des <i>Apiaceae</i> (<i>Ridolfia segetum</i> et <i>Ammi majus</i>), des <i>Brassicaceae</i> (<i>Sinapis arvensis</i> notamment) et des autres mauvaises herbes	Triflusaluron – méthyl (60 g/ha) + (Phenmédiphame (145,6 g/ha) + désmédiphame (113,6 g/ha) + éthofumésate (179,2 g/ha)) ou (phenmédiphame (19,5 g/ha + métamitrone (84 g/ha) + éthofumésate (19,5 g/ha)) ou métamitrone (1400 g/ha) ou (éthofumésate (450 g/ha) + métamitrone (1050 g/ha))
	Absence de mauves et des <i>Apiaceae</i> (<i>Ridolfia segetum</i> et <i>Ammi majus</i>) et présence d'autres mauvaises herbes	(Phenmédiphame à 182 g/ha + désmédiphame à 142 g/ha + éthofumésate à 224 g/ha) + métamitrone à 1400 g/ha ou + (éthofumésate à 450 g/ha + métamitrone à 1050 g/ha)
	Le lénacile pourrait être ajouté à ces mélanges pour renforcer l'efficacité Le clopyralid est préconisé notamment en cas de forte infestation par les chardons	



Photo 7: Bonne efficacité du mélange Triflurosulfuron méthyl + métamitron + (phenmédiphame + desmédiphame + éthofumésate) + lénacile + huile.

La réduction des doses d'herbicides a l'avantage de réduire le coût du désherbage et de rendre la culture rentable pour l'agriculteur. Cette réduction permet aussi de diminuer les risques de résidus dans le sol et par conséquent la protection de l'environnement en réduisant la pollution. Cependant, elle a l'inconvénient d'être à l'origine d'apparition éventuelle de la résistance des mauvaises herbes aux herbicides et cette résistance est souvent contrôlée par plusieurs gènes (Bouhache, 2019).

Tableau 11: Sensibilité de certaines adventices de la betterave à sucre à quelques herbicides de post-levée et leur mélange.

Adventices	Herbicides et mélanges d'herbicides				
	Triflurosulfuron-méthyl (TSM) (60 g/ha)	Métamitron (M) (2800 g/ha)	Phenmédiphame + Desmédiphame + Éthofumésate (PDE) (364 g/ha + 284 g/ha 448 g/ha)	TSM + PDE (60 g/ha) + (182 g/ha + 142 g/ha + 224 g/ha)	PDE + M (182 g/ha + 142 g/ha 224 g/ha) + (1400 g/ha)
<i>Malva parviflora</i>	S	T	T	S	MS
<i>Ridolfia segetum</i>	TS	T	MS	TS	MS
<i>Sinapis arvensis</i>	TS	MS	MS	TS	MS
<i>Cichorium endivia</i>	T	S	TS	TS	TS
<i>Chrysanthemum</i> spp.	-	-	-	-	-
<i>Sonchus oleraceus</i>	S	S	TS	TS	TS
<i>Papaver rhoeas</i>	MS	MS	S	S	S
<i>Fumaria parviflora</i>	MS	MS	S	S	S
<i>Emex spinosa</i>	T	MS	S	S	S
<i>Melilotus sulcatus</i>	T	T	S	S	S
<i>Medicago polymorpha</i>	MS	MS	S	S	S
<i>Vaccaria hispanica</i>	MS	MS	S	S	S
<i>Galium</i> spp.	S	S	S	TS	TS

TS: Très sensible (95-100%); S: Sensible (80-95%); S: Moyennement sensible (60-80%); T: tolérante (0-60%).

En matière d'application des herbicides, l'utilisation d'une pulvérisation tractée est la meilleure méthode pour réussir le désherbage. Le recours au pulvérisateur à dos avec une rampe à 4 buses à jet plat est une solution pour les petites parcelles (Photo 8).



Photo 8: Pulvérisateur à dos avec une rampe à 4 buses (à gauche) Pulvérisation tractée (à droite)

5.1.3. Désherbage de pré et post levée

Cette stratégie de désherbage est adoptée particulièrement au niveau des grandes exploitations équipées en matériel d'irrigation par aspersion ou pivots (Tadla notamment) et où le ray-grass résistant pose d'énormes problèmes. Dans ce cas, un traitement de prélevée avec le s-métolachlore est nécessaire pour gérer ce problème auquel d'autres herbicides peuvent être ajoutés pour renforcer l'efficacité contre d'autres espèces graminées et dicotylédones. Il s'agit du lénacile, de l'éthofumésate et éventuellement de la métamitrone. Les efficacités obtenues sont plus ou moins bonnes car les conditions favorables à ces traitements sont dans la plupart des cas réunies (Lit de semence bien préparé et sol humide). En post levée, des traitements de rattrapage (Triflursulfuron méthyl et phenmédiphame + desmédiphame + éthofumésate) sont réalisés pour éliminer les espèces non contrôlées par le traitement de prélevée (Photo 9).



Photo 9: Combinaison du traitement de prélevée et de post levée.

5.2. Sarclage

Pour la majorité des grandes cultures, en particulier celles à cycle long telle que la betterave à sucre, parfois le désherbage chimique à lui seul ne peut être suffisant pour gérer correctement l'ensemble du cortège floristique accompagnant la culture. Ainsi, généralement le désherbage chimique est accompagné par un sarclage qui vise les adventices qui ont échappé aux herbicides principalement celles se trouvant entre lignes. Cette opération est réalisée soit par traction animale (petites superficies

surtout) soit par traction mécanique (grandes superficies) soit manuellement avec des binettes (Photo 10). Ce dernier vise l'élimination des adventices entre les plantes. Outre l'élimination des mauvaises herbes, cette opération a d'autres objectifs tels que l'aération du sol, l'enfouissement de l'engrais de couverture (Azote) et l'infiltration de l'eau.



Photo 10: Sarclage mécanique (à gauche) et sarclage à traction animale (à droite).

5.3. Gestion de certaines adventices problématiques dans la betterave à sucre

Il s'agit essentiellement de certaines espèces vivaces se multipliant essentiellement par rhizomes comme les liserons (*Convolvulus arvensis* et *C. althaeoides*) et la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) ou par tubercules comme le souchet (*Cyperus rodontus*). Ces adventices sont difficilement contrôlées avec les herbicides utilisés sur betterave à sucre et en plus les sarclages ne font que favoriser la fragmentation, la multiplication et la dissémination de leurs systèmes racinaires. Leur gestion est possible, dans le cadre de la rotation (les liserons sont sensibles aux phytohormones telles que le 2,4D, le 2,4 MCPA, Dicamba...utilisées sur céréales (Baye, 2016), par des labours profonds en été, par l'introduction d'une culture étouffante comme la luzerne et/ou par l'utilisation d'un herbicide systémique « phloème mobile » total en inter - culture. La cuscute (*Cuscuta* spp.), plante parasite, devenue de plus en plus inquiétante peut causer de grands dégâts pour la betterave à sucre. Les mesures prophylactiques et préventives sont les meilleures méthodes pour limiter son infestation et les dégâts qui s'en suivent. Le glyphosate à faible dose (10 à 12 g/ha), appliqué deux fois, peut donner une bonne efficacité (Baye, 2012). La bête à gros fruits (*Beta macrocarpa*), espèce appartenant à la même famille que la betterave, très tolérante aux herbicides et également très gênante pour la culture par sa nuisibilité directe (Compétition pour les facteurs de production) et indirecte (gêne de la récolte). Les techniques culturales telles que le faux semis et l'arrachage manuel avant sa floraison sont parmi les solutions pouvant réduire sa nuisibilité (Tanji, 2019b et 2019c). La recherche d'un peuplement optimal permettant d'obtenir à la fois des rendements satisfaisants et de limiter au maximum l'effet dépressif des adventices est une autre méthode pouvant faire partie de la stratégie de désherbage (Bensellam & al., 1993).

6. Conclusion

La betterave à sucre est cultivée partout dans le monde où le climat est tempéré (Europe et Etats-Unis) mais aussi dans certains pays plus chaud au niveau de l'Afrique du nord et de l'Asie. Elle fournit du

sucré qui est une denrée largement consommée dans le monde. Les principaux producteurs de betterave à sucre sont la Russie, la France, les Etats-Unis et l'Allemagne. Parmi les contraintes à la production de cette culture, les adventices viennent en tête du fait qu'elles concurrencent sévèrement la culture vis-à-vis des facteurs de production. De ce fait, la betterave à sucre est très sensible en particulier en début de croissance. La flore adventice est très diversifiée et peut être à l'origine de perte de rendement allant jusqu'à 100% en absence de désherbage. Ces pertes sont proportionnelles aux durées des périodes de compétition. La période critique de désherbage (PCD) est la période durant laquelle la culture doit être maintenue propre de façon à ce que les pertes ne soient pas significatives. La prise en considération de cette période est capitale pour la prise de décision de désherbage qui consiste en une stratégie employant tous les moyens possibles et leur combinaison dans le cadre d'une lutte intégrée (Integrated Weed Management, IWM) à savoir la lutte chimique (herbicides), sarclage mécanique et/ou manuel et autres techniques culturales utilisées dans la rotation agricole (labour, faux semis, date de semis, etc.).

Références

- Abidi D. (1991) Croissance et productivité de la betterave à sucre dans le Gharb en relation avec l'enherbement à différentes périodes du cycle. Mémoire de 3^{ème} Cycle Agronomie, I.A.V. Hassan II, Rabat, 158 p.
- Anonyme (2018) FAO. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/96-325-x/2007000/t/6000063-fra.htm>
- Anonyme (2021a) COSUMAR. Communication personnelle.
- Anonyme (2021b) Bilan des réalisations 2019-2021 de la filière betterave sucrière. ORMVA Tadla.
- Anonyme (2009) LI Cultures. <http://www.omafr.gov.on.ca/french/index.html>. Canada
- Alaoui S. B., Wyse D.L. & Dexter A.G. (2003) Minimum Weed-free Period for Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) in the Gharb Region of Morocco. Journal of Sugar Beet Res., 40 (4): 229-249.
- El Antri M. (2002) Intérêt de l'utilisation du clopyralid dans des programmes de désherbage de la betterave à sucre au Maroc. Compte rendu de la section méditerranéenne de l'IIRB. 23 -25 Octobre, pp. 234-239.
- Baye Y., Antri M., Bouhache M. & Taleb A. (2004) Situation actuelle du désherbage de la betterave à sucre au Tadla. 5^{ème} Congrès de l'AMPP., Rabat, pp. 183-194.
- Baye Y., Antri M., Bouhache M. & Taleb A. (2006) Stratégie de lutte contre les mauvaises herbes de la betterave à sucre au Tadla. 6^{ème} Congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 249-258.
- Baye Y. (2006) Désherbage chimique de la betterave à sucre. Journée d'étude sur la culture de la betterave à sucre au Tadla. Dec. 2006. Beni Mellal, pp. 18-22.
- Baye Y., Taleb A. & Bouhache M. (2012) Sugar Beet Weeds in Tadla Region (Morocco): Species Encountered, Interference and Chemical Control. In: Herbicides – Properties, Synthesis and Control of Weeds, Hasaneen M.N.A. (Ed), pp. 382-404, In Tech Publisher, Croatia.
- Baye Y. (2012) La cuscute (*Cuscuta suaveolens*) sur betterave à sucre: quelques aspects biologiques et possibilités de contrôle. Proc. 8^{ème} Congrès de l'AMPP. Rabat, pp. 397-408.
- Baye Y. (2014) Le ray-grass (*Lolium rigidum*) résistant aux herbicides « fops » dans la région de Tadla (Maroc): état d'infestation et gestion intégrée. 9^{ème} congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 243-253.
- Baye Y. (2016) Le liseron (*Convolvulus arvensis*): étude de quelques aspects biologiques et possibilités de lutte dans une culture de blé au Tadla. 10^{ème} Congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 409-422.
- Baye Y. (2019) Désherbage de la betterave à sucre dans la région de Tadla. Bilan Recherche/Développement. Campagne betteravière 2018/2019. Convention pour Assistance Technique. SUTA/COSUMAR, CTRS.
- Baye Y. (2020) Désherbage de la betterave à sucre dans la région de Tadla. Bilan Recherche/Développement. Campagne betteravière 2019/2020. Convention pour Assistance Technique. SUTA/COSUMAR, CTRS.
- Baye Y. (2021) Désherbage de la betterave à sucre dans la région de Tadla. Bilan Recherche/Développement. Campagne betteravière 2020/2021. Convention pour Assistance Technique. SUTA/COSUMAR, CTRS.

- Bennig O. & Taleb A. (1995) Flore adventice de la betterave à sucre dans le périmètre irrigué de Tadla. Aspects floristique, agronomique et écologique. 2^{ème} de l'AMPP, Rabat, pp. 133 -145.
- Bensellam E.H., Bouhache M. & Rzozi S.B. (1993) Effet du peuplement et de la stratégie de désherbage sur le rendement et la qualité technologique de la betterave à sucre (*Beta vulgaris* L.) dans le Gharb. Sucrerie Maghrébine, 50-51: 13-24.
- Berrada D. (1990) Effet de l'enherbement à différentes périodes du cycle sur la croissance et le développement de la betterave à sucre dans le Gharb. Mémoire de 3^{ème} Cycle, option Agronomie, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Bouhache M. (2019) Avantages et risques de l'utilisation des doses réduites d'herbicides. Journée de sensibilisation sur le désherbage de la betterave à sucre au Tadla. 5 Décembre 2019.
- Bouhache M. & Ezzahiri B. (1993) Caractérisation de la flore adventice associée à la betterave à sucre dans les Doukkala. Sucrerie Maghrébine, 56/57: 32-38.
- Bouhache M., Boulet C. & Chougrani A. (1993) Aspects floristico-agronomiques des mauvaises herbes de la région de Loukkos. Weed Research, 24: 119-126.
- Boucaid A. & Kebir A. (2006) Principales maladies et ravageurs de la betterave à sucre. Journée d'étude sur la betterave à sucre, Comité Technique Régional du Sucre (CTRS) de Tadla, Béni Mellal, 13 Déc. 2006.
- Boulet C., Tanji A. & Taleb A. (1989) Index synonymique des taxons présents dans les milieux naturels ou artificialisés du Maroc Occidental et Central. Actes Inst. Agro. Vet. (Maroc), 9 (3 & 4): 65-99.
- EL Ghrasli D. (1998) Le désherbage de la betterave à sucre avec triflusaluron-méthyle dans le Gharb. 4^{ème} Congrès de l'AMM, Rabat, pp. 29-35.
- El-Zeny M. M. (1996) Allelopathic effect of weed on growth and yield of sugar beet. M.Sc. Thesis, Fac. Agric. Ain Shams Univ., Egypt.
- Er C. & Inan H. (1987) Effects of weed competition on the yield and quality of sugar beet. Seker, 20(121):17-29.
- Farahbakhsh A. & Murphy K.J. (1986) Comparative studies of weed competition in sugar beet. Aspects of Applied Biology, 36 (13): 11-16.
- Gutierrez S.M. & Mulero J.R. (1993) Establishment of the critical period for weed competition in autumn-sown sugar beet. Proceedings of the 1993 Congress of the Spanish Weed Sci. Soc., Lugo, Spain, pp. 299-302.
- Ibn Tatou M. & Fennane M. (1989) Aperçu historique et état actuel des connaissances sur la flore vasculaire du Maroc. Bull. In. Sci., Rabat, 13: 85-94.
- Isik D. & Akca A. (2018) Assessment of Weed Competition Critical Period in Sugar Beet. Journal of agricultural sciences, 24: 82-90.
- Jahadakbar M.R., Tabatabai R. & Ebrahimian H.R. (2004) Critical period of weed competition with sugar beet in Kabotabad-Esfahan. Journal of Sugar Beet, 20 (1): 73-92.
- Kaeding D. & Koch W. (1963) Les possibilités de désherbage chimique dans la culture de la betterave. Al Awamia, 8: 137-146.
- Koch W. & Schmidt G. (1969) Observations sur l'efficacité de quelques herbicides dans la culture de la betterave sucrière au Maroc. Al Awamia, 32: 125-149.
- Kropff M.J., Spitters C.J.T., Schneiders B.J., Joenije W., Groot W.D.E. & Werner R. (1987) Competition between a sugar beet crop and populations of *Chenopodium album* L. and *Stellaria media* L. Netherlands J. Agric. Sci., 35(4): 525-528.
- Link R. & Mouche M. (1984) Importance des mauvaises herbes dans la betterave sucrière. In: Contribution à la biologie, à la propagation et la lutte contre les adventices au Maroc, GTZ, pp. 133-136.
- Link R. & Behada A. (1984) Expérience sur le désherbage des betteraves sucrières dans les Doukkala 1976 – 1980. In: Contribution à la biologie, à la propagation et la lutte contre les adventices au Maroc, GTZ, pp. 137-142.
- Loudyi M.C. (1985) Etude botanique et écologique de la végétation spontanée du plateau de Meknès (Maroc). Thèse 3^{ème} Cycle. U.S.T.L., Montpellier, 147 p.

- Lukovin S. & Kitenko V. (1974) An important method for dodder control. *Sel'skoeKhozyaistvo Kirjizii*, 4: 20.
- Martínez J.M., Valero J.A.J., Padilla A.D. & Buendía M.R.P. (2015) Competition and critical periods in spring sugar beet cultivation. *Journal of Plant Protection Research*, 55 (4): 336-342.
- Mesbah A., Miller S.D. & Legg D.E. (1991) Wild mustard interference in sugar beet. *Proceeding of the Western Society of Weed Science*, Seattle, Washington, USA, (44): 86-90.
- Mesbah A., Miller S.D., Fornstrom K.J. & Legg D.E. (1994) Kochia (*Kochia scoparia*) and green foxtail (*Setaria viridis*) interference in sugar beets (*Beta vulgaris*). *Weed Tech.*, 8 (4): 754-759.
- Mesbah A. (1993) Interference of broadleaf and grassy weeds in sugar beet. Ph.D. Thesis., University of Wyoming, USA.
- Meyer H. & Widmer D. (1986) Competition and influence on weed control programs in sugar beet cropping systems. 49th Winter Congress, International Institute for Sugar Beet Research, pp. 263-275.
- Mobarak O.M. (2013) Determination of critical period of weed competition with sugar beet (*Beta vulgaris*L.) and weed control. PhD Thesis, Assiut University (Unpublished), Egypt.
- Mobarak O.M., Galal A.H., Mekky M.S. & Motagally F.M.F. (2012) Various methods for determining the critical period of weed competition to sugar beet. *Proceedings of the Fourth Conference of Field Crops Facing Future Challenges*, Giza, Egypt, 15 p.
- Mouche M. (1984) Enquête sur le désherbage des betteraves sucrières. In: *Contribution à la biologie, à la propagation et la lutte contre les adventices au Maroc*, GTZ, pp. 143-151.
- Moustadraf H. (1990) Effet du fractionnement azoté, du type de labour et de l'irrigation en combinaison avec la fréquence du désherbage sur la croissance et développement de la betterave à sucre (*Beta vulgaris*) dans le Gharb. *Mémoire de 3^{ème} cycle Agronomie*, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Norris, R.F. (1997) Impact of leaf mining on the growth of *Portulaca oleracea* L. (Common purslane) and its competitive interaction with *Beta vulgaris* L. (Sugar beet). *J. of Ecology*, 34(2): 349-362.
- PardoIglesias A. (1990) La competencia de las malashierbas con el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) en siembra directa: Predicción de pérdidas y escardaquímica. [Competition between weeds and direct seeded onion (*Allium cepa* L.): Predicting losses and chemical weeding]. Ph.D. thesis, Higher Technical School of Agricultural Engineering of Madrid, Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain, 157 p. (in Spanish)
- Rzozzi S.B., El-Hafid R. & El-Antri M. (1994) Effect of the duration of weed competition on the yield and technical quality of sugar beet in Tadla.Morocco. *Sucrerie Maghrebine*, (58): 19-26.
- Salehi F., Esfandiari H. & Mashhadi H.R. (2006) Critical period of weed control in sugar beet in Shahrekord Region. *Iranian Journal of Weed Science*, 2: 1-12.
- Scott R.K., Wilcockson S.J. & Moisey F.R. (1979) The effects of time of weed removal on growth and yield of sugar beet. *Journal of Agriculture Science*, 93 (3): 693-709.
- Suso & al. (1999) Conclusiones de los trabajos sobre la competencia de las malashierbas con los cultivos de regadío en España. [Conclusions of some Spanish works on weed and irrigated crop competition]. *Proceedings of the 7th Spanish Weed Science Congress*, Logroño, Spain, pp. 213-219. (in Spanish)
- Taleb A. & Rzozzi S.B. (1993) Etude botanique et agronomique des adventices de la betterave à Sucre dans la basse Moulouya. *Sucrerie Maghrébine*, 56/57: 25-31.
- Taleb A. & Mailliet J. (1994) Mauvaises herbes de la Chaouia (Maroc) Maroc I: Aspect floristique. *Weed Research*, 34: 345-352.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozzi S.B. (1998) Flore adventice des céréales au Maroc. *Actes Inst. Agro. Vét.* Vol. 18 (2): 121-130.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozzi S.B. (2000) Diversité et importance des mauvaises herbes de la betterave à sucre au Maroc. 11^{ème} Colloque International sur la biologie des mauvaises herbes. Dijon, France.
- Tanji A., Boulet C. & Hammoumi M. (1984) Inventaire phytoécologique des adventices de la betterave à sucre dans le Gharb (Maroc). *Weed Research*, 24: 391-399.

- Tanji A. (2011) Désherbage de la betterave à sucre dans le périmètre irrigué de Tadla. Convention d'Assistance Technique pour Comité Technique Régional du Sucre/ SUTA. Rapport d'activité 2009/2010.
- Tanji A. (2018a) Stratégie de désherbage de la betterave à sucre. Les Cultures Sucrières. Le Magazine des Cultures Sucrières Marocaine, 1: 28-33.
- Tanji A. & Boutfirass M. (2018) Effective Preemergence Herbicides for Rigid Ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) Control in Irrigated Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agriculture Science, 10 (4): 79-85.
- Tanji A. (2019a) Le désherbage: une étape cruciale dans l'itinéraire de la betterave à sucre. Les Cultures Sucrières. Le Magazine des Cultures Sucrières Marocaine, 4: 22-28.
- Tanji A. (2019b) La bette à gros fruits: une mauvaise herbe à ne pas confondre avec la betterave à sucre. Les Cultures Sucrières. Le Magazine des Cultures Sucrières Marocaine, 4: 16-17.
- Tanji A. (2019c) Bien gérer les mauvaises herbes de fin de cycle de la betterave à sucre. Les Cultures Sucrières. Le Magazine des Cultures Sucrières Marocaine, 3: 26-29.
- Zimdahl R.L. (2004) Weed-Crop Competition - A review. Blackwell Publishing, 2d Edition, IOWA, USA, 229 p.

Gestion des adventices de la canne à sucre

Abbès TANJI

1. Introduction

La canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) est l'une des principales sources de sucre et d'éthanol dans le monde. Environ 80% du sucre mondial est produit à partir de cette culture dans les climats tropicaux et subtropicaux. Les 20% restants proviennent de betteraves à sucre, qui sont cultivées principalement dans les zones tempérées de l'hémisphère nord. La canne à sucre est une graminée vivace atteignant 3 à 4 mètres de hauteur, et ses sous-produits sont également utilisés comme fourrage pour nourrir le bétail dans de nombreux pays (www.isosugar.org). C'est une plante tropicale par excellence. Elle aime la chaleur et l'humidité. Les 10 principaux pays producteurs sont: l'Inde, le Brésil, la Thaïlande, la Chine, le Mexique, le Pakistan, l'Australie, les États-Unis, le Guatemala et l'Indonésie (www.isosugar.org).

Au Maroc, la canne à sucre a été introduite pour la première fois dans le Gharb en 1973 dans le cadre de la politique d'autosuffisance alimentaire en produits agricoles de consommation de base et de développement de la filière sucre. Elle est plantée actuellement dans les périmètres irrigués du Gharb et du Loukkos. De 2001 à 2020, les superficies ont varié entre 7 000 et 18 000 ha, alors que les rendements ont fluctué entre 35 et 71 tonnes/ha. Les productions ont varié entre 200 mille et 1.1 million de tonnes (Tableau 1) (www.fao.org/faostat). Le sucre produit à partir de la canne et de la betterave à sucre est insuffisant pour couvrir les besoins du pays, sachant que chaque marocain consomme 36 kg de sucre/an. En 2017, le Maroc a importé 1,178 million de tonnes de sucre pour une valeur de 532 millions de dollars (Harbouze & al., 2019).

Tableau 1: Superficies, rendements et productions de la canne à sucre au Maroc de 2001 à 2020 (<https://www.fao.org/faostat>).

Année	Superficie en hectares	Rendement en T/ha	Production en tonnes
2001	17 900	62,23	1 114 008
2002	13 800	68,77	949 080
2003	12 600	71,32	898 620
2004	13 400	65,09	872 180
2005	13 300	58,82	782 290
2006	14 340	69,53	997 000
2007	14 000	66,70	933 850
2008	13 400	68,10	912 600
2009	12 400	65,57	813 040
2010	10 300	61,39	632 280
2011	13 420	56,92	763 913
2012	10 105	53,54	540 985
2013	15 475	40,08	619 561
2014	7 911	35,21	278 551
2015	8 483	46,60	395 316
2016	10 434	40,88	426 503
2017	10 596	52,20	553 115
2018	8 746	70,44	616 114
2019	11 306	45,90	518 956
2020	11 763	67,37	792 492

Les recherches entreprises sur cette culture, avant son introduction en 1973, ont été concentrées essentiellement sur les aspects relatifs à son adaptation, sa conduite, son mode de plantation et le comportement des différentes variétés. Ce n'est qu'après que des recherches sur le désherbage de la canne à sucre ont été initiées (Deckert, 1977; Rafrafi, 1988; Lazrak, 1993; Senhadji, 1993; Chakir 1994; El Ghrasli, 1994; Hammi, 1994; Jabbari, 1994; Bousricir 1995; Raji, 1995; Bouhache & *al.*, 1999; Tanji, 2014 & 2019). Au Gharb et au Loukkos, les jeunes plantations de canne à sucre sont très envahies par les adventices (Photo 1). Ces dernières consomment l'eau et les éléments nutritifs du sol, réduisant ainsi le tallage et affectant la hauteur et le rendement. La concurrence des adventices entraîne des pertes de rendement et de sucre, surtout en cas d'une forte infestation. D'ailleurs, les pertes peuvent être considérables quand les adventices ne sont pas contrôlées dans les premiers mois après la levée de la canne vierge. Un bon désherbage améliore donc les rendements, la qualité et la rentabilité de cette culture (Photos 2).



Photo 1: Nouvelle plantation de canne à sucre infestée par les adventices



Photos 2: Plantations de canne bien désherbées et bien entretenues avec une hauteur dépassant 2 mètres.

2. Caractérisation de la flore adventice

2.1. Diversité systématique

L'identification des adventices est très importante pour la réussite de l'opération de désherbage. Dans la canne à sucre, les adventices bénéficient de conditions optimales, car la culture est irriguée pendant presque toute l'année notamment en été, fertilisée et installée avec un espacement de 1,50 m entre les lignes. Une première synthèse de 275 relevés floristiques réalisés dans les champs de la canne à sucre au périmètre irrigué du Loukkos ont permis d'inventorier 176 espèces appartenant à 37 familles botaniques dont 82% d'entre elles étaient des annuelles (ou thérophytes) et 83% étaient des dicotylédones (Taleb & *al.*, 1994 & 1997). Les 10 espèces les plus importantes dans les sols sableux «Rmel» étaient la digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*), le panic rampant (*Panicum repens*), le chiendent pied de poule (*Cynodon dactylon*), le paspale distique (*Paspalum distichum*), le mouron des oiseaux (*Stellaria media*), la vergerette du Canada (*Erigeron canadensis*), le céraiste aggloméré (*Cerastium glomeratum*), le lotier des sables (*Lotus arenarius*), le jonc des crapauds (*Juncus bufonius*) et la rubéole des champs (*Sherardia arvensis*). Le souchet (*Cyperus rotundus*) est considéré une adventice vivace très compétitive dans les parcelles de canne localisées dans les sols sableux du

périmètre irrigué de Loukkos (Rzoui & *al.*, 1993; Bouhache & *al.*, 1994, 1996, 1998 & 1999; Taleb & *al.*, 1994, 1997, 1998; Senhadji, 1993; Hammi, 1994; Raji, 1995).

Des prospections récentes, durant les campagnes 2010-11 et 2011-12, concernant 35 parcelles de canne au Gharb et 35 parcelles de canne à sucre au Loukkos ont permis d'identifier 138 espèces (Tanji, 2014): 97 espèces au Gharb (66 dicotylédones annuelles, 12 monocotylédones annuelles, 15 dicotylédones vivaces et 4 monocotylédones vivaces) et 110 espèces au Loukkos (81 dicotylédones annuelles, 10 monocotylédones annuelles, 14 dicotylédones vivaces et 5 monocotylédones vivaces). Au Gharb, le nombre d'espèces adventices par parcelle a varié entre 1 et 25. Au Loukkos, il a varié entre 1 et 23. En général, de faibles densités d'adventices et un faible nombre d'espèces ont été observés immédiatement après les différentes opérations de désherbage.

Selon Tanji (2014), les dix espèces les plus abondantes dans les plantations de canne au Gharb sont: le chiendent pied de poule (*Cynodon dactylon*), l'ivraie raide (*Lolium rigidum*), l'aster écailleux (*Symphyotrichum squamatum*), le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*), la salicaire jonc (*Lythrum junceum*), la patience-violon (*Rumex pulcher*), le laiteron maraîcher (*Sonchus oleraceus*), la menthe pouliot (*Mentha pulegium*), la chicorée (*Cichorium intybus*) et la renoncule (*Ranunculus trilobus*). Les dix espèces les plus abondantes dans les plantations de canne au Loukkos sont: le pâturin annuel (*Poa annua*), la renoncule trilobée (*Ranunculus trilobus*), le laiteron maraîcher (*Sonchus oleraceus*), le mouron des oiseaux (*Stellaria media*), la vergerette du Canada (*Erigeron canadensis*), la salicaire jonc, l'ivraie raide, le liseron des champs, l'aster écailleux et le chiendent pied de poule. Ce sont les adventices vivaces qui sont très préoccupantes: le chiendent pied de poule, le souchet rond (*Cyperus rotundus*), les liserons (*Convolvulus arvensis* et *Convolvulus althaeoides*), l'oxalide pied de chèvre (*Oxalis pes-caprae*), la morelle (*Solanum elaeagnifolium*), la réglisse (*Glycyrrhiza foetida*), la psoralée (*Psoralea americana*), le roseau commun (*Phragmites australis*), etc...

2.2. Densité des adventices

Selon Tanji (2014), la densité des plantes adventices dans les 35 parcelles de canne au Gharb a varié entre 1 et 350 plantes/m² avec une moyenne de 90 plantes/m². Au Loukkos, la densité des plantes adventices dans les 35 parcelles de canne au Loukkos a varié entre 1 et 60 plantes/m² avec une moyenne de 29 plantes/m². La variabilité des infestations d'un champ à un autre est fonction de différents facteurs dont le stock de semences d'adventices dans le sol, l'efficacité du désherbage de la canne et des cultures précédentes, le type de sol, la date de plantation, la dose et la fréquence des irrigations, la fertilisation, etc...

3. Impact des adventices sur la culture

3.1. Pertes de rendements dues aux adventices

Les adventices concurrencent la canne à sucre pour l'humidité du sol et les éléments fertilisants, ce qui réduit les rendements et le taux de sucre. Une étude de compétition entre le chiendent et la canne à sucre vierge a montré que les pertes de biomasse sèche ont été de 4, 58, 65 et 70% quand les durées de compétition entre les deux espèces ont été respectivement de 1, 2, 3 et 4 mois (Rafrafi, 1988). La hauteur et le diamètre des tiges de canne ont été également affectés. Senhadji (1993) a trouvé qu'une durée de compétition de 120 jours entre les adventices et la canne vierge a réduit la biomasse sèche de la partie aérienne de la culture de 84%, le diamètre des tiges de 20%, le nombre de tiges usinables de 70% et l'indice foliaire de 81% par rapport au témoin propre. Il a recommandé de maintenir les nouvelles plantations de canne propres pendant les 3 premiers mois du cycle. Dans d'autres études (Hammi, 1994; Raji, 1995), la présence des adventices durant tout le cycle de la canne vierge a réduit la biomasse aérienne de 92 à 97%, l'indice foliaire de 84 à 87%, le diamètre des tiges de 39 à 42%, le nombre de tiges usinables de 62 à 82% et le rendement de 85 à 89%.

3.2. Adventices hôtes d'ennemis de cultures

Au Maroc, les prospections ont montré que 4 Graminées (*Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Lolium multiflorum* et *Phalaris brachystachys*) hébergent le virus de la mosaïque de la canne à sucre (Lazrak, 1993). La sésamie (*Sesamia nonagrioides* Lef.), fréquente dans le Gharb, attaque le maïs, le sorgho, le riz et la canne à sucre. Certaines graminées très fréquentes dans la culture telles qu'*Echinochloa crus-galli*, *Phragmites australis* et autres hébergent les premiers stades larvaires de la sésamie, servent de relais et constituent ainsi des sources importantes d'infestation de la culture (Salah Bennani, 1974).

4. Période critique de désherbage de la canne

En pratique, après l'identification des principales adventices, l'appréciation de leur infestation et les dégâts potentiels, les agriculteurs se posent la question quand faut-il désherber ? Dans toute stratégie de désherbage, il est nécessaire de répondre à cette question fondamentale. Le concept de la période critique de compétition apporte une partie de la réponse à cette question. La période critique de compétition (PCC) est définie comme étant «la période pendant laquelle la présence des adventices entraîne une perte de rendement mesurable » (Caussanel, 1989). Elle indique ainsi la meilleure période pour réaliser une ou plusieurs opérations de désherbage afin de prévenir les pertes inacceptables de rendements. Pour cette raison, elle est aussi appelée la période critique de désherbage (PCD). En d'autres termes, en dehors de cette période, la lutte contre les adventices n'est pas nécessaire ou ne contribue pas à l'amélioration du rendement potentiel de la culture (Bouhache, 2021). Trois PCC de la canne à sucre vierge, soumise à la compétition d'une communauté d'adventices dominée par les graminées vivaces, ont été déterminées dans les conditions du Loukkos et selon le seuil fixé. Si l'agriculteur accepte de perdre 5, 10 ou 20% du rendement, la PCC serait respectivement de 7-160, 18-140 et 23-118 jours après l'émergence de la culture (Raji, 1995).

5. Gestion des adventices

La gestion intégrée des adventices dans la canne à sucre nécessite une combinaison de plusieurs moyens ou méthodes (mécaniques, culturales et chimiques). Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients, mais les agriculteurs peuvent les utiliser seules ou combinées pour gérer les adventices d'une manière efficace et économique (Tableau 2).

Tableau 2: Différentes solutions de désherbage de la canne à sucre.

Adventice	Herbicide	Remarques
Traitement généralisé avant la levée de la canne et avant la levée des adventices		
Graminées et dico annuelles	oxyfluorène	Traiter sur un sol suffisamment humide, bien travaillé et sans mottes. Traiter avant la levée de la canne et des adventices. Employer un pulvérisateur en bon état, bien réglé et calibré. Utiliser un volume de bouillie de 200 à 300 L/ha.
	mésotrione + s-métolachlore + terbuthylazine	Irriguer si possible avant et après les traitements. Faire une ou plusieurs opérations de sarclages mécaniques et/ou manuels pour contrôler les adventices qui restent ou qui lèvent après les traitements herbicides.

Tableau 2 (suite)

Traitement généralisé après la levée de la canne et des adventices		
Graminées et dico annuelles	dicamba + topramézone	Traiter après la levée de la canne et des adventices, de préférence au stade végétatif des adventices. Employer un pulvérisateur en bon état, bien réglé et calibré. Utiliser un volume de bouillie de 200 à 300 L/ha. Faire une ou plusieurs opérations de sarclages mécaniques et/ou manuels pour contrôler les adventices qui restent ou qui lèvent après les traitements herbicides.
Dico annuelles	2,4-D	
Traitement localisé entre les lignes de la canne après la levée des adventices		
Graminées et dico annuelles	Glyphosate	Traiter entre les lignes quand la canne a environ 1 mètre de hauteur. Ne pas traiter le feuillage de la culture, car le glyphosate et l'oxyfluorène sont des herbicides non sélectifs de la canne. Utiliser un cache de pulvérisation si possible pour éviter de traiter les feuilles de la canne avec ces herbicides non sélectifs. Employer un pulvérisateur en bon état, bien réglé et calibré. Utiliser un volume de bouillie de 200 à 300 L/ha. Faire une ou plusieurs opérations de sarclages mécaniques et/ou manuels pour contrôler les adventices qui restent ou qui lèvent après les traitements herbicides.
	Glyphosate + oxyfluorène	

5.1. Désherbage chimique

Les agriculteurs estiment que le désherbage chimique est plus facile et moins cher, en comparaison avec les techniques mécaniques et culturales. Au Maroc, les premières recherches sur les herbicides de la canne ont été commencées par Deckert (1977). Depuis lors, plusieurs herbicides sélectifs ou non appartenant à différentes familles ont été testés expérimentalement, homologués et employés par les agriculteurs.

5.1.1. Herbicides de pré-levée sélectifs de la canne

Les recherches ont montré que les herbicides oxyfluorène ou mésotrione + s-métolachlore + terbuthylazine peuvent être utilisés en pré-levée de la canne vierge et des adventices (<http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx>). Ces désherbants doivent être appliqués **a)** sur des sols bien travaillés, suffisamment humides et sans débris végétaux, et **b)** avant la levée de la canne à sucre vierge et des adventices. Ils peuvent être employés seuls ou en mélange entre eux, ce qui élargit le spectre d'activités en inhibant la germination et la



Photo 3: Excellente efficacité des herbicides de pré-levée dans une nouvelle plantation de canne

levée des adventices graminées et dicotylédones annuelles pendant plusieurs mois (Photo 3). A rappeler que l'oxyfluorène, la mésotrione, la s-métolachlore et la terbuthylazine sont des herbicides qui empêchent la levée des adventices en agissant sur les semences en cours de germination. L'oxyfluorène inhibe la protoporphyrinogène oxydase (PPO), bloquant ainsi la synthèse de la chlorophylle. La mésotrione inhibe l'enzyme p-hydroxyphényle pyruvate dioxygénase (HPPD) au niveau des chloroplastes, ce qui inhibe la biosynthèse des caroténoïdes. La s-métolachlore inhibe la synthèse des acides gras à très longue chaîne. La terbuthylazine inhibe la photosynthèse au niveau du photosystème II (www.weedscience.org/summary/SOADescription.aspx).

5.1.2. Herbicides de post-levée sélectifs de la canne

En traitement de post-levée généralisé sur la canne à sucre, le mélange dicamba + topamézone est parfaitement sélectif de la canne et efficace sur les dicotylédones et les graminées annuelles (Photo 4). Ce sont des herbicides systémiques, et l'effet sur les adventices est observé 2 à 3 semaines après les traitements. Pour contrôler seulement les adventices dicotylédones, il est possible d'utiliser des herbicides à base de 2,4-D en traitement généralisé, car le 2,4-D est sélectif de toutes les graminées y compris la canne à sucre. Toutefois, cette matière active n'est pas homologuée sur cette culture au Maroc. Il faut noter que le dicamba et le 2,4-D sont des auxines de synthèse qui dérèglent la croissance des plantes, alors que la topamézone inhibe l'enzyme p-hydroxyphényle pyruvate dioxygénase (HPPD) qui catalyse la biosynthèse des caroténoïdes (www.weedscience.org/summary/SOADescription.aspx).



Photo 4: Traitement herbicide avec des herbicides sélectifs de post-levée dans une jeune plantation de canne.

5.1.3. Herbicides de post-levée non sélectifs de la canne

Les plantes vivaces (chiendent, souchet, morelle, liserons, oxalide, roseaux, réglisse, psoralée, menthe, etc...) sont capables de survivre grâce aux organes de réserve souterrains comme les rhizomes, les tubercules ou les bulbes. Rafrati (1988) a trouvé que 1440 g de glyphosate/ha, 750 g de fluazifop/ha et 380 g de haloxyfop/ha ont totalement détruit les rhizomes du chiendent 5 semaines après les traitements. En général, les traitements localisés entre les lignes, avec 720 à 1080 g de glyphosate/100 litres d'eau sur les plantes vivaces bien développées, donnent une excellente efficacité (Photo 5). Il suffit de bien mouiller le feuillage des adventices vivaces sans toucher les feuilles de la canne. Pour éviter de traiter les feuilles de la canne avec ces herbicides non sélectifs, il est préférable



Photo 5: Excellente efficacité des traitements herbicides non sélectif comme le glyphosate ou glyphosate + oxyfluorène entre les lignes de la canne.

d'utiliser un cache de pulvérisation. Toutefois, il est conseillé de contrôler les adventices vivaces avant la plantation de la canne. Bouhache & al. (1999) ont trouvé que 2160 g de glyphosate/ha ont réduit la biomasse des adventices localisées entre les lignes de 93% un mois après les traitements et 80% deux mois après les traitements.

Glyphosate ou glyphosate + oxyfluorène sont des herbicides systémiques, convenables pour détruire les adventices annuelles et vivaces. Les annuelles sont totalement détruites en deux à trois semaines, alors que les vivaces nécessitent une durée d'un mois après les traitements pour détruire le système racinaire des plantes. Il faut souligner que l'oxyfluorène est un herbicide de contact, facilement absorbé par le feuillage, avec très peu de translocation. Cette matière active inhibe la protoporphyrinogène oxydase (PPO), ce qui empêche la synthèse de la chlorophylle. Quant au glyphosate, il est véhiculé par la sève jusqu'à l'extrémité des racines et des rhizomes. Il inhibe l'enzyme 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) qui catalyse la synthèse de 3 acides aminés aromatiques: tryptophane, tyrosine et phénylalanine

(www.weedscience.org/summary/SOADescription.aspx).

5.2. Sarclage

5.2.1. Sarclage mécanique entre les lignes

La sarcleuse à tracteur équipée de plusieurs dents est utilisée par les producteurs de canne (Photo 6). L'objectif est de travailler entre les lignes pour détruire les adventices et aérer le sol. Pour être efficace, le sarclage mécanique doit intervenir sur les adventices lorsque le sol est sec et par temps ensoleillé. Le sarclage mécanique est parfois recommandé pour pallier à la rareté de la main d'œuvre.



Photo 6: Sarclage mécanique entre les lignes de la canne vierge.

5.2.2. Sarclage manuel avec la houe

Le sarclage à la houe vise la destruction des adventices sur les rangs et entre les rangs, essentiellement après les opérations de désherbage chimique et de sarclage mécanique entre les lignes (Photo 7). Le nombre de sarclages manuels varie selon les infestations par les adventices et la disponibilité de la main d'œuvre.



Photo 7: Sarclage manuel avec la houe.

5.3. Arrachage manuel, fauchage et collecte des adventices

Certains petits producteurs font l'arrachage manuel et/ou le fauchage des plantes adventices qui se trouvent dans les jeunes plantations de canne. En général, les plantes adventices qui ont une hauteur supérieure à 20 cm sont collectées et transportées pour alimenter le cheptel (Photo 8). Dans le cas de grandes parcelles, ce sont les voisins qui viennent collecter gratuitement les plantes adventices pour les utiliser pour l'alimentation des animaux. Le nombre d'opération d'arrachage



Photo 8: Collecte manuelle des adventices dans une canne vierge .

d'arrachage manuel des adventices varie selon les infestations par les adventices et les besoins en fourrages.

5.4. Autres méthodes de désherbage

5.4.1. Paillage après la récolte

La récolteuse de canne présente l'avantage de rejeter automatiquement la paille hachée et de la disperser de façon homogène sur la parcelle (Photo 9). Sinon, la paille de canne doit être dispersée à la main pour constituer un « mulch » de protection. Pour être efficace, le paillage ne doit laisser aucun espace libre. En général, le paillage réduit les infestations par les adventices et évite l'emploi des herbicides. Certains producteurs de canne ne s'intéressent pas à faire un « mulch », mais ils font le bottelage des feuilles pour les utiliser ou les vendre pour l'alimentation du troupeau.



Photo 9: Paillage avec le feuillage de canne protégeant le sol et empêchant la levée des adventices.

5.4.2. Pâturage

Certains agriculteurs lâchent les ovins dans les parcelles de canne à sucre (Photo 10). Ainsi, les animaux pâturent les adventices sans endommager ou consommer la canne. Certaines adventices ne sont pas consommées par les animaux, en particulier les plantes épineuses comme le chardon de Marie (*Silybum marianum*), les scolymes (*Scolymus maculatus*, *S. hispanicus*), etc.. les plantes toxiques comme l'euphorbe (*Euphorbia medicaginea*), la mandragore (*Mandragora autumnalis*), etc..., l'herbe aux cure-dents (*Ammi visnaga*), etc...



Photo 10: Pâturage des ovins dans une parcelle de canne.

5.4.3. Cultures associées à la canne

Juste après l'installation d'une jeune plantation de canne en automne, et en attendant l'émergence de la canne au printemps, certains agriculteurs plantent des cultures fourragères annuelles comme le trèfle d'Alexandrie ou des cultures maraîchères comme le chou, les carottes, le navet, etc... (Photo 11). Toutes ces cultures sont récoltées avant le démarrage de la canne au printemps.



Photo 11: Chou planté entre les lignes de la canne vierge.

Cette pratique concerne la production de cultures maraichères et/ou fourragères, de cycle court et nécessitant des opérations de désherbage manuel. Les cultures plantées sont en général bien entretenues, ne nécessitant pas de désherbage chimique et peuvent avoir des avantages (fixation d'azote atmosphérique dans le sol, production de fourrages et de légumes, génération des revenus) sans impacter la croissance de la canne.

6. Conclusion

La canne à sucre est l'une des principales sources de sucre et d'éthanol dans le monde. Introduite au Maroc en 1973, la canne à sucre est actuellement une culture importante dans les périmètres irrigués du Gharb et du Loukkos. En général, les jeunes plantations de canne sont envahies par les adventices. Les études concernant la flore associée à cette culture ont montré qu'il s'agit d'une flore adventice riche et diversifiée, capable de concurrencer la culture et réduire les rendements et la qualité. Effectivement, la présence des adventices durant tout le cycle de la canne vierge pourrait réduire le nombre de tiges usinables de 62 à 82% et le rendement de 85 à 89%. L'élimination des adventices à temps pourrait améliorer la productivité de cette culture, et par conséquent, augmenter le taux de couverture des besoins du pays en sucre. Les essais de désherbage ont conclu à des solutions que les producteurs peuvent utiliser en pré-levée ou en post-levée généralisé ou localisé entre les rangs de la canne (Tableau 2). Néanmoins, la gestion des adventices nécessite l'emploi de la lutte intégrée basée sur la combinaison des méthodes de désherbages chimique et non chimique. Ces différentes opérations de désherbage sont nécessaires pour réduire les infestations des adventices, mettre en valeur les autres opérations culturales comme l'irrigation et la fertilisation, augmenter les rendements et améliorer la qualité et la rentabilité de la culture.

Références

- Bouhache M. (2021) Malherbologie: biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Dar Al Qalam, Rabat, 376 p.
- Bouhache M., Rzozi S.B., Taleb A., Lazrak A., Jebbari J. & Bousricir D. (1999) Efficacité comparée des herbicides sur les graminées associées à la canne à sucre dans le secteur R'mel du Loukkos. Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc), 19(1):5-12.
- Bouhache M., Rzozi S.B., Taleb A. & Bousricir D. (1998) Stratégies de lutte efficaces et économiques contre le chiendent dans la canne à sucre. Quatrième congrès de l'Association Marocaine de Malherbologie (AMM), Rabat, pp. 37-46.
- Bouhache M., Rzozi S.B. & Raji S. (1996) L'effet différé de la concurrence des mauvaises herbes avec la canne vierge sur la croissance et le développement de la canne repousse. Proceedings Dixième Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, pp. 157-161.
- Bousricir D. (1995) Recherche d'une stratégie de lutte contre le chiendent dans la canne à sucre. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Caussanel J.P. (1989) Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle: situation de concurrence bispécifique. Agronomie, 9: 219-240.
- Chakir S. (1994) Contribution à l'étude de la biologie de trois graminées vivaces, adventices de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) dans le Loukkos. Thèse de DES, Faculté des Sciences, Rabat.
- Deckert V. (1977) Expérimentation de quelques désherbants chimiques sur la culture de canne à sucre dans l'oriental. INRA, Bulletin de Protection des cultures, 2: 19-24.
- El Ghrasli D. (1994) Lutte chimique contre les graminées vivaces associées à la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) dans le Loukkos (Maroc). Mémoire de fin d'études, CNEARC, Montpellier, France.
- Hammi N. (1994) Concurrence des mauvaises herbes avec la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) dans le Loukkos. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 95 p.
- Harbouze R., Pellissier J.P., Rolland J.P. & Khechimi W. (2019) Rapport de synthèse sur l'agriculture au Maroc. CIHEAM-IAMM, 103 p. [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02137637 /document](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02137637/document)

- Jabbari J. (1994) Stratégie de désherbage de la canne à sucre au Loukkos. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Lazrak A. (1993) Désherbage de la canne à sucre au Loukkos: pratiques agricoles et recherche d'une lutte chimique. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 102 p.
- Rafrafi M. (1988) Contrôle des mauvaises herbes, 1. Désherbage chimique du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) au Tadla, 2. Aspects agronomiques et lutte chimique contre le chiendent (*Cynodon dactylon* Pers.) dans la culture de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.). Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 168 p.
- Raji S. (1995) Etude de la concurrence entre la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) et une communauté d'adventices dominée par les graminées vivaces dans le périmètre du Loukkos. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 95 p.
- Rzozzi S.B., Bouhache M. & Lazrak A. (1993) Conduite du désherbage de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) dans le périmètre irrigué du Loukkos. Sucrerie Maghrébine, 64/65: 17-25.
- Salah Bennani A. (1974) La sésamie du maïs, *Sesamia nonagrioides* Lef., résultats d'essais insecticides réalisés entre 1970 et 1975. Al Awamia, 51: 9-30.
- Senhadji H. (1993) La canne à sucre dans le Loukkos: conduite et interférence des mauvaises herbes. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, 131 p.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozzi S.B. (1994) Taxonomic study of sugar cane weeds in Loukkos area (Morocco). Fifth arab congress of plant protection, Fez, Morocco, pp. 219.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozzi S.B. (1997) Etude de la flore adventice de la canne à sucre dans la région du Loukkos. Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc), 17(2): 103-108.
- Taleb A., Bouhache M., Rzozzi S.B., Atbib M. & Chakir S. (1998) Importance et répartition des graminées vivaces associées à la canne à sucre dans le secteur R'mel du Loukkos. Quatrième Congrès de l'Association Marocaine de Malherbologie (AMM), Rabat, pp.1-10.
- Tanji A. (2014) Désherbage de la canne à sucre, résultats de trois campagnes agricoles 2010-13. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture, N° 200, Avril 2014.
- Tanji A. (2019) Désherbage de la canne à sucre. Les Cultures Sucrières MAG, Le magazine de la Filière Sucrière Marocaine, No 2, Janvier 2019, Numéro spécial canne à sucre, pp. 20-23.

Gestion des adventices du tournesol

Abdelkader TALEB

1. Introduction

Le Maroc importe la quasi-totalité de ses besoins en matières premières de la filière des produits oléagineux. Les prévisions faites en 2018 prévoyaient que les besoins du Maroc en huiles alimentaires en 2020 se situeraient à 600000 tonnes dont 400000 tonnes à couvrir par les graines oléagineuses (Anonyme, 2018). Afin de développer le secteur des oléagineux, le Maroc compte atteindre 127.000 hectares de surface cultivée en oléagineux dans le pays, dont 85.000 hectares de tournesol et 42.000 hectares de colza, grâce à un contrat programme signé entre le gouvernement et la Fédération Interprofessionnelle des Oléagineux (FOLEA) pour la période 2013-2020. Ce programme sur huit ans, d'une valeur de 421 millions de dirhams, a été subventionné à 28% par le gouvernement marocain. Son objectif principal est d'augmenter les superficies et la production. Le nouveau programme vise aussi à produire 93.000 tonnes d'huile d'oléagineux en 2020 contre moins de 10.000 tonnes en 2011 (Jackson & al., 2016).

Les principales espèces oléagineuses annuelles cultivées au Maroc sont le tournesol, le colza, l'arachide, le carthame et le soja. Les deux premières cultures sont destinées à produire essentiellement les huiles de table. Effectivement, les superficies du tournesol et du colza montrent une évolution nette entre 2013 et 2019 (Figure 1) (Anonyme, 2022a). Le tournesol est considéré comme principale culture oléagineuse avec toutefois des variations très importantes de superficie. Il est aussi considéré par les agriculteurs comme une culture de substitution aux cultures d'hiver, essentiellement en cas d'inondations ou de sécheresse. Il est suivi du colza qui commence à prendre de l'importance durant ces dernières années.

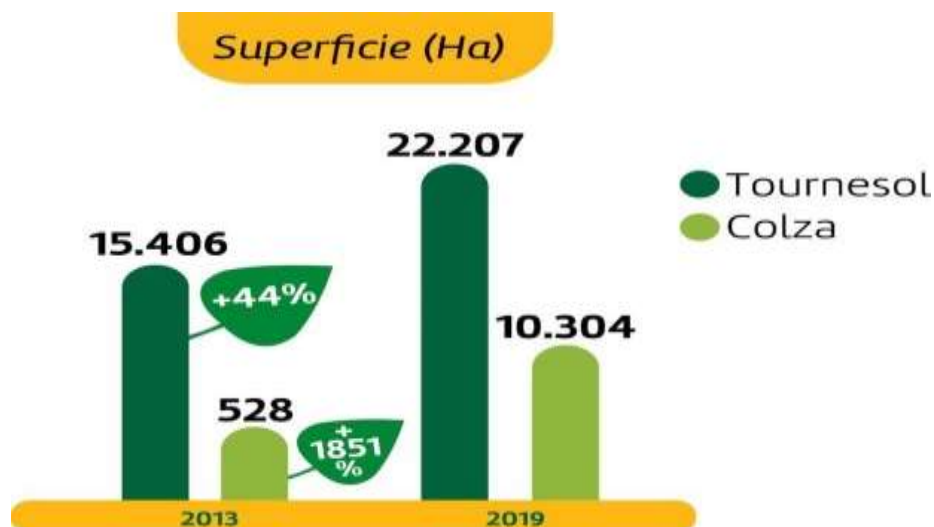


Figure 1: Evolution des superficies du tournesol et du colza au Maroc entre 2013 et 2019 (Anonyme, 2022a).

Le tournesol (*Helianthus annuus* L.) est une plante oléagineuse cultivée principalement pour ses graines riches en huile (environ 40% de leur composition) alimentaire de bonne qualité et pour ses tourteaux qui ont une forte teneur en matière azotées totales (45-55%) (Anonyme, 2022b). Le tournesol est, avec le colza et l'olivier, l'une des trois sources principales d'huile alimentaire au Maroc. Jusqu'à maintenant, le tournesol est la principale culture oléagineuse annuelle au Maroc. Son véritable développement est observé après les années 85, où les superficies cultivées du tournesol au Maroc, sont passées de quelques milliers d'hectares en 1970 à plus de 20.000 ha en 1992. Malgré cette

augmentation substantielle de la sole du tournesol, les rendements n'ont cependant pas connu le même essor puisqu'ils n'ont pas dépassé les 10 qx/ha (Anonyme, 1996). Cette faiblesse des rendements trouve sa justification dans plusieurs problèmes entre autres le contrôle insuffisant des mauvaises herbes (Boujghagh, 1988). Le contrôle chimique des mauvaises herbes dans le tournesol est quasiment absent dans le programme des interventions de l'agriculteur, parce que le binage est la seule méthode du désherbage appliquée à ce jour. Cette technique est cependant dépendante des conditions climatiques, et est très consommatrice de la main d'œuvre et du temps (Saffour, 1997). Ainsi, une gestion des adventices, intégrant plusieurs méthodes de lutte qui permettent de maintenir l'infestation des adventices à un niveau acceptable, est l'une des voies d'amélioration du taux de couverture de nos besoins en huiles par la production du tournesol.

2. Caractérisation de la flore adventice

2.1. Aspect systématique

La synthèse des relevés réalisés par Loudyi (1987) (10 relevés), Saffour (1997) (27 relevés) et El Abdellaoui (1998) (67 relevés) au niveau du Saïss et du Gharb, 197 espèces adventices ont été recensées, réparties en 130 genres et 39 familles botaniques. D'un point de vue systématique, les dicotylédones sont largement dominantes avec 81,2%, elles sont représentées par 33 familles botaniques et 169 espèces, alors que les monocotylédones comptent seulement 4 familles et 25 espèces. Les 39 familles recensées représentent environ 30% des 124 familles de la flore marocaine et 51,4% des 70 familles adventices des cultures du Maroc. L'examen du rapport du nombre d'espèces monocotylédones au nombre d'espèces dicotylédones (M/D) est de 16,5%. Quatre espèces habituellement cultivées (*Triticum durum* L. (blé dur), *Triticum aestivum* L. (blé tendre), *Vicia faba* L. (fève) et *Pisum sativum* L. (petit-pois)) ont été rencontrées comme adventices dans les champs du tournesol

Cinq familles parmi les 39 inventoriées (*Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae* et *Brassicaceae*) contribuent à elles seules à 50,7% avec un effectif de 100 espèces. La famille la plus dominante est celle des *Asteraceae* ou composées (Dicotylédones). Elle est représentée par 33 espèces, soit 17,46% de la flore adventice du tournesol. Quant aux monocotylédones, c'est la famille des *Poaceae* ou graminées qui est dominante. Elle est représentée par 20 espèces, soit environ 10% de l'ensemble des espèces. L'importance de ces familles s'explique d'ailleurs par la place qu'elles occupent au sein de la flore adventice des cultures marocaines, par leur aire de répartition biogéographique méditerranéenne et par leur aptitude à s'adapter à des biotopes très diversifiés (Taleb, 1989; Taleb & al., 1999). Ces cinq familles sont largement présentées dans la flore marocaine. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer leur importance au niveau des communautés adventices, elles ont une productivité en semences élevée; ces dernières ayant souvent une longévité importante et une dissémination des semences facilitée par divers processus (semences à crochets des *Medicago* par exemple). L'assolement pratiqué dans le Saïss et le Gharb (généralement céréale/tournesol) pourrait être aussi derrière cette grande similitude dans la hiérarchisation de l'importance des familles d'adventices du tournesol et celles des céréales (Taleb et Mailet, 1994). Cinq autres familles sont rencontrées avec une fréquence forte, à savoir *Boraginaceae*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae*, *Lamiaceae* et *Caryophyllaceae*.

2.2. Richesses floristique parcellaire

Le nombre d'espèces rencontrés sur une parcelle varie de 11 à 37 autour d'une moyenne de 19,77 espèces/relevé. La distribution est très homogène avec deux pics situés à 14 et 20 espèces/relevé, soit aux alentours de la moyenne, ce qui traduit une répartition équilibrée dans l'ensemble des relevés. Ceci témoigne d'une infestation assez importante des champs de tournesol. L'absence de désherbage chimique et le nombre réduit des interventions chimiques dans les céréales précédant le tournesol pourrait expliquer cette richesse floristique.

2.3. Aspects biologique et biogéographique

La classification de Raunkiaer (1905), basée sur la position des bourgeons permanents par rapport à la surface du sol pendant la période du repos végétatif, a permis de classer les mauvaises herbes du tournesol du Saïss et du Gharb appartenant en six types éthologiques: Thérophytes, Géophytes, Hémicryptophytes, Chaméphytes, Phanérophytes et Parasites (Tableau 1). La majorité des espèces rencontrées sont des thérophytes, elles présentent plus de 75% de l'effectif, et de ce fait, elles constituent la composante majeure de la végétation en place. Ce constat est lié à la nature et à l'intensité des techniques culturales qui conditionnent fortement la nature et le pourcentage des types biologiques rencontrés dans une culture donnée (Wahbi & al., 1986). En effet, le pourcentage des espèces vivaces enregistré est de 27,07%, et il est dû aux parcelles labourées chaque année, lors de la mise en culture et qui tendent à éliminer les espèces pérennes au profit des thérophytes (Les espèces vivaces sont présentées essentiellement par les géophytes et les hémicryptophytes).

Tableau 1: Spectre éthologique (ou biologique) de la flore adventice du tournesol.

Type biologique	Effectif	Contribution (%)
Thérophytes	149	76
Géophytes	20	10
Hémicryptophytes	18	9
Chaméphytes	6	3
Nanophanérophytes	2	1
Parasites	2	1
Total	197	100

Enfin, les espèces parasites, bien que peu nombreuses (au nombre de trois), méritent une attention particulière pour les dégâts qu'elles peuvent causer à l'avenir à la culture du tournesol essentiellement l'orobanche. *Orobanche cumana*, une plante parasite spécifique au tournesol originaire du Bassin Méditerranéen, parasite les racines de tournesol et provoque depuis environ 50 ans d'importants dégâts dans les pays producteurs de tournesol (Espagne, Turquie, Bassin de la Mer Noire). Depuis 2007, sa présence est signalée en France (Jestin, 2019), En Afrique du nord, la présence de cette orobanche a été rapportée pour la première fois en Tunisie durant 2010. Et ce n'est qu'en 2016, que des champs de tournesol lourdement infestés par ce fléau ont été observés au Maroc, particulièrement dans la zone de Souk Al Arbaa, dans la province de Kenitra (Nabloussi, 2018). C'est une plante parasite redoutable car elle possède une forte capacité de dissémination (vent, machines agricoles, animaux, semences...) et une production grainière très importante.

Les origines biogéographiques ont été extraites des travaux de Quezel et Santa (1962-1963). Au total, 114 espèces sont d'origine méditerranéenne, soit 65,14% de l'effectif global des espèces adventices recensées dans les champs de tournesol. Cela montre que la flore de ces régions, comme celle de l'ensemble du Maroc, est nettement méditerranéenne. Les espèces d'origine cosmopolite sont assez fréquentes, elles présentent 11,43% de l'effectif global.

2.4. Aspect agronomique

Sur le champ, on a attribué à chaque espèce collectée un indice d'abondance-dominance (I.A.D.) et un indice de répartition sur la parcelle. L'importance agronomique de chaque espèce a été jugée sur la base de la fréquence relative et son recouvrement. L'I.A.D. nous a permis d'attribuer aux espèces « un indice partiel de nuisibilité (IPN) » (Bouhache et Boulet, 1984). Pour l'ensemble des espèces présentes, seules ont été prises en compte celles ayant une fréquence supérieure ou égale à 20% et qui sont au nombre de 32 et classées selon leurs valeurs IPN (Tableau 2). Ces espèces pourraient être considérées comme les principales adventices de la culture. Elles sont dominées par les annuelles (Thérophytes) à raison de 81,25%. Les espèces vivaces sont représentées par un nombre de six, cette

spécificité revient, probablement, à l'utilisation des façons culturales mécaniques qui favorisent la dissémination de ces plantes vivaces. Les dicotylédones les plus fréquentes sont: *Convolvulus arvensis*, *Sonchus oleraceus*, *Picris echinoides*, *Ridolfia segetum*, etc. Alors que les monocotylédones les plus fréquentes sont représentées par: *Cynodon dactylon*, *Lolium rigidum*, *Arisarum vulgare*, *Phalaris minor* et *Phalaris paradoxa*.

Tableau 2: Les principales adventices de la culture du tournesol au Maroc.

Espèces	IPN
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	2529 IV
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	1627 III
<i>Arisarum vulgare</i> Targ-Tozz.	1313 III
<i>Picris echinoides</i> L.	809 III
<i>Anchusa italica</i> Retz.	750 II
<i>Cichorium endivia</i> L.	713 III
<i>Lythrum junceum</i> Banks et Solander	671 III
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	664 III
<i>Ridolfia segetum</i> Moris	646 III
<i>Rumex pulcher</i> L.	541 II
<i>Sinapis arvensis</i> L.	526 II
<i>Amaranthus blitoides</i> S. Watson	470 II
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	470 II
<i>Polygonum aviculare</i> L.	452 II
<i>Phalaris minor</i> Retz.	447 II
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	435 IV
<i>Euphorbia medicaginea</i> Boiss.	400 III
<i>Medicago hispida</i> Gaertner	396 II
<i>Mentha pulegium</i> L.	373 II
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	366 II
<i>Avena sterilis</i> L.	365 III
<i>Centaurea diluta</i> Aiton	361 II
<i>Anagallis foemina</i> Miller	328 II
<i>Verbena supina</i> L.	261 II
<i>Scorpiurus sulcatus</i> L.	258 II
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertner	225 II
<i>Phalaris paradoxa</i> L.	224 II
<i>Vaccaria hispanica</i> L.	209 II
<i>Plantago psyllium</i> L.	176 II
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertner	157 II
<i>Phalaris brachystachys</i> Link	121 II
<i>Beta macrocarpa</i> Guss.	97 II

Le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) arrive en tête de liste avec une fréquence de 73,13% et un recouvrement moyen de 2529. En effet, cette espèce est présente dans tous les champs visités, son extension et son importance dans toutes les cultures sont dues au faible emploi des herbicides et sa faculté énorme d'adaptation aux différents environnements. Le même résultat a été confirmé par Tanji & al. (1989) qui ont trouvé que *Convolvulus arvensis* est l'espèce la plus fréquente (72%) dans la culture du maïs non irriguée en zone semi-aride. Le liseron des champs est très fréquent et est souvent abondant dans les cultures annuelles, printanières et estivales, mais également dans les cultures arbustives et irriguées où il se développe par taches. Malgré son développement tardif au printemps c'est une espèce très nuisible pour toutes les cultures et surtout pour les cultures printanières comme le tournesol (Careme, 1990). Le chiendent (*Cynodon dactylon*) est la monocotylédone la plus fréquente dans la culture du tournesol. C'est une graminée commune partout, dans les champs, les vergers, les vignobles, les cultures irriguées, les jachères où elle sert de pâturage en été et en automne. Il a

une préférence pour les sols limoneux à sablo-limoneux, secs, éclairés et très chauds. C'est une espèce se développant par tâches et elle est très nuisible surtout aux cultures estivales (Careme, 1990).

3. Impact de la flore adventice sur le tournesol

L'envahissement par les mauvaises herbes a eu des effets dépressifs sur la croissance, le développement et le rendement du tournesol. Certaines adventices estivales sont particulièrement concurrentielles pour le tournesol à titre d'exemple le datura (*Datura stramonium*), la lampourde à gros fruits (*Xanthium strumarium*), l'ammi élevé (*Ammi majus*) (Photo 1), le bident tripartite (*Bidens tripartita*), la morelle noire (*Solanum nigrum*), le chénopode (*Chenopodium* sp.), les renouées (*Polygonum* sp.) et le panic pied de coq (*Echinochloa crus-galli*). La chute de rendement due à la compétition des adventices peut dépasser 58% (Nalewaja & al., 1972; Warkayehu et Zamicael, 1992), en raison des effets de compétition qui affectent tous les paramètres de croissance du tournesol (Azeroual et Boudfaat, 1985; Saffour, 1997) et les composantes de rendement (Saada, 1989). Les résultats des essais sur tournesol «Terres Inovia » entrepris entre 2007 et 2009 montrent que la différence de rendement entre le témoin non traité et la meilleure option de désherbage est en moyenne de 6,3 quintaux/ha, soit une perte potentiellement due aux adventices de 22,3% (Figure 2). Cette perte varie entre 1,4 et 17,6 quintaux selon les essais (Cordeau & al., 2016).). Un écart de rendement entre les parcelles maintenues propres et celles maintenues enherbées qui peut dépasser 10 qx/ha a été également constaté par Vuillemin et Duroueix (2020).

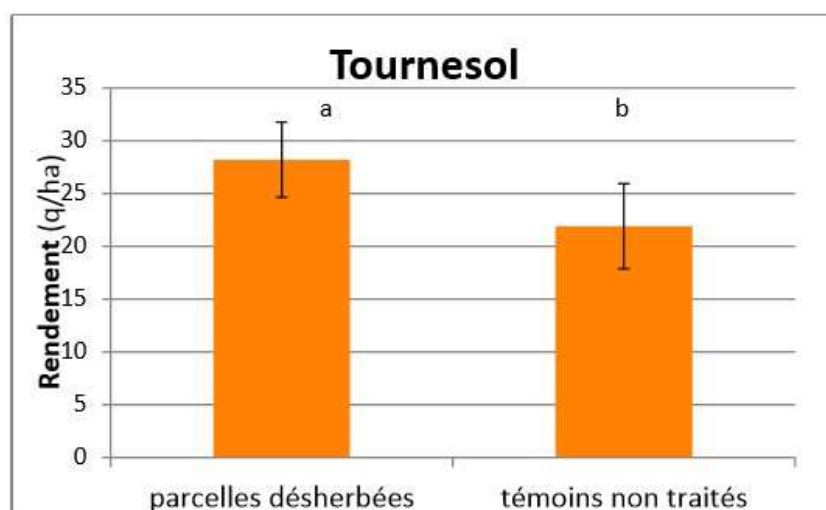


Figure 2: Rendements du tournesol des parcelles désherbées et non désherbées (Cordeau & al., 2016).

Au Maroc, les essais réalisés en 1999, ont montré que la présence des adventices au stade floraison a entraîné une baisse de la hauteur de 140 à 75,44 cm soit une réduction de 46,1% et la compétition des mauvaises herbes durant tout le cycle de la culture a réduit le nombre de feuilles vertes de 31,9% par rapport au témoin propre au stade bouton étoilé et de 56% par rapport au témoin propre au stade floraison (Benbaza & al., 1999). En cas d'absence de tout contrôle des adventives, la perte du rendement était de 90,2% par rapport au témoin maintenu propre le long du cycle du tournesol (Benbaza & al., 1999; El Qortobi & al., 1999). Le non contrôle des adventices dans la culture du tournesol a entraîné la diminution du nombre de pieds/ha, du nombre de grains par capitule, ainsi que la hauteur de la tige et le diamètre du collet et du capitule du tournesol (Saada, 1989).

Lorsque le tournesol est fortement attaqué par l'orobanche, la production pourrait être perdue totalement. En France, les pertes de rendement peuvent aller au-delà des 90% (affaiblissement du pied de tournesol et dans des cas extrême mort du pied de tournesol), dans le cas où les mesures de lutte ne sont pas appliquées (Jestin, 2019). Au Maroc, des pertes de rendement de tournesol de 80% ont été estimées dans le cas des parcelles hautement infestées au Gharb (Nabloussi, 2018).



Photo 1: Infestation du tournesol par les adventices.

4. Période critique de désherbage du tournesol

Dans toute stratégie de gestion des adventices dans une culture, la notion de la période critique de désherbage (PCD) joue un rôle très important dans le contrôle de la végétation qualifiée d'indésirable. Sa détermination permet de cibler les traitements, et par conséquent, d'utiliser d'une façon la plus judicieuse les ressources souvent limitées et d'optimiser le désherbage dans le temps. Pour une culture donnée, la PCD n'est pas une période fixe, mais elle varie avec le site, la saison, le sol, la nature et la densité des adventices (Zimdahl, 2004). Dans le cas d'une infestation moyenne ou modérée, cette période est approximativement centrée sur le premier tiers du cycle de la culture. Si une culture de tournesol a besoin de 100 à 140 jours pour atteindre sa maturité, la PCD se situerait entre 25 et 40 jours après émergence (Sattin et Berti, 2005). Effectivement, la culture du tournesol est lente à démarrer pendant toute la durée de la germination. Elle est très sensible à la concurrence des mauvaises herbes durant les 40 jours qui suivent la levée (Deniau, 1988). Une compétition durant cette phase, s'établit pour l'eau (Favier, 1986); facteur limitant pour cette culture qui s'installe durant la saison souvent sèche (mars à août) et les éléments minéraux, ce qui rend la culture moins vigoureuse. Favier (1986), Szente (1993) et Vivier (1993) ont signalé que le tournesol est sensible à la compétition des mauvaises herbes en début de végétation jusqu'au stade 5-8 feuilles.

5. Gestion des adventices

L'agriculteur dispose d'une panoplie de solutions, méthodes ou techniques pour contrôler les adventices dans la culture du tournesol: les techniques culturales (dates de semis, choix des variétés, binage sarclage, etc...) et le désherbage chimique (post-semis, pré-levée, post-levée de la culture ou leur combinaison). Les stratégies de gestion de l'orobanche sont beaucoup plus développées dans la contribution relative à la gestion des plantes parasites. Ainsi, uniquement les adventices non parasites qui sont considérées dans cette partie.

5.1. Techniques culturales

La réussite de la culture du tournesol repose en premier lieu sur une bonne installation (bon travail du sol, meilleur choix variétal, positionnement de la date du semis). Avant de penser à l'utilisation des herbicides, il faut recourir aux techniques culturales préliminaires qui peuvent limiter le développement des adventices.

5.1.1. Techniques culturales avant le semis

Afin de réussir l'installation de la culture du tournesol, des techniques culturales avant semis sont préconisées, et qui consistent à:

Pratiquer une rotation qui consiste à alterner les cultures d'hiver et du printemps et, par conséquent, perturber le cycle biologique des espèces adventices tout en profitant des techniques permises par chaque culture. Par exemple l'utilisation des herbicides dans la culture du blé et la réussite du désherbage conditionnent le degré d'infestation dans la culture du tournesol (El Qortobi, 2001),

Faire un labour chaque 2 ou 3 ans, dans le but d'enfouir les semences superficielles sensibles (*Poaceae*),

Utiliser la technique du faux-semis, dans le but d'épuiser le stock semencier des adventices dans le sol en favorisant la levée des mauvaises herbes et leur destruction avant le semis de la culture,

Privilégier un semis précoce du tournesol: le semis précoce est un facteur de productivité. il favorise des rendements plus élevés. Dans les conditions du Saïs, les semis de janvier jusqu'au 20 mars sont conseillés, que ceux réalisés au-delà car le semis précoce peut être considéré comme une voie efficace pour la concrétisation du potentiel de la culture (El Qortobi, 2001),

Utiliser les semences sélectionnées. L'introduction de l'orobanche du tournesol dans la région du Gharb a été faite suite à l'utilisation des semences contaminées par les graines de ce parasite.

5.1.2. Techniques culturales durant le cycle de la culture

En plus de déchaumage et des travaux préparatoires au semis, le binage est une opération traditionnelle dans la culture du tournesol (Benbaza & *al.*, 1999). Au Maroc, le binage et le sarclage sont les moyens adoptés à ce jour, par beaucoup d'agriculteurs, pour contrôler les adventices dans une culture de tournesol et peuvent constituer une économie d'herbicides ou une solution de rattrapage en cas d'échec de désherbage chimique de pré levée ou de post semis (El Asri, 1993; Saffour, 1997; El Abdellaoui, 1998). Dans la pratique agricole, le binage se fait en trois interventions:

Le premier doit être réalisé au stade 1 à 2 paires de feuilles en présence d'adventices au stade jeune (Anonyme, 1995),

Le deuxième doit se faire 1 à 2 semaines après le premier binage,

Le troisième binage est exécuté quand le tournesol a atteint le stade 5-6 paires de feuilles (Delataille, 1984; Anonyme, 1997).

Le tournesol réagit bien au binage qui lui permet un gain de rendement de 6 à 10% (Favier, 1986). D'après une enquête réalisée par El Qortobi (2001), les modes du désherbage pratiqués par les agriculteurs dans la région du Saïs sont:

Désherbage manuel à la binette,

Désherbage mécanique à la traction animale,

Désherbage mécanique tracté,

Désherbage chimique sur le rang (antigraminées) et binage entre les rangs.

Il ressort de cette étude que le binage à l'aide d'une bineuse à traction animale est le plus utilisé.

5.2. Désherbage chimique

Le désherbage chimique consiste à utiliser des substances chimiques, appelées herbicides, pour lutter contre toute végétation indésirable. Malgré les effets négatifs des herbicides sur l'environnement et/ou sur les manipulateurs non avertis, le désherbage chimique est encore considéré comme une méthode efficace, pratique ou économique parmi les méthodes de gestion des mauvaises herbes. La réussite d'une opération de désherbage chimique dépend, entre autres, du choix judicieux des herbicides et de

la dose, la période, la méthode et des conditions de leur application. Les agriculteurs disposent des herbicides utilisables en post-semis ou pré-levée et en post-levée du tournesol. Le tournesol est cultivé essentiellement au printemps, les conditions climatiques et surtout la pluviométrie qui suit l'application des produits herbicides, sont déterminantes pour la réussite du désherbage chimique.

5.2.1. Herbicides de post-semis ou pré-levée

Les herbicides de post-semis ou pré-levée sont appliqués au sol après le semis de la culture et avant la levée des adventices et de la culture. Cette catégorie d'herbicides empêche la germination et/ou la levée des adventices. De ce fait, ces traitements sont intéressants pour les semis précoces et ont l'avantage d'éviter la compétition précoce des adventices auxquelles le tournesol est très sensible, d'avoir la possibilité de rattrapage en cas d'échec ou de contrôler des graminées non maîtrisables avec les herbicides de post-levée. Leur efficacité dépend de la texture, le pH, le taux de matière organique et l'humidité du sol. Pour réussir un désherbage avec ces herbicides, il faut que le sol soit bien travaillé (sans motte, plantes et résidus végétaux à la surface) et suffisamment humide (humidité >10 mm dans 8 à 10 jours après traitement) et les semences du tournesol soient bien enterrées dans le sol pour garantir la sélectivité de position de cette catégorie d'herbicides (Benoist, 2004). Au Maroc, cinq matières actives (aclonifene, métobromuron, pendiméthaline, s-métolachlore et triallate) sont à la base de la totalité des herbicides de post-semis ou pré-levée homologués ou utilisables pour le désherbage du tournesol (Tableau 3). Le triallate contrôle uniquement les graminées, tandis que les autres matières actives sont utilisées pour contrôler aussi bien les dicotylédones que les graminées. Avec leurs sites d'action différents de celui des antigraminées spécifiques, tous ces herbicides ont l'avantage de contrôler les graminées ayant développé une résistance aux antigraminées spécifiques tels que les Fops, dimes et den (Bouhache, 2020).

Tableau 3: Herbicides de post-semis ou pré-levée utilisables sur le tournesol (Acta, 2019; ONSSA, 2022).

Matière active	Produit commercial	Code HRAC	Dose utilisée	Spectre d'action
Aclonifene	Challenge 600 SC*	F3	4 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
Métobromuron	Proman*	C2	3 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
Pendiméthaline	Prowl*	K1	4 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
	Panida*	K1	4 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
	Pendofort *	K1	4 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
	Pendifix 33 EC*	K1	4 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
S-métolachlore	Dual Gold 960 EC	K3	1,5 l/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
	Signal Gold 96 EC	K3	1,5 L/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
	Strim	K3	1,5 L/ha	Dicotylédones et graminées annuelles
Triallate	Avadex Factor	N	3,6 L/ha	Graminées annuelles

*: Produits homologués sur tournesol au Maroc

5.2.2. Herbicides de post-levée

Contrairement aux herbicides de post-semis ou pré-levée, ceux de post-levée sont utilisés après la levée des adventices et du tournesol. Cette catégorie d'herbicides permet d'abord de dépasser les contraintes du sol qui compromettent l'efficacité et la sélectivité des herbicides de pré-levée, de choisir les herbicides sur la base de la flore adventice visiblement présente dans une parcelle et de moduler leurs doses en fonction de l'infestation et le stade des adventices. En outre, les herbicides de post-levée permettent de rattraper la non réalisation ou l'échec de désherbage chimique de pré-levée. Les herbicides de post-levée sont absorbés par les feuilles ou par les feuilles et les racines, et par voie de conséquence, ils arrêtent la croissance et le développement des adventices traitées (Bouhache, 2020). Ainsi, ces herbicides ne contrôlent pas la levée échelonnée des adventices et ils sont sensibles aux conditions climatiques. Pour réussir un désherbage de post-levée, il faut que les adventices soient très jeunes et non stressées. En outre, l'humidité relative de l'air doit dépasser 70%, le sol suffisamment humide et la température au moment de traitement comprise entre 10 et 20°C (Bouhache, 2020). Aucun herbicide de post-levée n'est homologué sur le tournesol au Maroc. Cependant, plusieurs matières actives graminicides de post-levée (disponibles sur le marché et utilisées sur plusieurs cultures) peuvent être utilisées pour le désherbage du tournesol: les cyclohexanediones ou « dimes » comme cléthodime, cycloxydime, tépraloxydime, etc... et les aryloxyphénoxypropionates ou « fops » comme fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, etc. Tous ces herbicides inhibent l'enzyme acétyl coenzyme A carboxylase (ACCase) qui catalyse la première étape de la synthèse des acides gras (Code HRAC A).

6. Conclusion

Le Maroc importe la quasi-totalité de ses besoins en matières premières de la filière des produits oléagineux. Les principales espèces oléagineuses annuelles cultivées au Maroc sont le tournesol, le colza, l'arachide, le carthame et le soja. Le tournesol est, avec le colza et l'olivier, l'une des trois sources principales d'huile alimentaire au Maroc. Jusqu'à maintenant, le tournesol reste la principale culture oléagineuse annuelle cultivée au Maroc. Malgré l'augmentation substantielle de la sole réservée au tournesol, les rendements enregistrés n'ont cependant pas connu le même essor. Cette faiblesse des rendements trouve sa justification dans plusieurs problèmes entre autres le contrôle insuffisant des mauvaises herbes. La flore adventice présente dans nos champs (197 espèces) est très riche, diversifiée et dominée par les annuelles dicotylédones d'origine méditerranéenne. L'envahissement par les mauvaises herbes a eu des effets dépressifs sur la croissance, le développement et le rendement du tournesol. La culture de tournesol est très sensible à la concurrence des mauvaises herbes durant les 40 jours qui suivent la levée. En cas d'absence de tout contrôle des adventives, les pertes du rendement pourraient dépasser 90,% par rapport au tournesol maintenu propre le long de son cycle. Pour atténuer l'effet dépressif des adventices, l'agriculteur marocain dispose d'une panoplie de solutions, méthodes ou techniques pour contrôler les adventices dans la culture du tournesol: les techniques culturales (dates de semis, choix des variétés, binage sarclage, etc.) et le désherbage chimique (post-semis, pré-levée, post-levée de la culture ou leur combinaison). En matière de désherbage chimique, cinq matières actives (aclonifene, métobromuron, pendiméthaline, s-métolachlore et triallate) sont à la base de la totalité des herbicides de post-semis ou pré-levée homologués ou utilisables pour le désherbage du tournesol. Cependant, aucun herbicide de post-levée n'est homologué sur le tournesol.

Références

- ACTA (2019) Index Phytosanitaire 55^{ème} édition, Acta éditions, Paris, France.
Anonyme (1995) Le tournesol. CETIOM, Paris.
Anonyme (1996) Données agricoles. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, Rabat, Maroc.
Anonyme (2018) Fiche technique: La culture du tournesol. Transfert de Technologie en Agriculture.

- Anonyme (1997) La culture du tournesol évolution des superficies et des productions globales et régionales. Statistiques du MAMVA.
- Anonyme (2022a) Filière oléagineuse. Ministère de l'Agriculture. <https://www.agriculture.gov.ma/fr/filiere/oleagineuses>
- Anonyme (2022b) Tournesol-Définition-Explications. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Tournesol.html>
- Azeroual A. & Boudafaat B. (1985) Effet de la densité et du désherbage sur le rendement du tournesol. Mémoire de fin d'études, option techniques et développement, ENA, Meknès.
- Benbaza T., El Midaoui M., Taleb A. & Bouhache M. (1999) Comparaison de stratégies de désherbage du tournesol (*Helianthus annuus* L.) dans le Saïss. Journée Nationale sur le désherbage des cultures oléagineuses, pp. 79-84.
- Bouhache M. & Boulet C. (1984) Etude floristique des adventices de la tomate dans le Souss. Homme Terre et Eaux, 14: 37-49.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc, Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Boujghagh (1988) La principale culture oléagineuse au Maroc, le tournesol problèmes posés et solutions proposées. Al Awamia, 64: 127-138.
- Boulet C., Tanji A. & Taleb A. (1989) Index synonymique des taxons présents dans les milieux cultivés ou artificialisés du Maroc occidental et central. Actes Inst. Agron. Vét., (Maroc), 9 (3 & 4): 65-94.
- Careme C. (1990) Les adventices des cultures méditerranéennes en Tunisie: leurs plantules, leurs semences. Pub. Agricole 26, INRA de Tunisie et Station de la défense des cultures du nord Beja, 399 p.
- Cordeau S., Dessaint F., Denieul C. & al. (2016) La nuisibilité directe des adventices en grandes cultures: quelles réponses nous apportent les essais désherbage ? AFPP – 23^{ème} conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, France.
- Daniau P (1988) Quelques règles simples pour désherber le tournesol. Cultivar, 229: 23-24.
- Delataille G. (1984) Binage du tournesol, complément indispensable. CETIOM, N° 169, p. 109.
- El Abdellaoui I. (1998) Etude botanique, agronomique et écologique de la flore adventice du tournesol (*Helianthus annuus* L.) dans le Saïss et le Gharb (Maroc). Mémoire de fin d'études, ENA, Meknès, 99 p.
- El Asri M. (1995) Le tournesol dans le Saïss. INRA de Saïss-Moyen Atlas, Agri. Contact, n°3.
- El Qortobi A. (2001) Effet des méthodes de désherbage, des paramètres de pulvérisation et du milieu sur la maîtrise des mauvaises herbes du tournesol dans la région de Meknès. Thèse doctorat ès-sciences agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 226 p.
- El Qortobi A., Homy K., Bouhache M. & Chekli H. (1999) Conduite de désherbage du tournesol dans la région de Meknès. Journée Nationale sur le désherbage des cultures oléagineuses, pp.61-69.
- Favier J.F. (1986) Le désherbage du tournesol. Phytoma, défense des cultures, pp. 25-29. <https://www.agrimaroc.net/2018/07/22/fiche-technique-la-culture-du-tournesol/2/>
<https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/chiffres-cles-oleagineuses>.
- Jackson D., Cherrou Y. & Santos N. (2016) Étude du secteur des oléagineux au Maroc. BERD/FAO.
- Jestin C. (2019) Tournesol: Mieux connaître l'orobanche cumana. Terres Inovia. <https://www.terresinovia.fr/-/mieux-connaître-l-orobanche-cumana>
- Loudyi M.C. (1987) Caractéristiques de la flore du tournesol de la région de Meknès (Document non publié).
- Nabloussi A. (2018) Orobanche du tournesol au Maroc. INRA Meknès Magazine. Périodique d'information du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès.
- Nalewaja J.D., Collins D.M. & Swallers C.M. (1972) Weeds in sunflower. N.D. Tarm. Res., 29(6):3-6.
- ONSSA (2022) Index phytosanitaire. <http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx>
- Quezel P. & Santa S. (1962-1963) Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris, 2 tomes, 1170 p.
- Raunkiaer C. (1905) Types biologiques pour la géologie botanique. Bull. Acad. R. Danemark, 5: 347-437.

- Saada A. (1989) Désherbage chimique du tournesol (Essai au champ). Mémoire de fin d'études, option Productions Végétales, ENA, Meknès.
- Saffour K. (1997) Mauvaises herbes du tournesol dans le Saïss: aspects botanique, agronomique et écologiques. Mémoire CEA, Faculté des Sciences de Tétouan.
- Sattin M. & Berti A. (2005) Paramètres pour la compétition mauvaisesherbes-culture. In: Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement volume 1, Labrada R. (éd), pp. 21-38, FAO, Rome, Italie.
- Szente K., Tuba Z., Nagy Z. & Csintalan Z.S. (1993) Ecophysiological approach to competition between *Amaranthus chlorotachys* and sunflower (*Helianthus annuus* L.) under thought stress. Weed Research, 33: 11-129.
- Taleb A. (1989) Etude de la flore adventice des céréales de la Chaouia (Maroc). Aspects botanique, agronomique et écologique. Thèse de docteur ingénieur, ENSA, Montpellier (France), 96 p.
- Taleb A. & Maillet J. (1994) Mauvaises herbes des céréales de la Chaouia (Maroc), I. Aspect floristique. Weed Research, 34: 345-352.
- Taleb A., El Midaoui M. & El Abdellaoui I. (1999) Diversité et importance des mauvaises herbes du tournesol dans le Gharb et le Saïss. Journée Nationale sur le désherbage des cultures oléagineuses, pp. 13-21.
- Tanji A., Taleb A. & Boulet C. (1989) Diversité systématique des adventices du Maïs non irrigué en zone semi-arides. Actes Inst. Agrono. Vét. (Maroc), 9(3 & 4): 29-33.
- Vivier B. (1993) Tournesol: intérêt, mise en place. Cultivar, 197: 57-59.
- Vuillemin F. & Duroueix F. (2020) Gestion des adventices difficiles en tournesol et en soja. <https://www.terresinovia.fr/-/gestion-des-adventices-difficiles-en-tournesol-et-en-soja>.
- Wahbi M., Taleb A. & Boulet C. (1986) Inventaire et caractéristiques botaniques et phyto-sociologiques des espèces adventices des céréales dans la plaine des Abda (Maroc). Projet de développement intégré ABDA-AHMAR, Vol. 8, M.A.R.A, D.P.V., Rabat, Maroc.
- Warkayehu T. & Zemicael B. (1992) Agronomy and weed research on sunflower in Ethiopia. Oilseeds research and development in Ethiopia. Adis Abeba, IAR, pp. 728-734.
- Zimdahl R.L. (2004) Weed-Crop Competition - A review. Blackwell Publishing, 2d Edition, IOWA, USA, 229 p.

Page laissée vierge

Gestion des adventices du colza

Abdelwahed MAATAOUI

1. Introduction

1.1. Importance du colza dans le monde

Comme les choux, le navet ou le rutabaga, le colza appartient à la famille des Brassicacées (crucifères). La culture du colza (*Brassica napus* L.) est une espèce annuelle ou bisannuelle (Gulden & al., 2008) et elle est la deuxième graine oléagineuse produite dans le monde notamment dans les régions froides et tempérées de l'hémisphère Nord (Anonyme, 2020a). Sa production de 60,7 millions de tonnes (Mt) en 2020 se classe après celle du soja (338 Mt), mais avant celle du tournesol qui a été de 56 Mt (FAO, 2020; Anonymes, 2021a, 2021b). Les deux principales zones de production de colza dans le monde sont le Canada avec 18,7 Millions de tonnes (Mt) en 2020 (Fig. 1) et l'Union Européenne avec 17 Mt (FAO, 2020; Anonyme 2021b). On trouve ensuite, la Chine avec une production d'environ 5 Mt, devant l'Ukraine avec 3,47 Mt, l'Australie avec 2,33 Mt et la Russie avec 2 Mt (FAO, 2020). Deux cycles de production de colza sont habituellement connus. Le colza d'hiver nécessite 11 à 12 mois de culture (août-juillet/août) dans l'hémisphère Nord, et le colza de printemps des régions tempérées est produit en 6 à 7 mois (avril-août/septembre). Au Maroc, ce sont les variétés de printemps qui sont semées en octobre-novembre.

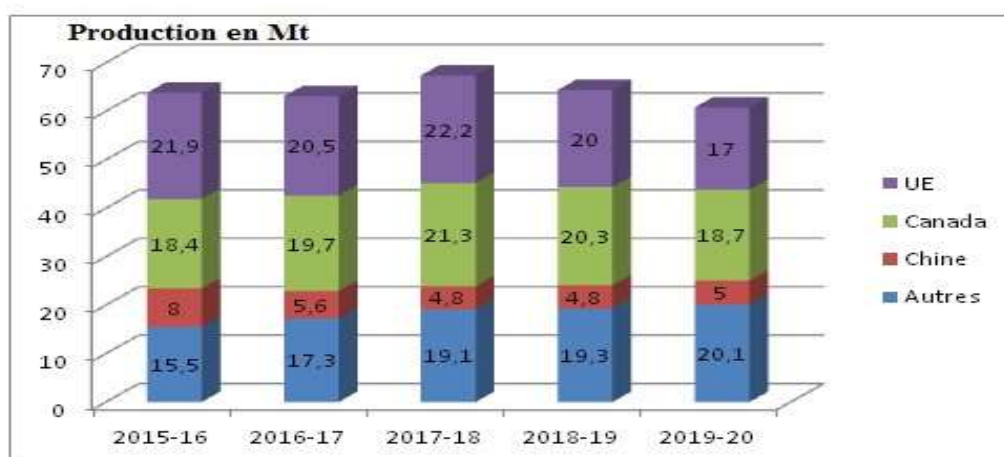


Figure 1: Production mondiale du colza entre 2015 et 2020 (Terres Univia, Oil world et AgriCanada).

L'huile de colza est la troisième huile la plus consommée au monde avec 24 Mt/an, derrière l'huile de palme et l'huile de soja. L'Europe est la première zone de consommation d'huile de colza (Daun & al., 2011). Cette huile contient de l'acide oléique (60%), de l'acide linoléique (22%) et 10% de l'acide linolénique (Edwards, 201; Bocianowski & al., 2012; Thiyam-Holländer & al., 2013). Sa grande valeur nutritionnelle est due à sa composition en acides gras notamment linoléique; ce qui en fait une importante source naturelle d'acides gras oméga-3 (Bourre, 2003). Au Canada, le terme canola est défini comme une huile contenant moins de 2% d'acide érucique et moins de 30 µmol de glucosinolates par gramme de tourteau toasté déshuilé (Rose et Bell, 1982; Rakow, 2000; Canola Council of Canada 2014). Les débouchés, autres que l'alimentation humaine sont nombreux. Certaines variétés sont consommées par les animaux en tant que plantes fourragères. Quant aux tourteaux du colza, ils ont des qualités nutritionnelles intéressantes car ils sont bien équilibrés en certains acides aminés essentiels (méthionine et cystéine) et bien pourvus en lysine et en sels minéraux (Anonyme, 2004 b). De ce fait, ils sont utilisés dans la ration alimentaire des bovins, des ovins, des caprins et des volailles (Daun & al., 2011). En industrie, l'huile de colza est réputée biodégradable et renouvelable. Ainsi, elle

est employée comme carburant pour les moteurs diesel, comme agent antimousse et comme adjuvant pour les herbicides, etc. (Daun & al., 2011; Ferell, 2014; Hebert, 2020).

1.2. Importance de la culture du colza au Maroc

Le colza a été adopté au Maroc au début des années 80. En 1982, la superficie cultivée en colza a été de 193 ha, dont 66,3% au Gharb, 13% au Saïs, 12,4% à Khémisset et 8,3% au Loukkos (Anonymes, 1992-2000). En 1986, la superficie cultivée (1140 ha) a été limitée au Saïs (98,9%) et au Gharb (1,1%). Elle a atteint un maximum de 4000 ha en 1990 et à partir de 1999, les superficies emblavées en colza ont chuté à 300 ha (Anonymes, 1992-2000). Chaque année, la superficie récoltée a été inférieure à la superficie semée en raison de contraintes techniques (Anonyme, 1992-2000). En 2013, la superficie emblavée en colza a été d'environ 528 ha, puis a atteint 10.304 ha en 2019 et environ 9.042 ha en 2020 (MAPM, 2021). Les rendements enregistrés ont été de 8,8 à 10 qx/ha (MAPM, 2021). Cette faiblesse des rendements s'explique, entre autres, par la non maîtrise de la gestion des adventices notamment les crucifères.

2. Caractérisation de la flore adventice

Comparativement aux grandes cultures pratiquées au Maroc, la culture du colza pourrait être considérée comme étant une culture toute récente dans notre assolement. De ce fait, il est difficile de parler d'association adventices-culture. Ceci pourrait être expliqué entre autres par l'utilisation restreinte des herbicides comme méthode de désherbage et par l'effet remarquable des conditions pédoclimatiques sur la répartition des adventices (Bouhache, 2021). Malgré cela, une tentative de caractérisation de la flore adventice du colza est faite sur la base de deux études floristiques, l'une réalisée dans la région de la Chaouia (Tanji et El Brahli, 2018) et l'autre dans la région du Saïss (Bah Thierno, 1990). Au total, 139 et 238 espèces d'adventices ont été inventoriées respectivement dans la Chaouia et au Saïss. Dans les deux régions, la flore adventice est dominée par les annuelles et la classe des dicotylédones. La presque totalité des espèces de la classe des monocotylédones est représentée par la famille des graminées (*Poaceae*) sans oublier les repousses des blés et de l'orge. Uniquement, 60 espèces peuvent être considérées comme préoccupantes ou fréquentes dans les champs du colza (Tableau 1).

L'importance de ces espèces a été déduite sur la base de leurs fréquences relatives. Sur la base de ce critère, seules les espèces ayant une fréquence supérieure à 20% sont retenues. Les champs du colza dans la Chaouia renferment plus d'espèces que ceux du Saïs avec 23 espèces communes entre les deux régions (Tableau 1). Cette richesse est notée également au niveau parcellaire du moment que le nombre d'espèces adventices par champ prospecté dans la Chaouia oscillait entre 8 et 34 espèces avec une moyenne de 22 adventices/champ (Tanji et El Brahli, 2018). En conséquence, la flore adventice du colza n'est pas très différente de celle des grandes cultures automnales. En effet, environ 47 et 36 des principales espèces du colza dans les deux régions; Chaouia et Saïs; sont communes respectivement avec celles des céréales et de la betterave à sucre.

Tableau 1: Principales adventices du colza (Bah Thierno, 1990; Tanji et El Brahli, 2018).

Espèces	Familles botaniques	Classes botaniques	Régions	
			Saïss	Chaouia
Vivaces				
<i>Arisarum vulgare</i> Targ.-Tozz.	<i>Araceae</i>	Monocotylédone		x
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone	x	x
<i>Cynodon dactylon</i> L.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	x
Annuelles				
<i>Anaallis arvensis</i> L.	<i>Primulaceae</i>	Dicotylédone	x	x
<i>Astragalus boeticus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone		x
<i>Avena sterilis</i> L.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	x	x
<i>Beta macrocarpa</i> Guss.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone		x
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone		x

Tableau 1 (suite)

<i>Bromus hordeaceus</i> L.	Poaceae	Monocotylédone	x	
<i>Bupleurum lancifolium</i> Hornem.	Apiaceae	Dicotylédone		x
<i>Calendula arvensis</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone	x	
<i>Calendula stellata</i> Cav.	Asteraceae	Dicotylédone		x
<i>Catapodium rigidum</i> (L.) Hubb.	Poaceae	Dicotylédone		x
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	Brassicaceae	Dicotylédone	x	
<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	Dicotylédone	x	
<i>Chenopodium murale</i> L.	Chenopodiaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Chenopodium vulvaria</i> L.	Chenopodiaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone	x	x
<i>Chrysanthemum segetum</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone	x	
<i>Cichorium intybus</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone	x	x
<i>Diplotaxis tenuisiliqua</i> Delile.	Brassicaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	Polygonaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Eryngium ilicifolium</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone		x
<i>Fumaria agraria</i> Lag.	Papaveraceae	Dicotylédone		x
<i>Fumaria officinalis</i> L.	Papaveraceae	Dicotylédone	x	
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	Papaveraceae	Dicotylédone	x	x
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	Rubiaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Galium verrucosum</i> Huds.	Rubiaceae	Dicotylédone	x	
<i>Glaucium corniculatum</i> (L.) J.H.R.	Papaveraceae	Dicotylédone	x	x
<i>Herniaria cinerea</i> DC.	Caryophyllaceae	Dicotylédone		x
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	Lamiaceae	Dicotylédone	x	
<i>Lathyrus cicera</i> L.	Fabaceae	Dicotylédone	x	
<i>Leontodon saxatilis</i> Lam.	Asteraceae	Dicotylédone		x
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	Poaceae	Monocotylédone	x	x
<i>Malva hispanica</i> L.	Malvaceae	Dicotylédone	x	
<i>Malva parviflora</i> L.	Malvaceae	Dicotylédone		x
<i>Medicago polymorpha</i> L.	Fabaceae	Dicotylédone	x	
<i>Melilotus sulcatus</i> Desf.	Fabaceae	Dicotylédone		x
<i>Misopates orontium</i> (L.) Rafin.	Scrofulariaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Papaver hybridum</i> L.	Papaveraceae	Dicotylédone	x	x
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Papaveraceae	Dicotylédone	x	x
<i>Phalaris brachystachys</i> Link	Poaceae	Monocotylédone	x	x
<i>Phalaris minor</i> Retz.	Poaceae	Monocotylédone		x
<i>Phalaris paradoxa</i> L.	Poaceae	Monocotylédone	x	
<i>Plantago afra</i> L.	Plantaginaceae	Dicotylédone		x
<i>Polycarpon tetraphyllum</i> (L.) L.	Caryophyllaceae	Dicotylédone		x
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Polygonaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Brassicaceae	Dicotylédone		x
<i>Ridolfia segetum</i> Moris	Apiaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	Apiaceae	Dicotylédone		x
<i>Scolymus maculatus</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone		x
<i>Scorpiurus muricatus</i> L.	Fabaceae	Dicotylédone		x
<i>Silene nocturna</i> L.	Caryophyllaceae	Dicotylédone		x
<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Asteraceae	Dicotylédone		x
<i>Spergula arvensis</i> L.	Caryophyllaceae	Dicotylédone		x
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.	Apiaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Vaccaria hispanica</i> (Mill.) R.	Caryophyllaceae	Dicotylédone	x	x
<i>Veronica polita</i> Fr.	scrofulariaceae	Dicotylédone	x	
<i>Vicia sativa</i> L.	Fabaceae	Dicotylédone	x	

3. Impact de la flore adventice sur le colza

Comme chez toute culture, les effets de la flore adventice peuvent être directs et ou indirectes. Ces adventices peuvent influencer le rendement grain et/ou la qualité du produit récolté. Elles en résultent des pertes économiques dues à la chute du rendement, l'altération de la qualité de la récolte, l'entrave de certaines pratiques culturales et/ou l'hébergement d'autres ennemis de la culture.

3.1. Effets directs

3.1.1. Impact sur le rendement

Les pertes de rendement du colza dues aux mauvaises herbes sont très variables. Elles induisent donc une pression de compétition variable sur le colza qui pourrait être caractérisée par le concept de la période critique de compétition ou désherbage. Cependant, la période critique de compétition varie avec le site, l'année, la variété, la date et la densité de semis, la structure de peuplement de la culture mais également avec la densité et l'importance relative des espèces adventices (Burnside, 1979; Zimdahl, 1980; Teasdale et Franck, 1983; Bouhache, 2021). Au Canada, les pertes de rendement, sur trois années d'études, du témoin infesté du canola par rapport au témoin propre ont varié de 8,1 à 35,7% (Harker, 2001). Ces chutes de rendement deviennent plus importantes quand les mauvaises herbes émergent simultanément avec le colza et quand les ressources du milieu sont limitées. En effet, la compétition due à *Raphanus raphanistrum* aux densités de 4 et 60 plantes par mètre carré a entraîné des réductions de rendement successives de 9–11% et 77–91% (Blackshaw & al., 2002). De même, Chow et Dorrel (1979) ont montré que les réductions du rendement du colza infesté par la folle avoine par rapport au témoin ont varié de 25 à 66%. Au Maroc, les réductions de rendement dues aux adventices ont été variables (Tableau 2). En effet, les pertes de rendement des parcelles non désherbées par rapport aux parcelles maintenues propres ont été de 26,7% dans le Loukkos, 50,6% dans le Gharb, 56,2 à 80,6% dans le Sais (Anonyme, 1989b; Bouhache & al., 1993; Maataoui & al., 1998, 1999).

Tableau 2: Evaluation des pertes de rendements grain du colza dues aux mauvaises herbes dans le Sais, Gharb et Loukkos.

Site	Variété	Adventices dominantes	Perte de rendement (%)	Références
Sais	Optima	<i>Lamium amplexicaule</i> L., <i>Stellaria media</i> (L) Vill, <i>Urtica urens</i> L., <i>Chrysanthemum coronarium</i> L. et <i>Papaver rhoeas</i> L.	56,2	Bouhache & al. (1993)
Gharb	Optima	<i>Torilis nodosa</i> (L) Gaertner, <i>Chenopodium album</i> L., <i>Fumaria parviflora</i> Lam., <i>Cichorium endivia</i> L. et <i>Beta macrocarpa</i> L.	-	Bouhache & al. (1993)
Loukkos	Kabel	<i>Hordeum vulgare</i> L., <i>Anagallis arvensis</i> L., <i>Sonchus. oleraceus</i> L. et <i>Ammi. majus</i> L.	26,7	Maataoui & al., (1998)
Sais	Kabel	<i>Sinapis. arvensis</i> L., <i>Chrysanthemum. coronarium</i> L., <i>Medicago polymorpha</i> L., <i>P. rhoeas</i> L. et <i>Fumaria parviflora</i> Lam.	80,6	Maataoui & al., (1999)
Gharb	Drekkar	-	50,6	Anonyme (1989b)
Sais	Optima	-	64,1	Anonyme (1989b)

A l'échelle internationale, le colza a été rapporté comme étant aussi parasité par l'orobanche. La gamme d'aires d'existence de cette plante parasite est vaste et comprend les zones sèches et chaudes d'Europe, d'Afrique et d'Asie (Punia, 2014). La gamme de cultures parasitées est aussi diversifiée principalement des espèces de légumineuses, d'oléagineux, de solanacées, de crucifères et de plantes médicinales (Punia, 2014; Singh, 2018). Il s'agit d'une espèce holoparasite racinaire dépourvue de chlorophylle et entièrement dépendante de l'hôte pour ses besoins nutritionnels (Habimana & *al.*, 2014). Les réductions de rendement du colza dues à *Orobancha ramosa* à l'échelle internationale varient de 5 à 100% (Singh, 2018; Jestin & *al.*, 2014). Cette espèce a été aussi relevée au Maroc sur la culture de colza par Bouhache (Photo 1, commun. personnelle) et il constituerait une menace potentiellement sérieuse pour l'avenir du colza au Maroc.



Photo 1: Racines du colza parasitées par *Orobancha ramosa* à Agourai (Meknès) (Photo, Bouhache).

3.1.2. Période critique de désherbage du colza

La détermination de la période critique de compétition est fondamentale pour le praticien pour raisonner l'opération de désherbage. En effet, il s'agit, pour une parcelle donnée, de déterminer la période pendant laquelle il faudra maintenir propre la culture pour éviter des pertes significatives du rendement. La connaissance de cette période va permettre de justifier et de cibler le désherbage, en vue de valoriser les contrôles potentiels des mauvaises herbes accompagnatrices de la culture. Elle est aussi appelée: période critique de désherbage (Bouhache, 2021). Divers travaux à l'échelle nationale et internationale ont déterminé la période critique de compétition du colza (Tableau 3).

Cas du Loukkos

Pour le colza conduit à la densité de 24 plantes/m², si une chute de rendement de 10% est tolérée, la période critique de compétition du colza avec les mauvaises herbes, serait de 458 à 720 dj base zéro après la levée du colza (Maataoui & *al.*, 2003a). Cette phase correspond à la période allant de 30 jusqu'à 52 jours après la levée de la culture. Ainsi, le rendement du colza chute de 40% quand il n'a été maintenu propre que pendant 420 dj après la levée (Maataoui & *al.*, 2003a). A la densité 36

plantes/m², si une chute de rendement de la culture de 10% est tolérée, la période critique de compétition du colza avec les mauvaises herbes s'étalerait de 480 à 720 dj après sa levée (Maataoui & *al.*, 2003a). Cette phase correspond à la période allant de 31 à 52 jours. Le rendement de la culture chute de 40% quand les mauvaises herbes ont été maintenues avec la culture pendant 500 dj après la levée (Maataoui & *al.*, 2003a).

Tableau 3: Période critique de compétition du colza avec les adventices pour une perte de rendement tolérée de 10%.

Pays	Type de culture	Densité colza	Site	Nbre jours après levée (JAL)	Somme Températures (en degrés jours base 0)	Stade
Maroc Maataoui & <i>al.</i> , (2003 a)	Automne	24 plantes/m ²	Loukkos	30-52	458-720	4F-boutons accolés
			Sais	36-63	474-738	4F-boutons accolés
		36 plantes/m ²	Loukkos	31-52	480-720	4F-boutons accolés
			Sais	35-56	468-675	4F-boutons accolés
Iran Hamzei & <i>al.</i> , (2007)		non indiquée	-	non indiquée	47-110	6F-début floraison
Canada Martin & <i>al.</i> , (2001)	Printemps	107 plantes/m ²	Ouest du Canada	17-38	-	Levée-4 à 6 feuilles

Cas du Sais

Pour le colza conduit à la densité 24 plantes/m², la période critique de compétition s'étale de 474 à 738 dj après la levée, quand une chute de rendement de 10% est admise, ce qui correspond à la période allant de 36 à 63 jours (Maataoui & *al.*, 2003a). A la densité 36 plantes/m², la période critique de compétition du colza avec les mauvaises herbes serait entre 468 et 675 dj après la levée, pour une chute tolérée de rendement de 10% (Maataoui & *al.*, 2003 a). Cette phase correspond à la période allant de 35 à 56 jours après la levée. La perte de rendement serait de 50%, si le colza n'a été maintenu propre que pendant 466 dj après sa levée. Le taux de réduction du rendement grain atteint 100% quand les mauvaises herbes n'ont pas été éliminées avant 600 dj après la levée du colza (Maataoui & *al.*, 2003a). Dans ce cas précis, il faudra remarquer que le colza a produit une certaine biomasse aérienne, mais il a été incapable de produire des graines compte tenu de la pression des mauvaises herbes. Passée cette période critique, les adventices peuvent être tolérées avec la culture mais la production de graines des adventices et le risque d'entrave de la récolte restent posés.

En Iran, selon Hamzei & *al.*, (2007), pour prévenir la chute de rendement du colza de 10%, la période critique de compétition du colza se situe entre le stade 6 feuilles et début floraison (Tableau 3) soit 47 et 110 jours après levée (JAL). D'un autre côté, selon Brandler & *al.* (2021), la période critique de compétition du canola avec les mauvaises herbes s'étend de 25 à 60 jours après émergence. Cependant, selon Martin & *al.* (2001), la période critique de compétition des mauvaises herbes du colza, conduit à de fortes densités de peuplement au Canada, s'étend de 17-38 JAL qui correspondent à la phase levée-stade quatre à six feuilles.

3.2. Effets indirects des mauvaises herbes sur le colza

Les effets indirects des mauvaises herbes sont nombreux. Ils peuvent obliger l'agriculteur, de par leur biomasse verte, à retarder la date de récolte si les pluies interviennent tardivement vers la fin du cycle

de la culture. Ce retard a pour conséquence d'augmenter les pertes à la récolte du colza dues à la déhiscence des siliques issues des premières fleurs épanouies. Les mauvaises herbes dont la taille des grains est plus ou moins similaires à celles du colza risquent d'être battues et se retrouver en mélange dans la récolte. Ce mélange est d'autant préoccupant s'il s'agit de graines de mauvaises herbes de la famille des *Brassicaceae* riches en acide érucique et en glucosinolates (Malik & *al.*, 2010; Liu & *al.*, 2013). D'autre part, les mauvaises herbes peuvent aussi héberger des ravageurs ou des maladies susceptibles de s'attaquer au colza. Les insectes en question peuvent être les cétoines, les méligèthes, les taupins, les noctuelles, la mouche du chou, les altises...mais aussi des champignons tels *Sclerotinia*, *Phoma*, l'oidium, *Alternaria*, etc. (Dimsey & *al.*, 2010; Anonyme, 2021c).

4. Gestion des adventices du colza

Une gestion durable du colza nécessite d'être fondée sur les principes d'une lutte intégrée où l'on peut combiner des méthodes de contrôles non chimiques (préventives, mécaniques, manuelles, culturales, probablement biologiques) et chimiques. Ces méthodes de contrôle des adventices peuvent être choisies en fonction de la nature et de l'intensité de l'infestation, du climat, des stades végétatifs des mauvaises herbes et de la culture, de la période critique de compétition, des ressources disponibles et des rendements objectifs (Bajwa & *al.*, 2015). Il s'agit en fait de prendre en considération toutes les méthodes de contrôle, et par conséquent, d'intégrer les mesures appropriées en tant qu'éléments de la stratégie qui limiteraient les populations de mauvaises herbes à un niveau acceptable tout en minimisant le recours aux herbicides chimiques.

4.1. Diagnostic agronomique et connaissance de la flore adventice

4.1.1. Diagnostic agronomique au préalable

Le diagnostic agronomique est un préalable nécessaire pour mieux connaître la parcelle et pour élaborer une gestion efficace des adventices. Il faudra dans une première étape maîtriser la conduite notamment la mise en place du peuplement et protection de la culture. L'intérêt du désherbage n'est évident que si le colza est bien protégé avec un peuplement acceptable (Photos 2).

Il convient ensuite de déduire, à partir du diagnostic agronomique relatif aux conduites techniques des années antérieures, les stratégies de gestion ou de désherbage des adventices opérées sur les différentes cultures de la succession ou de la rotation. Elle doit se baser sur les solutions agronomiques et/ou mécaniques qui soient complémentaires à la lutte chimique.



Photos 2: Plantules de colza attaquées par petites altises (a) et peuplement hétérogène (b).

4.1.2. Connaissance de la flore adventice de la parcelle

La connaissance de la flore des parcelles et de son niveau d'infestation (de pression) est primordiale car elle aide à définir la meilleure stratégie (Photo 3). Il faudra analyser les pratiques culturales de la rotation qui pourraient être à l'origine de cette flore problématique. En général, les principales adventices dicotylédones du colza sont les matricaires, les camomilles, le gaillet, les véroniques, les pensées, la stellaire, les lamiers, les géraniums, la fumeterre, les coquelicots, les moutardes.... En effet, la connaissance des herbicides utilisés, des modalités de préparation du sol, des succès ou des échecs en matière de désherbage observés dans les années antérieures dans le cadre de la rotation permettra de faire ressortir la flore problématique de la parcelle. Puis, il faudra disposer d'informations botaniques, techniques, physiologiques des adventices, leur niveau d'infestation, le type de sol, etc. En conséquence, il s'agira de déduire ou de déterminer les solutions agronomiques appropriées notamment les méthodes de désherbage dans le cadre d'un contrôle intégré (Photos 4) basé sur le travail du sol, les binages, le désherbage mécanique, chimique et autres leviers agronomiques, etc.



Photo 3: Colza infesté principalement par les graminées.



Photos 4: Parcelles de colza désherbées

4.2. Méthodes préventives

Il s'agit en fait de prévenir l'introduction de graines ou d'organes végétatifs susceptibles d'augmenter le stock semencier du sol en graines ou organes végétatifs des espèces déjà existantes et/ou de nouvelles espèces. En effet, toutes les semences des cultures de la succession ou de la rotation doivent être indemnes de graines de mauvaises herbes. Pour prévenir de nouvelles infestations, il est nécessaire d'observer un certain nombre de précautions:

Utiliser des semences de colza indemnes de graines de mauvaises herbes notamment celles qui sont particulièrement envahissantes,

Nettoyer les outils de travail du sol avant d'arriver sur la parcelle à préparer ou à récolter,

Nettoyer la moissonneuse-batteuse avant de passer d'une parcelle à l'autre car c'est aussi une source importante de dissémination des graines de mauvaises herbes. Il s'agirait de procéder au nettoyage de la table à grain, la base des élévateurs à grains, le cylindre et le contre batteur, les tamis, les sorties de paille, les roues et les essieux de la moissonneuse,

Commencer le battage par les parcelles les moins infestées,

Contrôler ou enlever les espèces présentes aux alentours de la parcelle, sur des terrains incultes proches de la parcelle ou près des cours d'eau avant qu'elles produisent des graines.

Enfin de compte, la prévention de l'introduction de semences de mauvaises herbes dans une parcelle où elles n'existaient pas auparavant se traduira par des économies en termes de lutte mais aussi des gains pour l'environnement au sens large.

Dans le cas de l'orobanche, les mesures préventives pour contrer la dispersion de ses graines sont primordiales (Punia, 2014). Ceci est lié à la nature de son interaction avec la culture. Ainsi, comparé aux mauvaises herbes non parasites, le contrôle de l'Orobanche est exceptionnellement difficile en raison de sa localisation souterraine sur les racines de la plante hôte mais aussi des mécanismes complexes de dispersion de ses graines, de leur germination et de leur longévité (Foy & *al.*, 1989; Linke et Saxena, 1991).

4.3. Méthodes non chimiques

Ces méthodes s'inspirent des choix techniques opérés par l'agriculteur en ce qui concerne la conduite de la culture. L'objectif de ces méthodes est de renforcer la compétitivité de la culture et/ou de réduire celles des adventices qui lui sont associées.

4.3.1. Choix variétal

Le choix de variétés ayant un pouvoir compétitif élevé, lorsqu'elles existent, aidera à renforcer les aptitudes compétitives de la culture sur les mauvaises herbes. L'utilisation de variétés de colza hybrides ayant un démarrage rapide serait une alternative intéressante et nécessaire pour renforcer la compétitivité du colza vis-à-vis des mauvaises herbes.

4.3.2. Adoption de la rotation

La rotation des cultures est un élément de conduite extrêmement utile pour la lutte contre les adventices. Ainsi, le contrôle des mauvaises herbes doit intéresser toutes les cultures de la succession ou de la rotation et doit être bien raisonnée pour être efficace. Généralement, si un problème de mauvaises herbes n'est pas solvable durant la saison d'une culture, il est fort probable de le résoudre dans le cadre d'une rotation. En effet, l'adoption de la rotation permet de diversifier la gamme de mauvaises et va prévenir ainsi le développement d'une communauté de mauvaises qui soit parfaitement adaptée au cycle de croissance d'une culture donnée (Anderson, 2007). De ce fait, la rotation va contribuer à réduire le stock semencier du sol en mauvaises herbes et préviendrait l'adaptabilité des espèces de mauvaises herbes pour devenir dominantes. Pour atteindre cet objectif plusieurs leviers agronomiques sont possibles (Koreres, 2005). Par exemple, les dicotylédones problématiques telles que les moutardes, la ravenelle, les chardons, les fumeterres, etc. doivent être bien contrôlées dans la culture graminée de la rotation. Par

conséquent, une rotation bien raisonnée selon différents critères contribuera à maîtriser les infestations des mauvaises herbes:

L'introduction de cultures de printemps ou d'été dans la rotation, quand c'est possible, limite les fortes infestations de graminées hivernales, car la période d'implantation de ces cultures n'est pas en phase avec les périodes préférentielles de levée de ces adventices. Ce déphasage défavorise (rupture du cycle) les adventices,

La diversification des cultures permet d'avoir une gamme de choix d'herbicides efficaces plus large. À l'échelle de la rotation, il est nécessaire de diversifier, dans la mesure du possible, les familles de cultures et d'introduire des cultures intercalaires (Masson & *al.*, 2021). De même, l'alternance des cultures permet à l'agriculteur de disposer de solutions agronomiques et chimiques diversifiées en termes de gamme de choix des herbicides ce qui limiterait ainsi l'apparition et le développement d'individus résistants (Masson & *al.*, 2021). Devant cette opportunité, il est possible de maîtriser relativement le contrôle des adventices et faire chuter le stock semencier du sol en graines de mauvaises herbes,

Si au moins, une culture de la rotation est une graminée, le contrôle chimique des mauvaises herbes dicotylédones probablement problématiques est relativement aisé et inversement pour le cas du colza. Si les cultures de la rotation ont des cycles différents, l'effet de sélection d'une flore adventice spécialisée adaptée au cycle d'une culture est limité. Ainsi, le contrôle des mauvaises herbes devient relativement aisé.

Dans la pratique, pour être entièrement réussi, le désherbage doit se raisonner de préférence dans le cadre d'une rotation la plus allongée possible, d'au moins trois voire quatre années. Une telle rotation aidera à réduire les pressions des maladies et des mauvaises herbes associées à la production du colza (Bushong & *al.*, 2018). En effet, les rotations courtes type colza-blé jumelées à une préparation du sol simplifiée, dans d'autres pays, a abouti souvent à une spécialisation et à une augmentation d'une flore adventice monocotylédone et dicotylédone difficilement maîtrisable. On peut déduire que pour les zones du bour favorable au Maroc, les rotations type blé/colza/blé/fèves ou blé/tournesol/blé/fèves (Jackson & *al.*, 2018) paraissent toutes indiquées pour répondre aux objectifs d'allongement de la rotation et d'amélioration de la rentabilité. Il est donc important de considérer le désherbage de la parcelle maintenant comme une assurance propriété pour les cultures suivantes ainsi si le colza est aujourd'hui infesté c'est que la culture précédente ou où les cultures précédentes l'étaient bien aussi. En effet, il est admis dans la pratique qu'il est plus facile de gérer une diversité d'adventices qu'une densité très importante d'une seule espèce.

4.3.3. Technique du faux semis couplé au semis

La technique du faux semis consiste à préparer le lit de semence sur 1 à 4 cm une à deux semaines avant le semis de manière à favoriser la levée des mauvaises herbes. Ensuite, il s'agit de contrôler soit chimiquement ou mécaniquement les plantules levées au moyen d'un pulvérisateur dissymétrique (cover crop par exemple) ou un outil animé par la prise de force. La réalisation d'un ou plusieurs faux semis doit permettre la levée et puis la destruction d'une part plus ou moins importante des mauvaises herbes de l'année. Cette technique est très réussie lorsque la pluie survient après la préparation du sol. Ainsi, la mise en place du peuplement du colza sera favorisée pendant sa phase juvénile où il est particulièrement sensible à la concurrence des adventices. Par conséquent, le retard de la date de semis évite de faire coïncider la levée de la culture avec celle des mauvaises herbes notamment celles qui lui sont problématiques. La pratique de la technique du faux semis est aussi très intéressante dans la succession céréale-colza ou pour le contrôle des adventices de la même famille (les crucifères) que la culture en absence des herbicides sélectifs.

Pour améliorer la compétitivité du colza vis-à-vis des mauvaises herbes, un autre levier consiste à augmenter la densité de semis du colza, et par conséquent, sa densité de peuplement qui contribuera à concurrencer sérieusement voire à étouffer certaines adventices. En effet, l'augmentation de la densité de semis combinée à l'adoption de la rotation a permis de réduire la croissance et la production de graines de la folle avoine à des niveaux acceptables (Harker & *al.*, 2016). De même, l'augmentation de la densité de semis du blé de 400 à 600 plantes par mètre carré a fait chuter la densité de la folle de

30% (Kolb & *al.*, 2012). En fait, le renforcement de la densité de peuplement de la culture influence à la fois la lumière interceptée par le peuplement et les ressources hydriques et minérales absorbées à partir du sol (Shapiro et Wortman, 2006). Cependant, selon Weiner & *al.* (2001), l'augmentation de la densité de peuplement apparaît en général plus reliée au changement de la lumière incidente au niveau du peuplement que le changement des ressources disponibles au niveau du sol.

4.3.4. Evaluation continue de l'infestation et possibilité de désherbages de rattrapage

Il est souvent admis que le désherbage d'automne seul du colza est rarement suffisant. À la sortie d'hiver un autre désherbage peut s'avérer nécessaire. Il convient aussi de positionner l'application des herbicides au mieux afin de bénéficier de leur potentialité sur des adventices très jeunes. Par conséquent, il convient de choisir une combinaison de différents herbicides ayant différents modes d'action probablement à actions complémentaires pour assurer un contrôle efficace des adventices ciblées. Il est recommandé de prévoir au moins deux modes d'action contre la même mauvaise herbe au cours de la même saison moyennant un herbicide ayant deux matières actives herbicides, ou un mélange extemporané compatible à la cuve ou selon des applications séquentielles.

4.3.5. Mulch

L'adoption du mulch à base de restes de cultures précédentes, sous l'hypothèse de ne pas aggraver l'ampleur des maladies fongiques et des insectes problématiques du colza, est une technique prometteuse puisque la couverture du sol limite beaucoup la germination et l'émergence des espèces de mauvaises herbes. C'est une technique applicable dans le colza conduit en semis direct.

4.3.6. Techniques d'andainage

Pour éviter les pertes à la récolte dues au retard d'arrivée des moissonneuses batteuses sur les parcelles de colza, certains agriculteurs, coupent le colza déjà mature sous forme d'andains 8 à 10 jours avant la sénescence complète des siliques. Ainsi, les plantes de mauvaises herbes à germination tardive par rapport au colza et qui n'ont pas encore atteint leur maturité sont aussi éliminées. Les graines de ces espèces n'auront pas acquis leur viabilité habituelle et seront inaptes à germer pour réalimenter le stock semencier du sol.

4.3.7. Récolte sans possibilités de ré-infestation

Il s'agit d'une technologie basée sur des systèmes de récupération des graines de mauvaises herbes ajustés à la moissonneuse. Ces modèles existent dans certains pays et consistent à minimiser le rejet de graines de mauvaises herbes sur les parcelles pour ne pas augmenter le stock semencier du sol en ces graines. Ensuite, les graines sont récupérées puis brûlées.

4.3.8. Travail du sol

Le travail du sol peut jouer un rôle très important dans le contrôle des mauvaises herbes. En effet, la grande majorité des graines de mauvaises herbes de petite taille ne peuvent pas émerger au-delà d'une profondeur de 5 à 6 cm. La charrue à socs ressort comme étant l'outil indiqué pour enfouir les graines de mauvaises à une profondeur où elles seraient incapables d'émerger à la surface du sol après une éventuelle germination. Un sol bien préparé assurera un bon contact des semences de colza avec le sol à une profondeur uniforme et favorisera une germination et un développement réguliers de la culture, ce qui va améliorer sa capacité compétitive vis-à-vis des mauvaises herbes. En outre, certains herbicides notamment de pré semis et de pré levée sont plus efficaces sur un sol bien affiné.

Les systèmes basés sur le semis direct ou des techniques de préparations simplifiées, bien qu'intéressants sur les plans économique et environnemental, accentuent généralement les salissements des parcelles et incitent à l'augmentation des doses des herbicides de pré semis appliqués. En effet, les graines des adventices sont concentrées en surface et leurs levées se trouvent favorisées

d'une part et d'autre part la présence de résidus couvrant le sol empêche l'efficacité attendue des herbicides à absorption racinaire.

4.3.9. Semis

L'opération de semis doit suivre rapidement la préparation de lit de semences pour éviter de favoriser la levée des mauvaises herbes déjà existantes dans le profil cultural et qui risqueraient d'avoir amorcé déjà le processus de germination ou d'émergence. La qualité du lit de semences est primordiale pour favoriser une profondeur de semis homogène et une levée rapide et synchrone des plantules de la culture. Sur un sol bien préparé, les mauvaises herbes lèvent aussi plus rapidement et uniformément, et sont susceptibles d'être mieux contrôlées. Ainsi, le pouvoir compétitif des plantules issues de la culture par rapport aux plantules de mauvaises herbes sera amélioré et la culture va couvrir rapidement le sol.

4.4. Méthodes chimiques

Il est presque impossible de produire le colza sans faire appel au désherbage chimique qui est une nécessité absolue. D'ailleurs, dès les années 80 une des trois principales contraintes techniques qui se sont opposées à l'extension des superficies du colza étaient la non maîtrise des mauvaises herbes qui ont accompagné la culture. Le positionnement de la date du désherbage chimique par rapport au stade de la culture et des mauvaises herbes présente au moins deux avantages à savoir son coût relativement moins élevé par rapport au désherbage manuel couplé à la qualité de l'opération et des résultats attendus si toutes les conditions relatives au choix de la matière active et des conditions d'application sont respectées. Un des stades où la culture est très sensible aux effets de la compétition des mauvaises herbes se situe au début de son cycle de croissance avant de développer un indice foliaire suffisamment important pour couvrir le sol. Malheureusement, pendant les premières années d'adoption du colza au Maroc, la gamme de choix des herbicides homologués a été très restreinte et a contribué à freiner voire à faire chuter les superficies. Actuellement, divers herbicides sont homologués sur le colza.

4.4.1. Choix d'herbicides homologués

Actuellement, une gamme assez importante d'herbicides est disponible pour les agriculteurs produisant le colza. En effet, les herbicides homologués sur le colza à cette date, sont au nombre de sept (Tableau 4). Quatre de ces herbicides sont des antigraminées et trois sont à la fois antigraminées et antidicotylédones. Il s'agit d'Agil, Butisan ® Avant, Cleranda, Devin, Focus Ultra, Kartouche 60 WG, Lontrel Extra (Tableau 4). Quatre parmi ces herbicides sont composés d'une seule matière active à savoir Agil, Devin, Focus Ultra et Kartouche 60 WG. Les trois herbicides restants; Butisan ® Avant, Cleranda et Lontrel Extra possèdent respectivement trois, deux et trois matières actives. L'herbicide Butisan ® Avant possède deux sites d'action et Cleranda en possède deux également. L'herbicide Lontrel Extra, bien que composé de trois matières actives, possède un seul site d'action. L'alternance du site d'action des herbicides au cours des années peut réduire ou aider à ralentir le développement de la résistance aux herbicides. Lorsque deux applications d'herbicides sont effectuées sur une culture la même année, il est recommandé d'éviter d'utiliser des herbicides ayant le même site d'action. L'apparition de la résistance peut être évitée également en procédant à des mélanges ou des traitements herbicides séquentiels à complémentarité des matières actives ayant différents sites d'action. Ceic permettra de contrôler les mauvaises herbes notamment celles qui sont problématiques.

Herbicides antigraminees

Agil, Devin et Focus ultra: ce sont des herbicides de post émergence destinés à contrôler les mauvaises herbes graminées. Ils sont absorbés par les feuilles des graminées, puis véhiculés par la sève jusqu'aux méristèmes. Le site d'action de ces herbicides repose sur l'inhibition de l'acetyl CoA-carboxydase (ACCase) qui catalyse la première étape de la synthèse des acides gras. Ils induisent

un retard de croissance, suivie d'un flétrissement et de la nécrose des régions méristématiques des plantules de mauvaises herbes graminées (Lichtenthaler, 1990). L'herbicide Agil appartient à la famille des arylophenoxy-propionates (Fops). Les herbicides Devin et Focus Ultra appartiennent à la famille des cyclohexanediones. Ces trois herbicides contrôlent les graminées annuelles à la simple et vivaces à la double dose (ONSSA, 2021).

Kartouche 60 WG: c'est un herbicide qui appartient à la famille des carbamates. Il inhibe la division cellulaire, l'organisation des microtubules et leur polymérisation. Son application est recommandée en post-émergence des mauvaises herbes lorsque le colza a développé 3 à 4 feuilles (ONSSA, 2021).

Tableau 4: Herbicides homologués pour le désherbage du colza au Maroc (ONSSA, 2021).

Nom commercial	Formulation	Matière active et teneur	Usage	Dose
AGIL	Concentré émulsionnable (EC)	Propaquizafop (100 g/l)	Adv. Gram. annuelles	0,5 l/ha
BUTISAN® AVANT	Suspension-émulsion (SE)	Métazachlore (300 g/l) + Dimethenamid-p (100 g/l) + Quinmérac (100 g/l)	Adv. Dicot. et Gram. annuelles	2 l/ha
CLERANDA	Suspension concentrée (SC)	Métazachlore (375 g/l) + Imazamox (17.5 g/l)	Adv. Gram. et Dicot. annuelles	2 l/ha
DEVIN	Concentré émulsionnable (EC)	Cycloxydime (100 g/l)	Adv. Gram. annuelles	2 L/ha
FOCUS ULTRA	Concentré émulsionnable (EC)	Cycloxydime (100 g/l)	Adv. Gram. annuelles et vivaces	2-4 l/ha
KARTOUCHE 60 WG	Granulé à disperser dans l'eau (WG)	Carbétamide (60%)	Adv. Gram. annuelles	3,5 kg/ha
LONTREL EXTRA	Concentré soluble (SL)	Aminopyralide (40 g/l) + Clopyralide (240 g/l) + Piclorame (80 g/l)	Adv. graminées et Dicot. annuelles	0,2 l/ha

Adv: Adventice; Gram.: Graminée; Dicot.: Dicotylédone

Antigraminées et antidicotylédones

Cleranda: cet herbicide contient deux matières actives à savoir Imazamox et le métazachlore. Il est utilisable exclusivement sur les variétés Clearfield qui tolèrent l'imazamox. L'Imazamox appartient à la famille des imidazolinones et il est absorbé par les jeunes plantules où il provoque l'inhibition de l'ALS (Acetolactate Synthase). Ceci a pour conséquence le blocage de la synthèse d'acides aminés (valine, leucine et isoleucine). Par contre, le métazachlore de la famille des Chloroacétamides inhibe principalement la formation des acides gras à longue chaîne. Cela entraîne l'inhibition de la division cellulaire et les plantules deviennent par conséquent rabougries et déformées. L'absorption du métazachlore par les graminées et les dicotylédones en germination se fait par voies racinaires et par voie de la pousse en développement (Matthes & al., 1998). Cet herbicide est utilisé exclusivement sur les variétés de colza Clearfield et non sur les variétés habituelles (Photo 5).



Photo 5: Utilisation de l'herbicide Cleranda sur colza « clearfield » variété solar (Photo, Bouhache)

Butisan ® Avant: c'est un herbicide qui contient trois matières actives, le Dimethenamid-p, le métazachlore et le Quinmérac. Le Dimethenamid-p appartient à la famille des chloroacétamides dont le site d'action est l'inhibition de la synthèse des longues chaînes d'acides gras, et par conséquent, l'inhibition de la croissance aérienne des plantes de mauvaises herbes (Zimdahl, 2007). Le métazachlore appartient à la famille des chloroacétamides. Il inhibe la synthèse des acides gras. Il s'agit d'une matière active applicable en pré ou en post émergence précoce. Il pénètre dans la plante à travers les racines, l'hypocotyle et les cotylédons des plantules en germination et ou en émergence. L'herbicide est actif contre les mauvaises herbes graminées et dicotylédones (Matthes & *al.*, 1998). La matière active Quinmérac appartient à la famille des acides carboxyliques quinoline. Elle a un effet auxinique. La plantule de mauvaise herbe traitée se caractérise par une épinastie des tiges et des feuilles, un retard de la croissance des racines et surtout de la partie aérienne et une réduction de la consommation d'eau (Scheltrup & *al.*, 1995).

Les essais conduits au Loukkos et au Sais ont montré l'efficacité supérieure du métazachlore, par rapport à la trifluraline, le butam, l'alachlore et le dimetachlore, sur les mauvaises herbes. Cependant, cette matière active n'a pas contrôlé correctement les espèces les plus dominantes du point de vue biomasse; à savoir *Silybum marianum*, *Chrysanthemum coronarium*, *Sinapis alba* et *S. arvensis* (Maataoui & *al.*, 2003b).

Lontrel Extra: c'est un herbicide qui contient trois matières actives destinées à contrôler les mauvaises herbes graminées et dicotylédones annuelles: l'Aminopyralide, la Clopyralide et le Piclorame. Ces substances actives ont une action comparable à celle de l'auxine. Elles dérèglent les processus métaboliques de la croissance de la plante traitée. Sa fixation au site de réception normalement utilisée par les hormones de croissance naturelles a pour résultat des tiges et des feuilles courbées et tordues et enfin la mort des plantes sensibles (Bukun & *al.*, 2009). Cet herbicide est appliqué au stade boutons floraux « étoilés » du colza et sur des mauvaises herbes ayant développé environ trois feuilles (ONSSA, 2021).

4.4.2. Prévoir d'autres techniques si une application herbicide a échoué

Si un herbicide de prélevée n'est pas activé par la pluie ou l'irrigation avant la levée des mauvaises herbes, il est nécessaire de faire appel à une autre technique de désherbage ou d'utiliser un herbicide de post levée pour contrôler les adventices. En fait, le risque de développement de populations résistantes peut provenir de situations de fortes infestations avec un ou plusieurs échecs de désherbage les années précédentes. Par conséquent, les rattrapages ou les compléments de postlevée se raisonnent dès le début du mois de décembre moyennant l'observation de la parcelle. En outre, ces applications doivent être réalisées assez tôt car les adventices, à un stade moins jeune, risquent de devenir beaucoup moins sensibles aux herbicides. Néanmoins, les adventices vivaces sont très concurrentielles vis-à-vis des cultures car leurs capacités de compétition mais aussi de propagation sont très prononcées.

4.5. Conduite attentive des variétés tolérantes aux herbicides

L'adoption des variétés tolérantes à certains herbicides permet de contrôler les adventices sensibles à ces herbicides tels que le colza clearfield cultivé au Maroc qui est tolérant à l'imazamox. Le principe de la tolérance repose sur le fait que l'application de l'herbicide de la famille des inhibiteurs de l'ALS sur le colza tolérant à cette famille de substances n'affecte pas cet enzyme. Ainsi, le colza produira normalement les acides aminés essentiels, nécessaires à la croissance de la plante. Par conséquent, la pulvérisation de ces herbicides entraîne la sénescence uniquement des adventices notamment celles qui sont botaniquement très proches de la culture et qui étaient et la culture reste épargnée. Cette technologie à court et moyen terme est très intéressante, mais le colza risque d'être infesté par d'autres espèces ce qui pourrait aboutir à une certaine 'dérive de la flore'.

Cette technique a permis de pallier aux problèmes de certaines mauvaises herbes notamment les dicotylédones de la famille des *Brassicaceae*. Mais, les pollinisateurs tels que les abeilles et les autres insectes qui peuvent se déplacer sur plusieurs kilomètres (Lihoreau & al., 2013) constituent un risque potentiel. En effet, le taux moyen d'allogamie de *Brassica napus* avec des plantes avoisinantes dans le champ ou avec du pollen dispersé par le vent ou des insectes est de l'ordre de 30% (Beckie & al., 200; Yoshimura & al., 2006; Hüsken et Dietz-Pfeilstetter, 2007). Certains chercheurs ont identifié du pollen de *B. napus* génétiquement modifié à une distance de 2000 m de la source de départ (Cai & al., 2008). Au Canada et en Australie, des études rapportent un flux génétique de l'ordre de 0,03% entre des plantes de *B. napus* distantes de 30 mètres (Staniland & al., 2000; Rieger & al., 2002).

Il a été rapporté que les espèces *Capsella bursa-pastoris*, *Diplotaxis eruroides*, *Diplotaxis muralis*, *Diplotaxis tenuifolia*, *Raphanus raphanistrum*, *Raphanus sativus*, *Sinapis alba* et *Sinapis arvensis* entre autres peuvent s'hybrider naturellement avec *B. napus* au Canada (OECD, 2012; Warwick & al., 2009; Liu & al., 2013). Au Maroc, à la Chaouia, selon Tanji et El Brahli (2018), les *Brassicaceae* telles que *Diplotaxis tenuisiliqua*, *Sinapis arvensis* et *Raphanus raphanistrum* ont été relevés respectivement dans 62, 31 et 31% des champs prospectés. Ainsi, en vue de réduire le risque de développer des populations d'adventices résistantes aux herbicides, il est nécessaire d'adopter la lutte intégrée. En effet, la dépendance excessive vis-à-vis des herbicides peut réduire leur efficacité et conduire à l'évolution de mauvaises herbes résistantes aux herbicides (Beckie & al., 2011). Les densités de population élevées de certaines espèces de mauvaises herbes nécessitent l'apport de plus d'herbicides, mais cette utilisation encore prononcée des herbicides exacerbe le développement du problème de résistance (Holt & al., 1993; Powles & al., 1994).

5. Conclusion

Le colza est cultivé sur une surface moyenne de 10.000 ha. Comme toutes les cultures elle est infesté par un cortège floristique riche et diversifié pouvant atteindre 238 espèces d'adventices. Ces espèces induisent des pertes de rendement pouvant atteindre 80,6%. De par sa croissance juvénile lente, le colza a une période critique de compétition avec la flore adventice qui s'étend du stade quatre feuilles au stade boutons accolés. La gestion de cette flore nécessite une lutte intégrée combinant et/ou

alternant les différentes méthodes pour assurer un contrôle soutenu et retarder au maximum l'apparition de biotypes d'adventices résistants aux herbicides. La mise sur le marché des variétés Clearfield est une innovation technologique intéressante, mais il faudra une conduite attentive pour éviter l'apparition précoce d'espèces adventices ayant acquis de la résistance.

Références

- Anderson R.L. (2007) Managing weeds with a dualistic approach of prevention and control. *Agron. Sustain. Dev.*, 27: 13-18.
- Anonyme (1989a) Fiche technique colza. COMAPRA, Rabat, 15 p.
- Anonyme (1989b) Synthèse des résultats des expérimentations sur le colza. COMAPRA, doc ronéo, 6 p.
- Anonymes (1992-2000) Bilan des campagnes agricoles, Rapport Annuel du Service des cultures industrielles, Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et des Pêches Maritimes, Rabat, Maroc.
- Anonyme (2001) Bilan de la campagne 2000-2001. Division des cultures industrielles/service des plantes oléagineuses et textiles. Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et des Pêches Maritimes, Rabat, Maroc.
- Anonyme (2020) Statistiques Oléagineux et plantes riches en protéines. L'interprofession des huiles et protéines végétales. Terres Univia, oil world et AgriCanada.
- Anonyme (2021a) Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service/USDA. Global Market Analysis, 38 p.
- Anonyme (2021b) Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service/USDA. <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new>.
- Anonyme (2021c) www.terresinovia.fr/diagnostiquer-les-maladies-foliaires-sur-colza.
- Auld B.A., Hetherington S.D. & Smith H. E. (2003) Advances in bioherbicides formulation. *Weed Biol. Manage.*, 3: 61-67.
- Bah Thierno O. (1990) Mauvaises herbes et désherbage chimique du colza (*Brassica napus* L.) au Maroc. Mémoire de 3ème cycle, option Protection des Végétaux, IAV Hassan II, Rabat, 176 p.
- Bajwa A.A., Mahajan G. & Chauhan B.S. (2015) Non-conventional weed management strategies for modern agriculture. *Weed Science*, 63: 723-747.
- Beckie H.J., Warwick S.I., Nair H. & Séguin-Swartz G. (2003) Gene flow in commercial fields of herbicide-resistant canola (*Brassica napus*). *Ecological Applications*, 13(5): 1276-1294.
- Beckie H.J., Harker K.N., Legere A., Morrison M.J., Swartz G.S. & Falk K.C. (2011) GM canola: The Canadian experience. *Farm Pol.*, 8: 43-49.
- Blackshaw R.E., Lemerle D., Mailer R. & Young K.R. (2002) Influence of wild radish on yield and quality of canola. *Weed Science*, 50: 344-349.
- Bocianowski J., Mikołajczyk K., & Bartkowiak-Broda I. (2012) Determination of fatty acid composition in seed oil of rapeseed (*Brassica napus* L.) by mutated alleles of the FAD3 desaturase genes. *Journal of Applied Genetics*, 53: 27-30.
- Bouhache M., Boulet C., Taleb A., Bnioukil A. & Bahthierno O. (1993) Désherbage chimique du colza (*Brassica napus* L.). *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)*, 13(4): 5-12.
- Bouhache M (2021) Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, Rabat, 375 p.
- Brandler D., Galon L., Mossi A.J. & al. (2021) Periods of weed plant interference in canola. *Communication in Plant Science*, DOI: 10.26814/cps2021001 8 p.
- Bourre J.M. (2003) Roles of unsaturated fatty acids (especially omega-3 fatty acids) in the brain at various ages and during aging. *J. Nutr. Health Aging*, 8: 163-174.
- Boydieldieu J. (1991) Produire les graines oléagineux et protéagineux, Lavoisier Tec-Doc., Paris, 234 p.
- Bukun B., Gaines T.A., Nissen S.J. & al. (2009) Aminopyralid and Clopyralid Absorption and Translocation in Canada Thistle (*Cirsium arvense*). *Weed Science*, 57(1): 10 – 15.
- Burnside O.C. (1979) Soybean (*Glycine max*) growth as affected by weed removal cultivar and spacing. *Weed Science*, 29: 562-565.

- Bushong J., Lofton J., Sanders H. & Stamm M. (2018) Great Plains Canola Production Handbook, Contrôle des mauvaises herbes, Kansas State University, Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, 64 p.
- Cai L., Zhou B., Guo X., Dong C., Hu X., Hou M. & Liu S. (2008) Pollen-mediated gene flow in Chinese commercial fields of glufosinate-resistant canola (*Brassica napus*). Chinese Science Bulletin, 53(15): 2333-2341.
- Canola Council of Canada (2014) The History of Canola. [Online] Available: <http://www.canolacouncil.org/oil-and-meal/what-is-canola/the-history-of-canola/>.
- Chow P.N.P. & Dorrell D.G. (1979) Response of wild oat (*Avena fatua*), flax (*Linum usitatissimum*) and rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*) to diclofop-methyl. Weed Science, 27: 2 12-5.
- Damgaard C. and Kjellsson G. (2005) Gene flow of oilseed rape (*Brassica napus*) according to isolation distance and buffer zone. Agriculture, Ecosystems and Environment, 108: 291-301.
- Daun J.K., Eskin N.A. & Hickling D. (2011) Canola Chemistry, Production, Processing, and Utilization. AOCS press, Urbana, IL, 341 p.
- Dimsey R., Carey D. & Henderson S.A. (2010) A Guide to Integrated Pest Management for *Brassica*-Insect Pest, Disease, Virus, Nematode and Weed Control. Published by the Department of Primary Industries, Farm Services Division, ISBN 978-1-74264-596-4 (online).
- Downey R.K. (1983) The original description of the Brassica oilseed crops. In: High and Low Erucic Acid Rapeseed Oils, Kramer I. K.G.; Sauer F.D. and Pigden W.1. (eds), pp. 61-83, Academic Press, Toronto, Canada.
- Edwards J. (2011) Canola growth & development. State of New South Wales through Department of Primary Industries. Editor Jan Edwards, formerly DPI, Cowra WWW.DPI.NSW.GOV.AU
- FAO (2020) Statistical Yearbook. <https://doi.org/10.4060/cb1329>
- Foy CL, Jain A. & Jacobsohn A. (1989) Recent approaches for chemical control of broomrape (*Orobanch* spp.). Review of Weed Science, 4: 123-152.
- Gulden R.H., Warwick S.I. & Thomas A.G. (2008) The biology of Canadian weeds. 137. *Brassica napus* L. and *B. rapa* L. Can. J. Plant Sci., 88: 951-996.
- Habimana S., Nduwumuremyi A. & Chinama J.D. (2014) Management of *Orobanch* in field crops—A review. J. Soil Sci. Plant Nutri., 14(1): 43-46.
- Hamzei J., Nasab A.D.M., Khoie F.R., Javanshir A. & Moghaddam M. (2007) Critical Period of Weed Control in Three Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Cultivars. Turk. J. Agric. For., 31:83-90.
- Harker K. N. (2001) Survey of yield losses due to weeds in central Alberta. Can. J. Plant Sci., 81(2):339-342.
- Harker K.N., O'Donovan J.T., Turkington T.K. & al. (2016) Diverse rotations and optimal cultural practices control wild oat (*Avena fatua*). Weed Sc., 64: 170-180.
- Hebert M. (2020) Nouvelles approches pour la valorisation des graines de moutarde riches en glucosinolates dans un concept de bioraffinerie, Thèse de docteur de l'Université de Technologie de Compiègne, France.
- Holt J.S., Holtum J.A.M. & Powles S.B. (1993) Mechanisms and agronomic aspects of herbicide resistance. Plant Mol. Biol., 44: 203–229.
- Hüsken A. & Dietz-Pfeilstetter A. (2007) Pollen-mediated intraspecific gene flow from herbicide resistant oilseed rape (*Brassica napus* L.). Transgenic Res., 16: 557-569.
- Jackson D., Cherrou Y. & Santos N. (2018) Étude du secteur des oléagineux au Maroc. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 178 p.
- Jestin C., Boulet C., Molénat D. & al. (2014) Évaluation de l'efficacité de différentes pratiques culturales dans la lutte contre l'orobanche rameuse par une méthode de quantification du stock grainier et cartographie du parasite sur le territoire français. Innovations Agronomiques, 34:157-173.
- Kolb L.N., Gallandt E.R. & Mallory E.B. (2012) Impact of spring wheat planting density, row spacing and mechanical weed control on yield, grain protein and economic return in Maine. Weed Sc., 60: 244-253.
- Korres N.E. (2005) Encyclopedic Dictionary of Weed Science: Theory and Digest. Lavoisier, France, 695 p.

- Lichtenthaler H.K. (1990) Mode of Action of Herbicides Affecting Acetyl-CoA Carboxylase and Fatty Acid Biosynthesis. *Z. Naturforsch.*, 45(c): 521-528.
- Lihoreau M., Raine N.E., Reynolds A.M. & *al.* (2013) Unravelling the mechanisms of trapline foraging in bees. *Commun. Integr. Biol.*, 6(1), e22701-1-e22701-4.
- Linke K.H. & Saxena M.C. (1991) Study on viability and longevity of Orobanche seed under laboratory conditions, In: *Proceedings of International Workshop in Orobanche Research*, Wegmann K. and Musselman L.J. (Eds), pp.110-114, Eberhard-Karls-Universität, Tübingen, Germany.
- Liu Y., Wei W., Ma K., Li J., Liang Y. & Darmency H. (2013) Consequences of gene flow between oilseed rape (*Brassica napus*) and its relatives. *Plant Sci.*, 211: 42-51.
- Maataoui A., Talouizte A., Bouhache M., & Benbella M. (1998) Désherbage chimique du colza dans le Nord-ouest du Maroc. *Proceeding du 6ème Symposium Méditerranéen EWRS*, Montpellier, France, pp. 331-332.
- Maataoui A., Talouizte A., Bouhache M., & Benbella M. (1999) Désherbage chimique du colza (*Brassica napus* L.) dans le Sais. *Proceeding de la Journée Nationale sur le Désherbage des Cultures Oléagineuses*, AMM, Meknès, Maroc, pp. 39-47.
- Maataoui A., Bouhache M., Benbella M. & Talouizte A. (2003a) Critical Period of Weed Control in Oilseed Rape in two Moroccan Regions. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 68(4a): 361-372.
- Maataoui A., Talouizte A., Benbella M. & Bouhache M. (2003b) Désherbage chimique du colza (*Brassica napus* L.) au Maroc. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 68(4a): 425-432.
- Malik M.S., Riley M., Norsworthy J. & Bridges W.C. (2010) Variations of Glucosinolates in wild radish (*Raphanus raphanistrum*) accessions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58(22): 11626-32.
- MAPM (2021) <https://www.agriculture.gov.ma/fr/filiere/oleagineuses#indicateurs-1>.
- Martin S.G., Van Acker R.C. & Friesen L.F. (2001) Critical period of weed control in spring canola. *Weed Sci.*, 49: 326-333.
- Masson S., Chauvel B., Carlen C. & Wirth J. (2021) De nouveaux outils de décision pour une gestion durable des adventices. *Recherche Agronomique Suisse* 12: 78-89, <https://doi.org/10.34776/afs12-78f> Date de publication: 31. Mai 2021.
- Matthes B., Schmalfuß J. & Peter Böger (1998) Chloroacetamide Mode of Action, II: Inhibition of Very Long Chain Fatty Acid Synthesis in Higher Plants. *Z. Naturforsch.*, 53 (C): 1004-1011.
- OECD (2012) Organization for Economic Co-operation and Development. Consensus document on the biology of the brassica crops (*Brassica* spp.). Series on Harmonisation of Regulatory oversight of Biotechnology, No 54, OECD, Paris, 142 p.
- ONSSA. (2021) <http://www.onssa.gov.ma> Index phytosanitaire
- Pacanoski Z. (2015) Bioherbicides in: *Herbicides, Physiology of Action and Safety*, Price A., Kelton J. & Sarunaite L. (eds), pp. 253-274, InTechOpen, Rijeka, Croatia.
- Powles S.B. & Holtum J.A.M. (1994) *Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry*. Lewis, Boca Raton.
- Punia S.S. (2014) Biology and control measures of Orobanche. *Indian Journal of Weed Science*, 46(1):36-51.
- Rakow G. (2000) Dedication: Richard K. Downey Designer of Canola. *Plant Breeding Reviews*, 18: 1-12.
- Rieger M.A., Lamond M., Preston C., Powles S.B. & Roush R.T. (2002) Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. *Science*, 296: 2386-2388.
- Rose S.P. & Bell J.M. (1982) Reproduction of mice fed low erucic acid rapeseed oil contaminated with weed seed oils. *Can. J. Anim. Sci.*, 62: 617-624
- Scheltrup F. & Grossmann K. (1995) Absciscic Acid is a Causative Factor in the Mode of Action of the Auxinic Herbicide Quinmerac in Cleaver (*Galium aparine* L.). *Journal of Plant Physiology*, 147 (1): 118-126.
- Shapiro C.A. & Wortmann C.S. (2006) Corn response to nitrogen rate row spacing and plant density in eastern Nebraska. *Agron. J.*, 98: 529-535.

- Singh Jat R.S.D. (2018) Broomrape intimidation to rapeseed-mustard production in semi-arid regions. *Adv Plants Agric Res.*, 8(6): 560-562.
- Staniland B.K., McVetty P.B., Friesen L.F., Yarrow S., Freyssinet G. & Freyssinet M. (2000) Effectiveness of border areas in confining the spread of transgenic *Brassica napus* pollen. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(3): 521-526.
- Tanji A. & El Brahli A. (2018) Weed surveys in rainfed canola (*Brassica napus* L.) fields in Chaouia, Morocco. *European Journal of Agriculture and Forestry Research*, 6(4): 43-56.
- Teasdale Matthes J.R. & Franck J.R. (1983) Effect of row spacing on weed Competition with snap bean: *Phaseolus vulgaris*. *Weed Science*, 31: 81-85.
- Thiyam-Holländer U., Michael Eskin N.A. & Matthäus B. (2013) Canola and Rapeseed Production, Processing, Food Quality and Nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 362 p, <http://www.crcpress.com>
- Warwick S.I., Francis A. & Gugel R.K. (2009) Guide to Wild Germplasm. Brassica and allied crops (tribe Brassiceae, Brassicaceae). 3rd Edition. Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Eastern Cereal and Oilseeds Research Centre, K.W. Neatby Bldg., Central Experimental Farm, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0C6. [Online] Available: <http://www.brassica.info/info/publications/guide-wild-germplasm.php> [2014].
- Weiner J., Griepentrog H.W. & Kristensen L. (2001) Suppression of weeds by spring wheat (*Triticum aestivum*) increases within crop density and space uniformity. *J. Appl. Ecol.*, 38: 784-790.
- Yoshimura Y., Beckie H.J. & Matsuo K. (2006) Transgenic oilseed rape along transportation routes and port of Vancouver in western Canada. *Environ Biosafety Res.*, 5: 67-75.
- Zimdahl R.L. (1980) Weed crop competition: A review. International Plant Protection Center Oregon, USA, 195 p.
- Zimdahl R.L. (2007) Fundamentals of Weed Science. Academic Press, San Diego, 689 p.

Page laissée vierge

Gestion des adventices de l'arachide

Abbès TANJI

1. Introduction

L'arachide (*Arachis hypogaea* L.) est une plante annuelle de la famille des légumineuses ou *Fabaceae* originaire de l'Argentine et de la Bolivie. Elle est cultivée dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées pour ses graines oléagineuses. Elle présente la particularité d'enterrer ses fruits après la fécondation. C'est l'une des principales cultures au monde pour la production d'huile végétale ainsi que pour la consommation humaine. Elle est utilisée dans une large gamme de produits alimentaires et de plats traditionnels. L'arachide est cultivée dans 120 pays sur une superficie totale de 24,6 millions d'hectares; la production mondiale ayant atteint 50 millions de tonnes en 2021 (https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?startrow=31&cropid=2221000&sel_year=2021&rankby=Production). Les 10 grands pays producteurs d'arachide sont: la Chine, l'Inde, le Nigeria, le Soudan, les Etats Unis, le Myanmar, le Sénégal, l'Argentine, la Guinée, le Tchad et la Tanzanie (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Arachide>).

Au Maroc, l'arachide est cultivée sur la côte atlantique entre Kénitra et Larache où elle est conduite en irrigué sur des sols sableux. Le semis a lieu en avril-mai et la récolte en septembre-octobre. Les superficies ont varié pendant les 20 dernières années entre 12 000 et 23 000 ha, alors que les rendements ont varié entre 1 et 3 tonnes/ha et les productions ont fluctué entre 21 000 et 52 000 tonnes (Tableau 1). En tout cas, l'arachide est conduite en intensif avec l'apport d'engrais, les traitements phytosanitaires, les opérations de désherbage et les irrigations depuis le semis jusqu'à la maturité (Tanji & al., 2011). Les semis sont réalisés soit avec la sous espèce *hypogaea*, variété Jumbo, type Virginia, à très grosses gousses et graines, à port rampant et à cycle long (120 à 140 jours et deux graines par gousse), soit avec la sous espèce *fastigiata*, variété KP 29, type Valencia, à port érigé et à cycle court (90 à 110 jours et ayant 3 à 4 graines par gousse). Les variétés de type Virginia présentent l'avantage d'être plus productives que celles de type Valencia. La commercialisation de la production est réalisée essentiellement à travers les grossistes et les épiciers. L'arachide est consommée sous diverses formes: crues, cuites ou grillées. La farine d'arachide est utilisée dans la fabrication des gâteaux. L'arachide possède une valeur nutritionnelle élevée en raison de la présence de protéines, des acides gras, des hydrates de carbone, des fibres, des vitamines, du calcium et du phosphore. Les arachides réduisent le risque des maladies cardiovasculaires et le diabète (Mejrihit & al., 2015).

Tableau 1: Superficies, rendements et productions de l'arachide au Maroc de 2001 à 2020 (<https://www.fao.org/faostat/fr>)

Année	Superficies en ha	Rendements en kg/ha	Productions en tonnes
2001	21 700	2 053	44 550
2002	20 400	1 978	40 340
2003	21 500	982	21 110
2004	21 600	2 385	51 520
2005	19 500	2 410	47 000
2006	14 900	2 566	38 240
2007	19 700	2 518	49 610
2008	20 800	1 972	41 010
2009	22 700	2 277	51 690
2010	22 900	2 164	49 560
2011	17 840	2 226	39 710

Tableau 1 (suite)

2012	15 490	2 346	36 348
2013	16 300	2 380	38 790
2014	16 090	2 385	38 376
2015	13 850	2 434	33 710
2016	15 345	2 373	36 412
2017	14 060	2 541	35 733
2018	12 850	2 502	32 152
2019	15 288	2 595	39 670
2020	13 984	2 626	36 725

2. Caractérisation de la flore adventice

Tanji & *al.* (2015) ont identifié les espèces adventices dans 25 champs d'arachide du périmètre irrigué de Loukkos. Aucune différence nette entre les infestations dans les lignes et les infestations entre les lignes n'a été observée. Le nombre d'espèces identifiées dans les champs d'arachide a été 24 espèces, ce qui est considéré trop faible en comparaison avec les 244 espèces adventices rencontrées dans différentes cultures d'automne et d'hiver à travers le périmètre irrigué du Loukkos (Chougrani, 1984; Bouhache & *al.*, 1994).

Le tableau 2 donne la liste des 10 espèces adventices les plus fréquentes dans les champs d'arachide. Le souchet rond a été incontestablement l'adventice la plus envahissante (Photos 1). Il envahit aussi bien les interlignes que les lignes. Des espèces adventices ont été plus ou moins fréquentes dans les champs d'arachide comme le chiendent pied de poule, le pourpier, la digitale sanguine, le dactylocténion d'Egypte, le panic colonisateur, les amarantes, le chénopode blanc, la stramoine, la morelle noire, la verbésine fausse encélie, l'abutilon de Théophraste et la physalide. En fait, toutes les espèces adventices associées à la culture d'arachide sont des thermophiles très abondantes dans les cultures irriguées en été, comme le maïs.

A noter que la verbésine fausse encélie (*Verbesina encelioides*) a été trouvée dans certaines parcelles d'arachide. Cette *Asteraceae* annuelle a déjà envahi plusieurs régions depuis son introduction au Maroc, et ses semences ailées ont favorisé sa dissémination dans différentes régions agricoles (El Mfadli, 2002; Taleb & *al.*, 2002). Par ailleurs, quelques plantes de cenchrus à épines longues (*Cenchrus longispinus*) ont été observées dans un seul champ d'arachide. Cette graminée annuelle infeste actuellement les jardins du village de Laouamra aux environs de Larache. D'ailleurs, cette Graminée estivale est reconnaissable par ses épis épineux qui s'accrochent aux vêtements et au pelage des animaux. Elle risque d'envahir les cultures du périmètre du Loukkos et même les régions avoisinantes (Tanji, 2020).



Photos 1: Champ d'arachide fortement infesté par le souchet rond (*Cyperus rotundus*) dans le périmètre irrigué du Loukkos.

Tableau 2: Principales adventices des champs d'arachide dans les sols sableux au périmètre irrigué du Loukkos (Tanji & *al.*, 2015).

Espèce	Famille botanique	Classe botanique	Fréq. sur les lignes (%)	Fréq. entre les lignes (%)
Vivaces				
Le souchet rond (<i>Cyperus rotundus</i> L.)	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone	68	88
Le chiendent pied de poule (<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.)	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	8	4
Annuelles				
Le pourpier (<i>Portulaca oleracea</i> L.)	<i>Portulacaceae</i>	Dicotylédone	84	80
La digitale sanguine (<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.)	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	76	64
Le dactylocténion d'Egypte (<i>Dactyloctenium aegyptiacum</i> (L.) Willd.)	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	64	32
L'amarante verte (<i>Amaranthus viridis</i> L.)	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone	48	32
L'amarante réfléchie (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone	16	24
Le chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i> L.)	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone	4	12
La stramoine (<i>Datura stramonium</i> L.)	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone	4	12
La morelle noire (<i>Solanum nigrum</i> L.)	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone	12	4

3. Impact des adventices sur l'arachide

L'arachide est semée en lignes espacées de 40 à 60 cm, ce qui favorise le développement des adventices. C'est une culture de petite taille, à croissance faible et donc sensible à la compétition des adventices, car celles-ci prélèvent l'humidité du sol et les éléments fertilisants interceptent la lumière et réduisent les rendements. Aux Etats Unis d'Amérique, Everman & *al.* (2008) ont trouvé que la période critique de compétition de l'arachide avec les adventices a varié entre 3 et 8 semaines après le semis. Il s'agit bien de la période critique de compétition qui correspond à la période pendant laquelle la présence des adventices entraîne une perte de rendement mesurable. Cette période critique de compétition indique la meilleure période pour réaliser une ou plusieurs opérations de désherbage afin de prévenir les pertes inacceptables de rendements (Bouhache, 2021). De plus, Farris & *al.* (2005) ont constaté que pour chaque semaine de compétition entre l'arachide et la verbésine fausse encélle (*Verbesina encelioides*) il y avait une réduction de rendement d'arachide de 75 kg/ha, et pour chaque kg de biomasse sèche des adventices il y avait une réduction de rendement de 129 kg/ha.

4. Gestion de la flore adventice

La gestion à long terme des mauvaises herbes est un enjeu principal de la durabilité des systèmes de production. Une gestion réussie des mauvaises herbes permet de limiter leur impact négatif, conserver le potentiel de production des cultures, de limiter les risques de ré-infestations des parcelles et l'enrichissement du stock grainier des adventices des sols pour les cultures suivantes ou les parcelles voisines. La lutte intégrée, définie comme étant une approche de gestion à long terme des adventices en combinant plusieurs méthodes ou techniques pour maintenir l'infestation à un niveau acceptable

sans pourtant se baser sur une seule méthode ou technique (ou son utilisation est réduite) ni compromettre l'environnement, est une approche de gestion des adventices qui répond bien à ces exigences. La combinaison de méthodes préventives, culturales, mécaniques et chimiques est une composante très importante de la gestion intégrée des adventices dans une culture (Voir l'introduction générale).

4.1. Prévention

Avant de semer l'arachide, il faut éviter les champs qui sont connus par la présence d'adventices vivaces ou difficiles à contrôler telles que le souchet et le chiendent.

4.2. Pâturage avant le semis

Le pâturage avant le semis de l'arachide réduit les infestations par les adventices et les repousses des cultures précédentes. En fait, les animaux consomment la plupart des plantes adventices sauf certaines espèces comme la verbésine fausse encélie (*Verbesina encelioides*).

4.3. Préparation du sol avant le semis

Le travail du sol effectué après la récolte de la culture précédente et avant le semis de l'arachide permet a) l'incorporation des résidus des cultures, b) la destruction des plantes adventices, et c) la préparation du lit de semences.

4.4. Désherbage chimique

La pendiméthaline (1320 g m.a./ha) est homologuée pour le désherbage de pré-levée de l'arachide et des adventices (<http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx>). Ce désherbant doit être appliqué sur des sols bien travaillés, suffisamment humides et sans débris végétaux. Son site d'action est l'inhibition de l'assemblage des microtubules, ce qui perturbe la division cellulaire chez les semences des adventices graminées et dicotylédones annuelles en cours de germination (Tableau 3) (<https://www.weedscience.org/summary/SOADescription.aspx>).

La bentazone (960 g m.a./ha) est utilisée en post-levée de la culture et des adventices. C'est un herbicide de contact qui inhibe la photosynthèse au niveau du photosystème II chez de nombreuses dicotylédones et *Cyperaceae* (<https://www.weedscience.org/summary/SOADescription.aspx>). Après les traitements, l'efficacité de bentazone sur la partie aérienne du souchet et des plantules des adventices dicotylédones est en général excellente (Photo 2). Toutefois, les tubercules des souchets restent vivants et réinfestent les cultures installées après l'arachide, comme la pomme de terre. La bentazone est parfois utilisée en mélange avec les anti-graminées comme cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, tépraloxydime, etc... en vue de détruire la partie aérienne du souchet, des dicotylédones et des graminées annuelles (Tableau 3). Pour compléter le désherbage, il faut faire une ou plusieurs opérations de sarclage ou d'arrachage manuel pour contrôler les adventices qui restent (ou qui poussent) après les traitements herbicides.

Le pyridate (600 à 900 g m.a./ha) est un herbicide de contact sélectif de l'arachide, mais il n'est pas homologué au Maroc pour le désherbage de cette culture. Ce désherbant est homologué au Maroc pour le désherbage de post-levée du pois chiche et autres cultures pour le contrôle des jeunes adventices dicotylédones annuelles. Il inhibe la photosynthèse au niveau du photosystème II chez de nombreuses dicotylédones (<https://www.weedscience.org/summary/SOADescription.aspx>). Son efficacité sur les adventices est observée 3 à 7 jours après les traitements. Les dicotylédones annuelles sensibles au pyridate (600 à 900 g m.a./ha) sont les amarantes, les chénopodes, les moutardes, l'ortie, etc... (Tableau 3). Pour compléter le désherbage, il est possible d'appliquer un herbicide contre les graminées (en cas de besoin) et de faire une ou plusieurs opérations de sarclage ou d'arrachage manuel pour contrôler les adventices qui restent (ou qui poussent) après les traitements.

Les anti-graminées à base des matières actives comme cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, tépraloxydime, etc... sont sélectifs de l'arachide. Ce sont des herbicides systémiques qui migrent vers les zones méristématiques des organes aériens et souterrains. Ils inhibent l'acétyl-CoA carboxylase (ACCase), une enzyme qui catalyse la première étape de la biosynthèse des acides gras. Ils sont efficaces sur les graminées annuelles et vivaces, puisque les feuilles jaunissent et se nécrosent dans les 2 à 3 semaines qui suivent l'application (Tableau 3) (Photos 2).

A l'exception de la pendiméthaline qui est homologuée pour le désherbage en pré-levée de l'arachide, tous les autres herbicides (Tableau 3) ne sont pas homologués pour cette culture, mais ils sont disponibles chez les revendeurs pour le désherbage d'autres cultures.



Photo 2: (a) Traitement herbicide de post-levée avec des herbicides sélectifs de l'arachide, (b) dessèchement total des graminées annuelles (cenchrus, digitaire, dactylocténion, etc...) après traitement avec les graminicides de post-levée, et (c) dessèchement total de la partie aérienne du souchet rond (*Cyperus rotundus*) après traitement avec bentazone.

Tableau 3: Sensibilité de quelques adventices aux herbicides utilisables sur l'arachide.

Espèces	Pré-levée	Post-levée		
	Pendiméthaline	Bentazone	Pyridate	Anti-graminées**
Vivaces				
Le souchet rond (<i>Cyperus rotundus</i> L.)	T	S	T	T
Le chiendent pied de poule (<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.)	T	T	T	MS
Graminées annuelles*	MS-S	T	T	S
Dicotylédones annuelles				
Le pourpier marâcher (<i>Portulaca oleracea</i> L.)	S	S	S	T
L'amarante verte (<i>Amaranthus viridis</i> L.)	S	S	S	T
L'amarante réfléchie (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	S	S	S	T
Le chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i> L.)	MS-S	MS-S	S	T
La stramoine (<i>Datura stramonium</i> L.)	S	S	S	T
La morelle noire (<i>Solanum nigrum</i> L.)	MS-S	S	S	T
L'ortie brûlante (<i>Urtica urens</i> L.)	S	S	S	T

S: adventice sensible, MS: adventice moyennement sensible, T: adventice tolérante, efficacité faible à nulle.

*Graminées annuelles associées à l'arachide: la digitaria sanguine (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.), le dactylocténion d'Egypte (*Dactyloctenium aegyptiacum* (L.) Willd.), le cenchrus à épines longues (*Cenchrus longispinus* (Hack.) Fernald), etc...

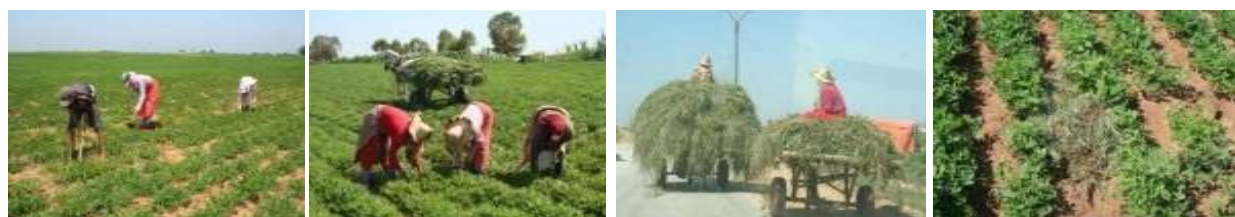
**Herbicides antigaminées: cléthodime, cycloxydime, fluazifop, haloxyfop, propaquizafop, quizalofop, etc...

4.5. Sarclage et arrachage manuel

En général, les agriculteurs qui cultivent l'arachide font 1 à 4 sarclages avec la houe, 2 à 4 binages à traction animale et une à 4 opérations d'arrachage manuel des plantes adventices (Photos 3). Les hommes et les garçons participent au sarclage à traction animale, alors que différentes personnes (hommes, femmes, garçons et filles) participent au sarclage avec la houe et à la collecte manuelle des adventices. Les plantes adventices collectées sont transportées et utilisées pour l'alimentation du cheptel (ovins, bovins, caprins et équidés) (Tanji & *al.*, 2011).

Il faut noter que l'objectif du sarclage à traction animale est de réduire les infestations des adventices entre les lignes (Photos 4), alors que le sarclage avec la houe permet de nettoyer les lignes et les interlignes. En général, le sarclage à traction animale nécessite un à deux jours de travail par ha. La distance parcourue, aussi bien par l'animal que par l'opérateur, dépend de l'espacement entre les lignes (25 km/ha si l'espacement entre les lignes est de 40 cm, 20 km si l'espacement est de 50 cm, etc...). L'efficacité du sarclage à traction animale dépend de la qualité de l'outil de travail, de la rigueur de l'opérateur et de la vigueur de l'animal, alors que l'efficacité du sarclage avec la houe et la collecte des adventices dépendent de l'infestation des adventices et la rigueur de la main d'œuvre.

L'arrachage manuel est en général fait par la main d'œuvre familiale et concerne les adventices qui ont plus de 20 cm de hauteur, car la présence des adventices à un stade avancé des cultures (entre la floraison et la maturité) nécessite l'arrachage manuel et les *sarclages* tardifs avec les outils *risquent* d'endommager le *système racinaire* (et les gousses souterraines) de la culture.



Photos 3: Sarclage avec la houe, arrachage manuel des adventices, collecte et transport des plantes adventices.



Photos 4: Sarclage à traction animale.

4.6. Gestion intégrée

Comme dans le cas des autres légumineuses alimentaires, ni l'emploi des herbicides seuls (en pré-levée et/ou en post-levée) ni les opérations de sarclage seules ne contrôlent la totalité ou la majorité des adventices associées à l'arachide. Les meilleures efficacités sur les adventices et les meilleurs rendements de la culture sont en général obtenus quand un ou plusieurs sarclages sont réalisés après les traitements herbicides.

5. Conclusion

Originaire de l'Argentine et de la Bolivie, l'arachide est cultivée dans 120 pays à travers le monde. C'est l'une des principales cultures au monde pour la production d'huile végétale ainsi que pour la

consommation humaine. Au Maroc, l'arachide est cultivée sur la côte atlantique entre Kénitra et Larache où elle est conduite en irrigué sur des sols sableux. Les prospections préliminaires dans les champs d'arachide aux environs de Larache ont permis de recenser les 10 espèces adventices les plus importantes dont le souchet rond (*Cyperus rotundus*) et le chiendent pied-de-poule (*Cynodon dactylon*). L'arachide est une culture de petite taille, à croissance faible et donc sensible à la compétition des adventices, car celles-ci prélèvent l'humidité du sol et les éléments fertilisants interceptent la lumière et réduisent les rendements. La pendiméthaline est la seule matière active homologuée pour le désherbage de pré-levée de l'arachide. Mais, les agriculteurs arrivent à convenablement gérer les adventices en utilisant les herbicides de post-levée comme bentazone, pyridate, les anti-graminées, les binages à traction animale les binages manuels et l'arrachage manuel. Des recherches sur l'efficacité et les coûts des opérations de désherbage sont nécessaires dans le cadre d'une agriculture durable qui vise l'amélioration des rendements et l'augmentation de la rentabilité de la culture. Des recherches sur la gestion intégrée des adventices basées sur la combinaison des herbicides et du sarclage avec des outils tractés seraient nécessaires pour faciliter le désherbage et contribuer à la réduction de l'emploi de la main d'œuvre qui devient de plus en plus rare, chère et exigeante. Des actions de vulgarisation des acquis de la recherche en matière de gestion intégrée des adventices en combinant l'emploi des herbicides et des sarclages mécaniques devraient améliorer la production de cette culture.

Références

- Bouhache M. (2021) Malherbologie: biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Dar Al Qalam, Rabat, 376 p.
- Bouhache M., Boulet C. & Chougrani A. (1994) Aspects floristico-agronomiques des mauvaises herbes de la région du Loukkos (Maroc). *Weed Research*, 34: 119-126.
- Chougrani A. (1984) Etude floristico-écologique des adventices de la région du Loukkos. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 50 p.
- El Mfadli B. (2002) Contribution à l'étude de la biologie et de l'écophysiologie de la germination de *Verbesina encelioides* Cav., adventice des cultures dans le périmètre irrigué de Souss-Massa. Mémoire de fin d'études, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 93 p.
- Everman W.J., Clewis S.B., Walter W.E., Burke I.C. & Wilcut J.W. (2008) Critical period of weed interference in peanut. *Weed Technology*, 22: 63-67.
- Farris R.L., Gray C.J., Murray D.S. & Verhalen L.M. (2005) Time of removal of crownbeard (*Verbesina encelioides*) on peanut yield. *Weed Technology*, 19: 380-384.
- Mejrhith N., Taouda H. & Aarab L. (2015) Evaluation de la qualité hygiénique des arachides au niveau de la ville de Fès, Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(1): 268-277.
- Taleb A., Bouhache M. & El Mfadli B. (2002) Généralités sur une nouvelle adventice menaçant l'agriculture marocaine: *Verbesina encelioides* (Asteraceae). Cinquième Congrès de l'Association Marocaine de Malherbologie, Rabat, pp. 13-18.
- Tanji A. (2020) Notes about two summer annual grass weeds in Morocco: *Dinebra retroflexa* and *Cenchrus longispinus* (Poaceae). *Flora Mediterranea*, 30: 113-119.
- Tanji A., Benicha M. & Mrabet R. (2011) Techniques de production de l'arachide, résultats d'enquêtes au Loukkos. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture*, N° 192, Septembre 2011.
- Tanji A., Benicha M. & Mamdouh M. (2015) Contribution à l'étude des adventices associées aux cultures dans les sols sableux du périmètre irrigué du Loukkos: cas du fraisier et de l'arachide. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 7: 67-80.

Page laissée vierge

Gestion des adventices de la vigne

Zouheir CHAFIK

1. Introduction

1.1. Bref historique de la vigne

Depuis 8000 ans, la culture de la vigne accompagne les civilisations humaines. La plupart des vitacées (72 espèces de *Vitis*) poussent dans les régions tropicales et intertropicales de part et d'autre de l'équateur, partout où elles trouvaient le climat physique et humain propice à son développement (Pelsy et Merdinoglu, 2021).

En Afrique du nord, la viticulture date des phéniciens qui façonnèrent des paysages ruraux de vergers, olivettes et vignobles. Dans le bassin oriental de la méditerranée, s'est développée une authentique civilisation de la vigne par diverses cultures: Libyennes, Egyptiennes, Phéniciennes, Carthaginoises, Latines, etc. (wikipédia, 2021). L'époque arabe a eu comme suite l'introduction sur une vaste échelle de nouvelles variétés, comme le Muscat d'Alexandrie, le Dabouki, la Sultanine, le Rozaki (Dattier de Beyrouth). Les Portugais plantèrent de la vigne dans les Doukkala, Azemmour, Safi et El Jadida. Sous l'antiquité, le grand centre de production était concentré autour de Volubilis, dans la région de l'actuelle ville de Meknès. La conquête musulmane privilégia le raisin de table. Avec la colonisation, les français développèrent la viticulture au Maroc comme en Algérie et en Tunisie, et furent rejoints par les espagnols et les italiens. Au moment de l'indépendance nationale, bien que le Maroc fût un pays viticole, la production ainsi que la consommation des raisins de table était très réduite (wikipédia, 2021).

1.2. Importance de la vigne à l'échelle mondiale

La superficie viticole mondiale s'élève à 7,4 millions d'hectares avec une production de 85 millions tonnes de raisins frais (OIV, 2019). Cinq pays, sont les principaux producteurs et représentent à eux seuls plus de 50% de la surface viticole mondiale (Tableau 1). Le marché mondial est dominé par des variétés à gros grain et à fort rendement. Des variétés traditionnelles sont également produites en masse et des variétés apyrènes (sans pépins) sont en développement rapide (Sorbier, 2008). Les variétés cultivées sont réparties de façon à obtenir une répartition de la production, au moyen de la précocité, tardivité et productivité, combinées avec les conditions du milieu local et le choix des porte-greffes (Tableau 2). L'envignoblement mondial a été fortement modifié au cours des 15 dernières années, suite à l'arrachage de vignobles et de restructurations. En effet, certaines variétés à forte production ne correspondant plus aux goûts des consommateurs ni aux marchés, ont connu une diminution importante de leurs surfaces (OIV, 2019).

Tableau 1: Principaux pays viticoles (OIV, 2019).

Pays	Superficie (ha)	Contribution (%)
Espagne	974.000	13.16
Chine	830.000	11.22
France	806.000	10.89
Italie	682.000	9.22
Turquie	448.000	6.05
Etats Unis d'Amérique	443.000	5.99
Argentine	225.000	3.04
Chili	214.000	2.89
Portugal	199.000	2.69
Roumanie	191.000	2.58

Tableau 2: Répartition des surfaces des vignes par variétés à l'échelle mondiale (OIV, 2019).

Variété	Couleur	Surface (ha)	Pourcentage (%)
Kyoho	Noire	365 000	4.93
Cabernet Sauvignon	Noire	341 000	4.61
Sultanine	Blanche	273 000	3.69
Merlot	Noire	266 000	3.60
Tempranillo	Noire	231 000	3.12
Airen	Blanche	218 000	2.95
Chardonnay	Blanche	210 000	2.84
Syrah	Noire	190 000	2.57
Grenache Noir	Noire	163 000	2.20
Red Globe	Noire	159 000	2.15
Sauvignon Blanc	Blanche	123 000	1.66
Pinot Noir	Noire	112 000	1.51
Ugni Blanc	Blanche	111 000	1.50

1.3. Importance de la vigne à l'échelle nationale

La viticulture occupe une place assez importante dans le tissu socio-économique marocain. La superficie plantée en cette culture a connu une grande évolution notamment en matière de production, durant ces dernières années, grâce aux efforts déployés dans le cadre du Plan Maroc Vert par l'amélioration de la productivité, visant un rendement moyen rationnel grâce à une meilleure prise en charge des itinéraires techniques. Le vignoble marocain est réparti sur une superficie moyenne qui tourne autour de 49.000 ha et une production moyenne annuelle de 325.000 tonne de raisins. La superficie se voit fluctuer avec une légère baisse, alors que la production est en nette évolution (Figure 1) (OIV, 2019). Les principales régions de production de la vigne sont Doukkala, Haouz, Benslimane, Rabat-salé, Khémisset, Essaouira, Meknès, Gharb et Moulouya qui totalisent 80% de la superficie totale. Les principales variétés de raisins de table sont doukkali, muscat d'Italie, valency et abbou qui occupent près de 70% de la superficie totale (Tableau 3). Le reste est constitué des variétés: boukhanzir, muscat d'Alexandrie, alfonse lavallée, adari, cardinal et madelaine (Anonyme, 2021).

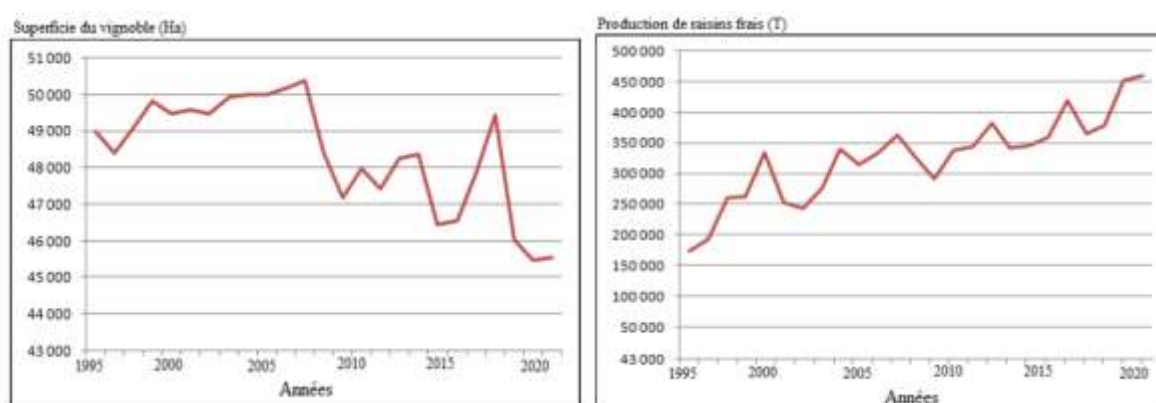


Figure 1: Evolution des superficies et des productions viticoles au Maroc (Données de l'OIV, 2019).

Tableau 3: Principales variétés du vignoble marocain (MADREF/DERD, 2002).

Variétés	Couleur	Superfici (ha)e	Pourcentage (%)
Doukkali	Rose	16.557	42,4
Muscat d'Italie	Blanche	3.669	9,4
Valency	Blanche	3.488	8,9
Abbou	Rouge	2.375	6,1

De nouveaux vignobles ont été ajoutés, essentiellement les raisins de table, soit 75% de la production. Ces vignobles sont conduits avec de la haute technologie (serres, irrigation localisée, certifications et salles de conditionnement) et cultivent des variétés protégées haut de gamme, dont la production est destinée aux marchés extérieurs, il s'agit d'Early Sweet, Sugra One et Crimson (blanches), la variété Prima avec pépins (noire) et des sans pépins telles que Passion Fire (Arra 29), Sugar Drop (Arra30) (rouges) (Hortimedia, 2021).

Il est à souligner qu'à côté des obstacles abiotiques, plusieurs contraintes biotiques peuvent être indiquées comme sources de limitation de la productivité des vignobles marocains. Il s'agit notamment, des maladies cryptogamiques et virales, des ravageurs et des adventices. Compte tenu de l'importance du vignoble dans l'économie nationale et pour pouvoir améliorer sa productivité, la maîtrise de certaines techniques de production s'impose, entre autres la gestion des adventices. Ainsi, toute opération de désherbage devrait limiter la concurrence des adventices afin que le vignoble profite mieux des facteurs de croissance, améliorer la qualité de la récolte, les conditions de travail, l'état sanitaire de la culture et limiter la réinfestation des champs.

2. Caractérisation de la Flore adventice

2.1. Aspect systématique

Le vignoble marocain héberge une flore adventice copieuse et diversifiée. Les prospections de 140 vignobles du Maroc ont permis de recenser 234 espèces adventices appartenant à 37 familles botaniques dont les *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Brassicaceae*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Apiaceae* et *Liliaceae* sont les plus dominantes, avec 64,1% des espèces (Taleb & *al.*, 2004). Les dicotylédones (85,2%), et les thérophytes (ou annuelles) (80,56%) sont prépondérantes et caractérisent la flore viticole. Cette richesse est notée également au niveau parcellaire, soit 21 à 56, avec une moyenne de 37 espèces adventices par vignoble. Ce cortège floristique est dominé par les espèces qui se développent aux stades phénologiques cruciaux du cycle biologique des vignes (Taleb & *al.*, 2004). Le vignoble marocain a en commun un cortège d'adventices de l'ordre de 36 avec le vignoble algérien (Kheddami et Adane, 1996), 19 avec le vignoble Suisse (Clavien et Delabays, 2006), 31 avec les vignobles français (Viti Veille, 2021) et 57 avec les vignobles des pays de l'ouest du bassin méditerranéen (Moreira & *al.*, 1986).



Photo 1: Infestation des interlignes (à gauche) et des lignes (à droite) d'un vignoble par les adventices.

2.2. Principales adventices de la vigne

Le nombre élevé d'espèces recensées pourrait laisser penser qu'une gestion mieux ciblée des adventices sera compliquée. Toutefois, comme le montre le tableau 4, les espèces très fréquentes ou agronomiquement préoccupantes sont rares et, à l'opposé, les espèces peu fréquentes sont abondantes. Ceci s'explique principalement par des conditions défavorables au développement des plantes dues aux nombreuses perturbations anthropiques, les espèces bien adaptées aux conditions culturales des vignobles sont les plus rencontrées. A côté des espèces problématiques ou majeures se trouvent beaucoup d'espèces secondaires, peu fréquentes mais qui enrichissent le cortège floristique et exercent une nuisibilité par effet de cumul. Ainsi, une bonne gestion devrait considérer et surveiller cette catégorie qui pourrait changer de statut, à long terme, sous l'effet de mutations environnementales et de pratiques agricoles (Bouhache, 2020). L'extension et l'impact de ces espèces les doivent, particulièrement au faible emploi des herbicides et leur faculté à s'adapter aux différents environnements (Chafik & *al.*, 2014b).

Au total, 17 espèces sont considérées problématiques dont quatre vivaces (géophytes) et 13 espèces thérophytes (Tableau 4). Les géophytes inventoriées sont liées à un travail du sol pratiquement exclusif et à long terme. Le liseron des champs *Convolvulus arvensis* L. et le chiendent pied de poule *Cynodon dactylon* (L.) Pers. sont les espèces les plus fréquentes avec respectivement, 68,75% et 66,25%. Le chiendent (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. et *Cyperus rotundus* L. sont les deux monocotylédones les plus fréquentes dans les vignobles; elles ont une préférence pour les sols limoneux à sablo-limoneux, secs, éclairés et très chauds. Quant à l'oxalide *Oxalis pes-caprae* L., elle commence à être fréquemment abondante, par localité, notamment dans les sols argileux. Toutes ces vivaces se reproduisent uniquement par multiplication végétative (rhizomes, tubercules ou bulbes).

Les 13 espèces annuelles les plus fréquentes adoptent différentes stratégies. Certaines sont des pionnières tels que le chénopode mural (*Chenopodium murale* L.), le laitron rude (*Sonchus oleraceus* L.) et le séneçon vulgaire (*Senecio vulgaris*) et très proliférantes en production de graines, et par conséquent, les vignobles sont rapidement infestés (Bouchard & *al.*, 1998). Le développement des espèces pionnières citées ci-dessus diminue cependant avec l'apparition d'espèces plus compétitives. Le souci des champs (*Calendula arvensis* L.) est rencontré en populations restreintes et isolées au sein de la presque totalité des vignobles. L'anacycle radié (*Anacyclus radiatus* Loisel.) est rencontré notamment dans les vignobles à sol sablonneux. La vergerette du Canada (*Conyza canadensis* Cronq.) est présente presque aussi fréquemment dans les vignobles, avec une étendue dans pratiquement tous les vignobles rarement non travaillés, elle est généralement retrouvée dans les sols grossiers bien drainés et fertiles et tolérante à la sécheresse. Elle est signalée comme résistante à plusieurs groupes d'herbicides (Weaver, 2001). D'autres espèces comme la mauve à petites fleurs (*Malva parviflora* L.) et l'épine du diable (*Emex spinosa* L.) Campd., rudérales à racine épaisse et tubéreuse sont fréquentes dans les vignobles des zones arides. Elles se développent surtout dans les vignobles riches en nitrates et sont considérées, dans certains pays, comme plantes invasives (Javaid & Tanveer, 2014). Elles échappent à la fauche en raison à leur appareil végétatif généralement étalé horizontalement. Les graminées, comme l'ivraie raide (*Lolium rigidum* Gaudin) et le pâturin annuel (*Poa annua* L.) sont aussi favorisées par ce type de pratique. Cette dernière croît dans les endroits humides, ensoleillés et les sols fertiles à texture fine. Elle tolère les sols compactés et mal aérés et disparaît dans les conditions de chaleurs intenses et sécheresse (Warwick, 1979). La fumeterre à petites fleurs (*Fumaria parviflora* Lam.), plante des sables et des groupements rudéraux, est très peu abondante. Une attention particulière devrait être faite aussi pour le gaillet (*Galium aparine* L.), la passerage drave (*Lepidium draba* (L.) Desv.) et le sorgho d'Alep (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) qui commencent à devenir préoccupantes pour certains viticulteurs, notamment dans la plaine de la Moulouya (Chafik & *al.*, 2014b).

Tableau 4: Principales adventices des vignobles au Maroc (Taleb & *al.*, 2004).

Espèce	Famille botanique	Classe botanique	Fréquence (%)
Vivaces			
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone	66,25
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	68,75
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone	26,25
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	<i>Oxalidaceae</i>	Dicotylédone	50,20
Annuelles			
<i>Anacyclus radiatus</i> Loisel.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	25,00
<i>Calendula arvensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	33,75
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone	26,25
<i>Conyza canadensis</i> Cronq.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	50,50
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone	46,25
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	<i>Fumariaceae</i>	Dicotylédone	21,25
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	32,50
<i>Malva parviflora</i> L.	<i>Malvaceae</i>	Dicotylédone	35,00
<i>Poa annua</i> L.	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone	22,50
<i>Senecio vulgaris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	21,25
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone	53,75
<i>Spergula arvensis</i> L.	<i>Caryophyllaceae</i>	Dicotylédone	33,75
<i>Urtica urens</i> L.	<i>Urticaceae</i>	Dicotylédone	55,00

2.3. Evolution de la flore adventice des vignobles

Dans la région de la Moulouya, certaines espèces peu fréquentes sur les lignes des vignobles, durant les trois décennies passées, sont désormais signalées ardues à éliminer actuellement, il s'agit de *Conyza canadensis*, *Stellaria media*, *Amaranthus deflexus*, *Daucus carota* et *Raphanus raphanistrum* (Chafik & *al.*, 2014a). Ces espèces sont pareillement signalées préoccupantes pour les viticulteurs de certains pays ouest méditerranéens (Coulon & *al.*, 2009; Dubois & Plancke, 2010). La flore des interlignes, est par conséquent moins abondante, et est marquée par l'abondance des vivaces, dans cet ordre le chiendent (*Cynodon dactylon*), le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) et le souchet à tubercules (*Cyperus rotundus*).

L'adoption de l'usage des herbicides dans la région de la Moulouya a été multipliée et l'emploi répété et excessif des mêmes matières actives, notamment du glyphosate (soit près de 90% des cas), semble être un facteur manifeste qui est à l'origine de l'apparition d'espèces insensibles aux herbicides tel est le cas de: *Conyza canadensis*, *Lolium rigidum*, *Stellaria media*, *Raphanus raphanistrum* etc, espèces déjà signalées résistantes aux herbicides dans plusieurs pays (Dubois & *al.*, 2011; Soters & *al.*, 2010; Tanji, 2014; Le Goupil, 2020). Au Maroc des cas de résistance, à différents herbicides, ont été signalés dans les régions de Doukkala, Tadla et Sefrou sur *Lolium rigidum* et *Papaver rhoeas* (Bouhache, 2020; Tanji, 2021; Touahar & *al.*, 2021). L'éventuelle pression de sélection exercée par les herbicides ainsi que certaines pratiques de désherbage, de conduite et d'entretien des vignobles de même que les caractéristiques des adventices peuvent aussi être importantes et nécessitent à être analysées (Chafik & *al.*, 2014b). Il faut noter que le facteur le plus significatif qui gouverne l'évolution de la résistance aux herbicides est la pression de sélection imposée par l'herbicide, à savoir les fortes doses, des composés très efficaces et/ou persistants et l'application très fréquente (Jasieniuk & *al.*, 1996; Reznick et Cameron, 2001).

3. Impact de la flore adventice sur la vigne

La nuisibilité due aux adventices est l'ensemble des phénomènes qui se produisent au cours d'une année de végétation et qui se traduisent par une perte soit de quantité (nuisibilité primaire directe), soit

de qualité (nuisibilité primaire indirecte) du produit récolté. La nuisibilité des adventices concerne aussi la possibilité de réinfestation par les organes de propagation dans une parcelle ou dans les parcelles voisines (nuisibilité secondaire ou potentielle).

3.1. Nuisibilité directe

La compétition, qui est une facette de la nuisibilité primaire directe, se traduit par une baisse de rendement au delà d'un seuil d'infestation variable, en fonction de la densité des adventices, de l'époque de développement, des spécificités biologiques et du milieu. Par conséquent, la relation entre la présence des adventices et la compétition est complexe. Morlat & *al.* (1993) ont remarqué un effet notable des adventices sur la vigueur des ceps et le volume des vendanges. La baisse de vigueur peut être attribuée à la compétition pour l'eau, les matières minérales et la lumière (activité photosynthétique). Une telle compétition provoque un retard très marqué de la maturité et peut provoquer une diminution de l'accumulation des pigments. Selon le type de sol, les conditions climatiques et la nature des espèces implantées, les plantes concurrentes peuvent induire une concurrence hydrique au vignoble (Hedan & *al.*, 2021). Quant au parasitisme (nuisibilité primaire directe) de la vigne, il est limité et concerne la cuscute (*Cuscuta sp.*), qui se développe aux dépens de la vigne en puisant les éléments nécessaires à son développement à l'aide de suçoirs ancrés dans les tissus de la culture. Des pertes de rendement peuvent avoir lieu, suite à la présence de mauvaises herbes et peuvent atteindre jusqu'à 40% dans certaines situations particulièrement stressantes (Delpuech & *al.*, 2018). Théoriquement, les vignes expriment un stress hydrique modéré induit par les adventices dans l'inter-rang, puisque les vignes deviennent moins vigoureuses (Garcia & *al.*, 2018). En pratique, les conditions de croissance sont extrêmement changeantes et des problèmes physiologiques ou phytosanitaires peuvent survenir chez la vigne. Le rendement et la qualité de la récolte sont effectivement sensibles au stress hydrique et aux fluctuations du taux d'azote dans la plante (Ferrara & *al.*, 2015). Néanmoins, une diminution de la teneur en azote à long terme entraînera des conséquences négatives sur les récoltes suivantes (Ripoche & *al.*, 2011). Il faut toutefois signaler que le désherbage mécanique, de plus en plus adopté par les vignerons, implique un risque de blessures sur les souches et désorganise par conséquent le réseau racinaire de surface ce qui peut entraîner des pertes de rendement qui varient de 5 à 20%.

3.2. Nuisibilité indirecte

La présence des adventices dans un vignoble modifie aussi les caractéristiques microclimatiques, par une diminution des flux thermiques (chauds ou froids) renvoyés par le sol vers l'atmosphère. Par conséquent, le risque de gel augmente, particulièrement à la période de débourrement pendant laquelle la vigne y est sensible. De même, leur présence peut aussi avoir un effet sur l'hygrométrie ambiante des feuilles et des grappes de vigne. En augmentant l'hygrométrie, soit par interception du rayonnement lumineux et donc diminution de l'évaporation au niveau des feuilles et des grappes, soit par accroissement de la condensation au niveau des baies et des feuilles, les adventices peuvent favoriser le développement de maladies (Ferrara & *al.*, 2015).

Les dégâts des adventices sur les vignobles peuvent être ressentis de diverses façons, ils gênent les travaux agricoles, altèrent la qualité de la récolte et hébergent des ennemis de la vigne. Les adventices, plus particulièrement les dicotylédones, peuvent abriter un certain nombre d'ennemis: maladies et ravageurs des vignobles qui peuvent s'avérer préjudiciables pour les ceps. De plus, lors des traitements insecticides et acaricides, seul la ligne est traitée, les ennemis hébergés par les adventices dans les interlignes peuvent réinfester immédiatement le cep et agir sur l'efficacité du traitement. Ainsi, les adventices sauraient être derrière l'aggravation de l'état sanitaire des vignobles en créant les conditions favorables au développement des autres ennemis ou de foyers pour divers ennemis. La cicadelle des grillures (*Empoasca vitis*), ennemi redoutable de la vigne, agit négativement sur les rendements (Decante, 2007; Reineke et Hauck, 2013). Certaines adventices très fréquentes telles que le plantain à feuilles lancéolées (*Plantago lanceolata*), la digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*), le pourpier potager (*Portulaca oleracea*), la morelle noire (*Solanum nigrum*) et bien autres abritent les premières

générations et servent de relais et constituent ainsi des sources importantes d'infestation des vignobles avoisinants (Saguez & *al.*, 2015). Les tordeuses des grappes, l'eudémis (*Lobesia botrana*) et le cochyliis (*Eupoecilia ambiguella*) sont fréquemment rencontrées sur des adventices inféodées aux vignobles (Delbac & *al.*, 2015). Les acariens, notamment l'acarien jaune *Tetranychus urticae*, sont véhiculés par de nombreuses adventices se développant dans les lignes, à la base des ceps. Les plantes adventices pouvant être un réservoir assez diversifié de micro-organismes pathogènes, tels que l'Oïdium (*Uncinula necator*), le mildiou (*Plasmopara viticola*), la pourriture grise (*Botrytis cinerea*), le court nouet est l'une des viroses les plus graves sur vigne, affectant la quantité et la qualité de la récolte, elle est transmise par un nématode (*Xiphinema index*) (Goutouly, 2017). Les adventices les plus incriminées appartiennent essentiellement aux familles botaniques des *Solanaceae*, *Brassicaceae*, *Poaceae* et *Cucurbitaceae* (TANJI & *al.*, 1995).

4. Période critique de désherbage

La période critique de désherbage est le moment le plus important pour lutter contre les adventices afin d'éliminer leur compétition avec la vigne, et par conséquent, de minimiser leur impact sur le rendement. La concurrence livrée par les adventices est plus sévère dans l'année de plantation d'un vignoble car elle ralentit considérablement la croissance des jeunes plants (SATTIN et BERTI, 2005).

Dans les vignobles conventionnels, le désherbage repose sur des désherbants chimiques du rang associant des produits de post-levée à action systémique (généralement les produits à base de glyphosate) et des produits de prélevée. Cela permet de contrôler une grande partie de la flore adventice en peu d'interventions avec un coût maîtrisé. Les stratégies de désherbage chimique actuelles sont basées sur une application généralisée en fin d'hiver, au moment de la reprise de végétation. Cette application est systématiquement réalisée en utilisant le glyphosate. La majorité des usages de glyphosate sont positionnés sur les mois de mars à mai. Lors de cette application, si un herbicide de pré-émergence est associé, une seconde application n'est réalisée qu'en cas de présence de vivaces (chiendent, liseron) ou de manque de persistance du produit de prélevée. En cas de présence de vivaces, seul le glyphosate est efficace (IFV, 2021).

L'éventuel retrait du glyphosate, oblige à faire appel exclusivement à des désherbants foliaires en particulier pour la destruction du couvert végétal en sortie d'hiver. Dans cet état de fait, le désherbage sera mixte et quoique cette pratique semble difficile à mettre en œuvre en raison de son exigence en technicité, en vu d'avoir un vignoble propre d'adventices notamment en sortie d'hiver par le travail mécanique à l'automne et en hiver (JACQUET & *al.*, 2019).

Les itinéraires suivants sont à conseiller selon les caractéristiques des vignobles: désherber entièrement chimiquement à raison de 2 à 3 passages d'herbicides, réaliser un désherbage mixte comportant 2 à 3 passages herbicides sous le rang et 3 à 4 tontes dans l'inter-rang lorsque la couverture est totale et dans le cas de vignoble, on effectue 2 passages de tonte et 2 passages de travail du sol mécanique respectivement un rang sur deux, mais au cas où le travail du sol est sans enherbement on réalise 4 passages d'outil mécanique. Dans la situation de désherbage entièrement mécanique, il est préconisé de réaliser 2 à 4 passages d'interceps sous le rang (Chantelot et Gaviglio, 2017).

5. Gestion des adventices

Les adventices ne sont pas toutes aussi gênantes. Chaque type de conduite favorise l'installation et le développement d'espèces d'adventices données. Avec le temps et les changements physico-chimiques qui affectent le sol, les populations évoluent vers celles qui sont les mieux adaptées et les plus difficiles à contrôler avec la technique adoptée. Afin de définir la technique ou la méthode de gestion des adventices la plus adaptée, il est primordial de bien reconnaître les espèces présentes en estimant leur nuisibilité, en tenant compte de leur mode de survie dans le sol (mode de reproduction, aptitude à la germination, évolution du stock de semences dans le sol), en appréciant leur cycle afin de mieux les

combattre et le seuil de nuisibilité pour chacune d'elles. Plusieurs méthodes sont à la disposition des viticulteurs pour contrecarrer les méfaits d'adventices. La mise en œuvre d'une technique de lutte ne peut répondre à un schéma unique, elle constitue une prise de décision complexe et multifactorielle, selon qu'il s'agisse de contrôle des adventices sur le rang et entre les rangs. Dans la pratique, les stratégies de gestion doivent intégrer les méthodes indirectes de lutte contre les adventices (préventives) et directes (culturales et curatives. Les méthodes indirectes visent essentiellement la réduction du nombre de plantes émergeant dans le vignoble et incluent entre autres: les plantes de couverture, le travail du sol, la gestion des systèmes de drainage et d'irrigation; alors que les méthodes directes ont pour but d'accroître l'aptitude à la compétition des plantes vis à vis des adventices et comprennent les méthodes chimiques, physiques et biologiques utilisées pour le contrôle direct des adventices (Tableau 5).

Tableau 5: Recueil des principales méthodes applicables dans la gestion des adventices (d'après Bàrberi, 2005).

Technique de contrôle	Action sur les adventices	Exemple
Enherbement	Préventive par réduction de la levée	Couvert végétal en interlignes
Labour	Préventive et curative	Entretien mécanique du sol
Paillage	Préventive par réduction de la levée	Naturel ou synthétique
Système d'irrigation	Préventive par réduction de la levée	Dispositifs d'irrigation localisée
Fertilisation	Préventive par réduction de la levée Améliorer l'aptitude à la compétition	Fertilisants organiques et amendements
Traitement herbicide	Curative par destruction de végétation existante et réduction de la levée	Pulvérisation de pré ou de post levée
Contrôle thermique	Curative par destruction de la végétation existante et réduction de la levée	Destruction des adventices par le feu en post levée
Contrôle biologique	Curative par destruction de la végétation existante et réduction de la levée	Pathogènes et/ou ravageurs spécifiques

5.1. Méthodes de lutte préventive

Ces méthodes sont pratiquées avant le démarrage de la vigne et visent à prémunir le vignoble des méfaits des adventices. Parmi les techniques prophylactiques adoptées en viticulture, il est à citer:

Eviter l'utilisation des outils et machines agricoles provenant de sols contaminés ou des récoltes infestées. Des cas d'infestation par la cuscute, la morelle jaune et par la passerage drave ont été signalés à la suite d'un travail dans des parcelles contaminées et/ou infestées (Chafik & *al.*, 2014b).

Eviter l'épandage de fumier organique provenant de localités/exploitations, sources de contaminations diverses.

Le travail du sol n'est que rarement pratiqué dans les vignobles, soit avec des outils à disques, cas le plus fréquent, ou exceptionnellement avec des chisels. L'abus d'usage des outils à disques favorise la multiplication des géophytes, de même que certaines espèces aux semences fragiles, dont l'enfouissement de plus d'un an permet une réduction de leur viabilité (Chauvel & *al.* 2001).

L'enherbement par inclusion des plantes de couverture est une autre méthode préventive efficace qui dépend largement des espèces de plantes de couverture et de la gestion de la composition de la communauté des adventices (Photo 2). L'interaction de telles adventices compétitrices est liée principalement à leur occupation des niches écologiques et des modifications du microenvironnement du sol (Gallandt & *al.*, 2005). Dans ce mode de gestion préventive, l'interférence avec les adventices est généralement plus forte quand les graminées ou les crucifères sont utilisées comme plantes de couverture comparativement à l'utilisation

des légumineuses. Les plantes de couverture prolongent le temps de couverture des sols par la végétation, par optimisation de l'utilisation des ressources naturelles (radiation solaire, eau, éléments nutritifs du sol), réduisent l'écoulement de l'eau, le lessivage des éléments nutritifs, l'érosion du sol et la suppression des adventices, etc. (Lal & *al.*, 1991).



Photos 2: Enherbement permanent en inter-lignes (Thomas, 2021).

Le paillage des vignobles est de plus en plus utilisé par les viticulteurs partout dans le monde. Il s'agit d'une barrière physique contre les adventices et qui consiste à recouvrir la surface du sol avec un couvert organique (paillis ou mulch) ou avec une toile végétale ou synthétique (Photo 3). Le paillage sur le rang peut être envisagé comme une alternative au désherbage chimique, alors qu'en inter-rang, il permet aussi de limiter le recours au travail du sol pour détruire les adventices. La couverture du sol présente l'intérêt de protéger le sol contre les agressions du climat et de l'érosion (Goma-Fortin & *al.*, 2012; Thomas, 2021). La mise en place d'un paillis permet de limiter le développement d'adventices sur le vignoble en créant un obstacle physique à leur levée. Cet effet, stabilisateur physique et structural du sol, est limité dans le temps et impose à être renouveler régulièrement selon l'épaisseur du paillage. Cependant, son coût reste supérieur au désherbage chimique et plus difficile à mettre en œuvre sur les vignobles déjà installés (Gontier et Gaviglio, 2012; Goma-Fortin & *al.*, 2012).



Photo 3: Paillage en plastique à gauche sur rang et paillage en paille à droite sur inter-rang (Thomas, 2021).

5.2. Méthodes de lutte curative

Elles sont pratiquées au démarrage de la vigne et ont pour objectif l'atténuation des divers méfaits des adventices. Certainement, le contrôle direct des adventices est assez efficace pour réduire la production des semences des adventices. Ainsi, plusieurs méthodes curatives sont utilisées contre les adventices des vignobles.

5.2.1. Arrachage ou binage manuel

Cette opération, à multiples fonctions dépassant le simple désherbage, se combine avec d'autres opérations culturales. Toutefois, malgré qu'elle soit techniquement simple, cette opération est de plus en plus délaissée au profit du désherbage mécanique ou chimique en raison des contraintes liées notamment à la disponibilité et au coût de la main d'œuvre. De même, son efficacité est dépendante des conditions climatiques et de la bonne maîtrise des outils de travail. En outre, il est peu efficace sur les vivaces et les nouvelles germinations qui déterminent sa pratique et son efficacité. Le désherbage manuel a l'avantage de débarrasser des adventices dans le cas où les herbicides sont inefficaces ou inutilisables.. En plus de l'élimination de la végétation indésirable, le binage permet également d'ameublir et aérer le sol, de décrouter les sols battants, de limiter les pertes d'eau et de ruissellement. La réussite du binage nécessite un sol ressuyé, un temps sec (plus de 48 heures) et du soleil pour la dessiccation des plantes arrachées (Benoit, 2003).

5.2.2. Systèmes de labour

Ils influencent considérablement la distribution des semences et des propagules des adventices à travers le profil du sol, et de ce fait, ils affectent directement le nombre d'adventices qui peuvent émerger dans le vignoble (Cardina & *al.*, 1997). Les systèmes de labour sans retournement du sol réduisent au cours du temps la densité des adventices à un niveau plus élevé que les systèmes de labour basés sur le retournement du sol (Photo 4). Les perturbations causées aux adventices par le labour dépendent plus des types d'outils utilisés que de la profondeur de labour. Parmi les types de labour usités au sein des vignobles, les charrues à lames, très efficaces dans la réduction de la densité des adventices. Ces outils changent la composition de la flore adventice dans le sens d'une présence accrue de bisannuelles, de vivaces et d'herbes annuelles qui ne sont liées à aucune saison (Zanin & *al.*, 1997). A l'opposé, un système basé sur le labour avec retournement du sol semble favoriser quelques dicotylédones annuelles comme *Chenopodium album* et *Papaver rhoeas* (Liebman et Davis, 2000). En règle générale, dans une conduite donnée, la densité des adventices peut être réduite à une grande échelle quand les méthodes de labour changent, en comparaison à l'application continue de la même technique de labour.



Photo 4: Labours de vignobles sans retournement (à gauche) et avec retournement (à droite) du sol (OVLAC, 2022).

5.2.3. Désherbage mécanique

Le désherbage mécanique, une méthode de lutte physique contre les adventices qui consiste à faire un passage sur chaque face du rang pour supprimer les adventices au plus près des arbres grâce à des outils mécaniques. Dans les interlignes, il s'effectue avec des outils traînés, à dents vibrantes et à dents rigides qui agissent par griffage et qui arrachent et sectionnement partiellement les adventices, respectivement sur sol meuble et dur. Les outils de travail du sol, et par suite de désherbage, rencontrés dans les vignobles sont les disques (dont les covercrop les plus sont utilisés), les outils rotatifs hydrauliques, les lames, les fraises ou bien des outils sans travail du sol pour faire un grattage superficiel comme les brosses ou les fils (Photo 5). Les outils à lames ou à socs travaillent à plat en sectionnant et retournant les adventices sur sol meuble et plat. Pour les outils animés à axe vertical ont pour objectifs de pulvériser de la terre, arracher et sectionner les adventices dans un sol meuble et peu caillouteux.

Les lignes sont désherbées en général avec des houes rotatives ou des lames intercepts. Toutefois, le nombre de passage de ces outils est fonction du vignoble, du mode de conduite, de la nature du matériel, des conditions édapho-climatiques, de la technicité, etc. avec un nombre de passage assez variable allant de deux à sept par campagne (Chafik & *al.*, 2014b). Le désherbage mécanique a considérablement progressé suite à la rareté et la cherté de la main d'œuvre, et de la reconversion accentuée vers la conduite en "pergola".

En plus de l'élimination des adventices, le désherbage mécanique améliore la structure du sol et son aération; augmente sa perméabilité et permet une meilleure infiltration de l'eau de pluie; cependant il y'a risque d'apparition de semelles de labour lorsqu'il est réalisé dans de mauvaises conditions (sur sol non sableux) et diminue la portance des sols. Sur vigne, il blesse le système racinaire superficiel ce qui peut réduire la vigueur de la vigne les premières années, augmente le risque de blessures des ceps lors du travail sur le rang et favorise la prospection racinaire en profondeur (Baillon, 2019).



Photo 5: Outils de désherbage mécanique des vignobles (de gauche à droite, du haut au bas): lames bineuses, intercep, fraiseuse, covercrop (Gaviglio, 2021).

5.2.4. Désherbage thermique

Il consiste à détruire la partie aérienne des adventices moyennant un choc thermique provoqué par le passage de brûleurs alimentés avec du gaz (propane) (Photo 6). La plante se dessèche ensuite dans les jours qui suivent l'intervention. Cette alternative dépend du type d'adventices, de son stade de développement et de la hauteur de végétation. Elle nécessite de multiplier les interventions. En cas de passage tardif sur plantes adultes, des repousses peuvent s'opérer à partir de bourgeons non détruits et des réserves accumulées dans les racines. Par ailleurs, certaines espèces comme le chardon ou les laitrons sont résistantes à la chaleur. La faible vitesse d'avancement et le nombre de passage élevé font que le coût total d'un passage reste élevé (Baillon, 2019). Le désherbage thermique permet d'améliorer la structure du sol et son aération, d'augmenter la quantité de matière organique, limiter les risques d'érosion et réduire l'usage d'herbicide. Cependant, il augmente le risque de tassement du sol sous le poids du matériel de désherbage thermique et peut provoquer des dommages sur la vigne en fonction du mode de conduite.



Photo 6: Désherbage thermique d'un vignoble (Humeau, 2022).

5.2.5. Désherbage chimique

Le désherbage chimique représente un poste important dans la conduite des vignobles, tant de point de vue charges que pour l'obtention de bons rendements. L'adaptation des programmes de désherbage demeure la base d'une bonne réussite, qu'il s'agisse du choix des produits, des doses ou des périodes d'application (Photo 7). Les lignes de la vigne sont désormais désherbées avec les herbicides et ne sont que rarement travaillées mécaniquement ou manuellement. Les viticulteurs utilisent des herbicides résiduels de prélevée actifs sur les jeunes plantules des adventices et en cas de persistance, ils procèdent à un autre passage avec un herbicide de post levée systémique ou de contact efficace sur les espèces pérennes ou annuelles déjà développées. L'efficacité globale notée pour un herbicide n'est que la résultante de la réaction de chaque espèce constituant le cortège floristique du chaque site au moment de son application. La connaissance de la sensibilité des adventices aux différents herbicides de post-levée permet de concevoir des mélanges d'herbicides qui contrôlent le maximum d'espèces.

Au Maroc, les viticulteurs disposent de quatre matières actives représentées par six herbicides ayant trois sites d'action dont l'oxyfluorfen est praticable en prélevée alors que les autres sont utilisables en post-levée des adventices. La moitié des spécialités commerciales ont comme principe actif le glyphosate (Tableau 6). A l'exception de cycloxydime qui contrôle uniquement les graminées, les trois autres matières actives contrôlent aussi bien les graminées que les dicotylédones. La palette des

dés herbants disponibles est assez réduite et possiblement des restrictions seront prévues suite aux multiples résistances signalées. En effet, le retrait de certaines matières actives herbicide au niveau de l'Europe ne tarderait pas à toucher le Maroc, ce qui aurait des répercussions sur le désherbage des vignobles, et par suite, le recours aux solutions alternatives. Les matières actives autorisées au Maroc présentent les caractéristiques suivantes:

Tableau 6: Herbicides homologués pour le désherbage de la vigne (ONSSA, 2021).

Herbicide	Matière active	Code Hrac	Période d'application	Dose
Festival	Oxadiazon (250 g/l)	E	post-levée	3 l/ha
Roundup turbo	Glyphosate - sel d'isopropylamine (480 g/l)	G	Post-levée	4,5 l/ha
Granup 41	Glyphosate - sel d'isopropylamine (360 g/l)	G	Post-levée	3 l/ha
Symbol	Glyphosate - sel d'isopropylamine (360 g/l)	G	Post-levée	3 l/ha
Devin	Cycloxydime (480 g/l)	A	Post-levée	4 l/ha
Goal 480 SC	Oxyfluorène (480 g/l)	E	pré-levée	2 l/ha



Photo 7: Désherbage chimique d'un vignoble: sur ligne (à gauche, vignoble Oukous, Berkane) et sur interligne (à droite) (Faye, 2016).

Oxadiazon: de formulation granulaire, est favorisée par une pluie ou une irrigation qui, après le traitement améliore son activité à condition d'éviter tout travail du sol. Cependant, il est conseillé d'éviter l'application sur un feuillage humide ou qui retient les granules. Il contrôle efficacement plusieurs graminées et dicotylédones annuelles (RAP, 2019). L'oxadiazon n'est pas cité dans la liste des perturbateurs endocriniens et n'est pas facilement biodégradable (Petersen & *al.*, 2007). Cependant, il présente un risque moyen de sélection de biotypes résistants.

Oxyfluorène: agit par contact et est absorbée par les feuilles, spécialement par les jeunes pousses, avec une faible translocation. Son activité se résume à une pénétration des organes souterrains entre la germination et la levée (Tomlin, 2006). Il est modérément persistant à persistant dans les sols avec peu de risque de contaminer l'eau souterraine, réciproquement il peut tout de même contaminer l'eau de surface par entraînement des particules de sol contaminées (CRAAQ, 2022). L'oxyfluorène est un inhibiteur de la protoporphyrinogène oxydase (PPO), du phénoxybenzène (ou Diphényl-éthers) avec un risque moyen de sélection de biotypes résistants.

Cycloxydime: à action systémique, c'est un anti-graminées spécifique, sélectif en post levée sur vigne et présente une absorption foliaire et racinaire avec une pénétration foliaire rapide. Son usage est donc pertinent dans le cas de ray-grass résistant au glyphosate ou de flore graminée estivale, en particulier vivace. La cycloxydime est un inhibiteur de l'Acétyl-

coenzyme A carboxylase (ACCase) est présente un risque très élevé de sélection de biotypes résistants.

Glyphosate: son application en post-levée sur des graminées et dicotylédones possédant une masse foliaire suffisante permet une meilleure absorption de l'herbicide. Le glyphosate est plus efficace contre les vivaces notamment le chiendent, le souchet à tubercule, la morelle jaune, etc (Bouhache, 2020; Dubuis, 2021). Le glyphosate est très sensible à la qualité d'eau de bouillie (Bouhache, 2020). Le glyphosate, inhibiteur de la 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS), présente par conséquent un risque de sélection de biotypes résistants.

5.2.6. Combinaison de techniques de désherbage

Le contrôle des sols viticoles a pour buts de gérer la flore adventice de manière efficace et efficiente. Les succès limités de contrôle des adventices sont probablement le résultat d'une simplification à outrance pour appréhender le problème. L'accent était trop mis sur les herbicides synthétiques comme l'issue miracle, alors que l'importance de l'intégration de différentes techniques (préventives, culturales, mécaniques et chimiques) dans une stratégie de gestion des adventices basée sur le système cultural a été pendant longtemps négligée (Bàrberi, 2005, Chouvet & *al.*, 2018).

La combinaison de moyens de lutte (manuel, mécanique et chimique...) est assez fréquente dans les vignobles. Bien qu'aucune stratégie n'atteindra les hauts niveaux d'efficacité permis par les herbicides appliqués à bon escient, une grande partie des viticulteurs affirment que l'association de diverses méthodes se justifie par le fait qu'elle est plus efficiente à long terme et garantit un gain de temps devant une main d'œuvre onéreuse et de plus en plus moins disponible. Les viticulteurs témoignent de même que le désherbage mécanique n'a qu'une efficacité instantanée et mérite d'être combiné à d'autres procédés de lutte (manuel, chimique...) dans l'espoir de maintenir des niveaux de propreté acceptables des vignobles (Wylleman & *al.*, 2005; Chafik & *al.*, 2014b). L'éventuel retrait de certaines matières actives incite à désherber plus précocement les vignobles afin d'intervenir sur les stades précoces de la végétation et de positionner les herbicides de prélevées sur sol humide. La solution d'intégrer l'entretien mécanique en complément des herbicides garantit une meilleure efficacité et une bonne prévention contre les risques d'inversion de flore.

5.2.7. Gestion intégrée

Les méthodes précitées reposent particulièrement sur des techniques de désherbage chimique et mécanique, des pratiques d'enherbements et des approches mixtes, contrastant les traitements sur le rang et l'inter-rang, etc... (Mailly & *al.*, 2015). Présentement, dans la plupart des vignobles, cet objectif est assuré essentiellement par l'application des herbicides (Chafik & *al.*, 2014b). Ces derniers, bien efficaces et relativement économiques, ils génèrent cependant des problèmes toujours plus aigus en engendrant des résidus dans les différentes composantes de l'environnement. Subséquemment, le développement de biotypes résistants aux herbicides et la banalisation de la flore menacent la durabilité des stratégies appliquées (Delabays & *al.*, 2004, Le Goupil, 2020). De même, une meilleure gestion de la flore des vignobles se justifie pour garantir la qualité agronomique et écologique (Clavien et Delabays, 2006). Bon nombre de viticulteurs ignorent plusieurs aspects de l'interférence des adventices et le meilleur moment de leur gestion. La gestion intégrée des adventices inféodées aux vignobles est basée sur la connaissance de leurs caractéristiques biologiques et écologiques, pour pouvoir mettre au point une stratégie globale de gestion des adventices (Liebman et Davis, 2000).

La stratégie mixte, basée sur la combinaison du désherbage chimique avec l'entretien du sol, les méthodes physiques, etc., est adoptée par certains viticulteurs en vue d'atténuer l'inefficacité des herbicides sur certaines adventices et/ou de réduire le coût de désherbage (Figure 2). Ladite stratégie peut avoir les mêmes avantages, inconvénients et exigences de réussite que les herbicides et l'entretien du sol. Dans ce contexte, le nombre de passages et la période de leurs réalisations sont à déterminer

selon le type de sol, le type d'herbicide et le niveau obtenu du contrôle des adventices. Pour exécuter une stratégie intégrée avec succès, la gestion des adventices devrait identifier les problèmes spécifiques dans un champ et pour cela quelques connaissances fondamentales sur l'écologie et la biologie des adventices et de la culture sont nécessaires pour prédire correctement l'impact d'une infestation des adventices sur le rendement de la culture (Labrada, 1998). Dans ce contexte, les caractéristiques de croissance des adventices, de la culture et la dynamique d'émergence des adventices sont des aspects importants (Forcella, 1998).

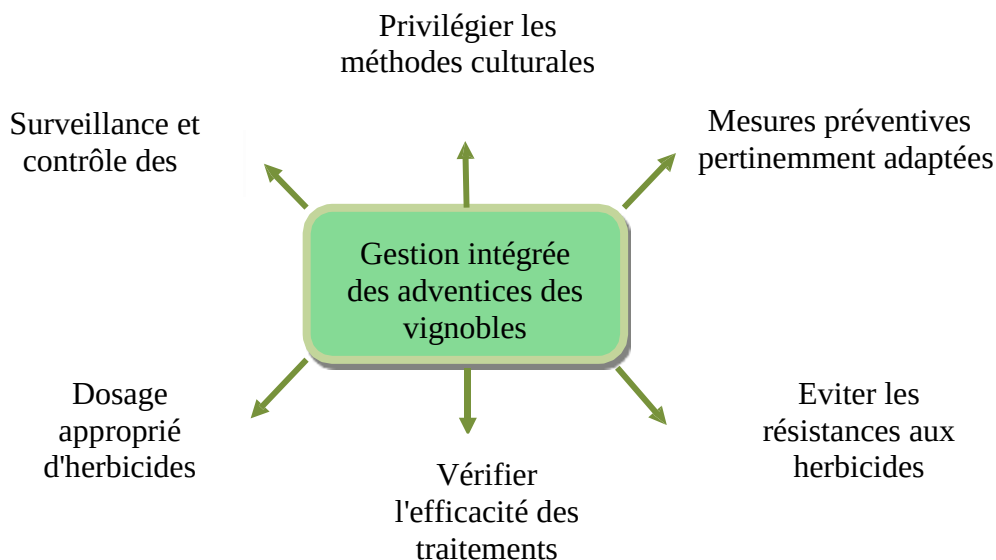
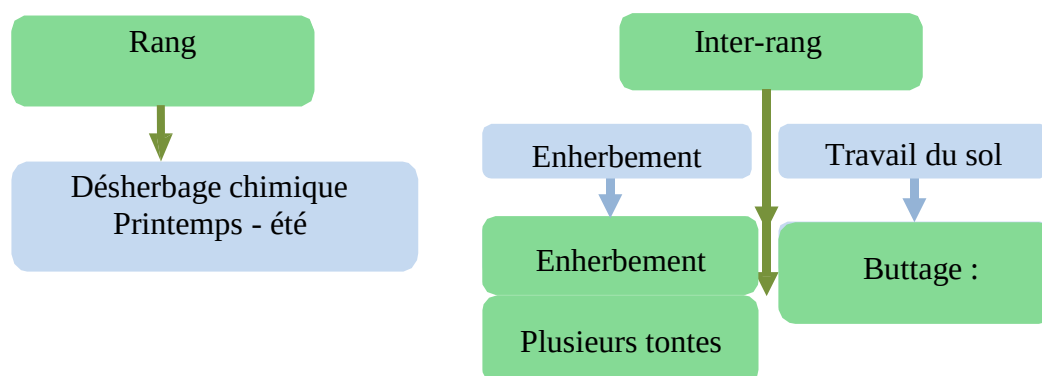


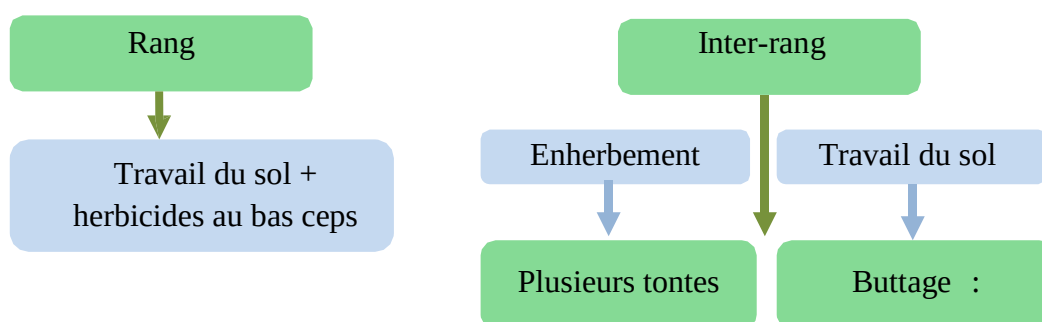
Figure 2: Schéma illustrant les éléments pertinents d'une gestion intégrée harmonieuse contre les adventices dans les vignobles

Sur la base des principes de la gestion intégrée des adventices dans les vignobles, pratiquement il faut favoriser le désherbage mécanique (intercep, tondeuse...) et développer les méthodes, alternatives au désherbage chimique (enherbement, travail du sol...), adapter le programme d'entretien des sols à la parcelle et réserver les applications des herbicides uniquement aux parcelles qui le nécessitent vraiment. En cas de désherbage chimique, désherber sur le rang de vigne uniquement, respecter les restrictions d'utilisation des produits pour éviter l'apparition de résistances ainsi que les phénomènes de sélectivité pour prémunir l'environnement de toute dégradation. En outre, il faut combiner les outils de la viticulture conventionnelle et biologique selon le contexte du système d'exploitation. Cette pratique s'articule sur les choix de stratégies intégrées suivantes:

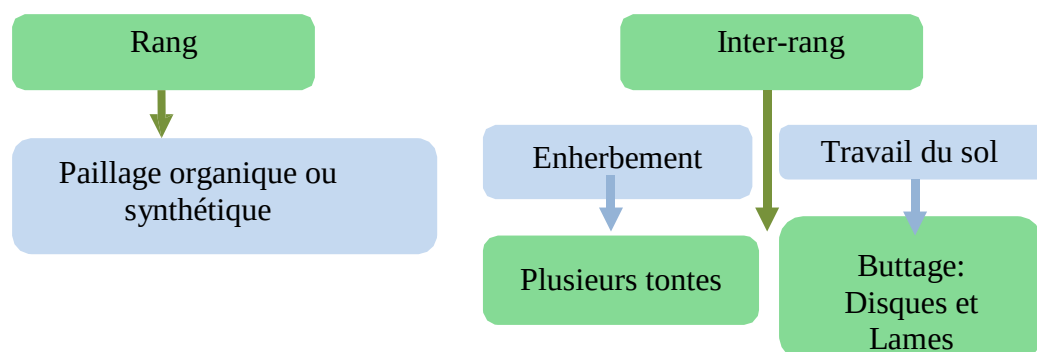
Combinaison de techniques culturales et chimiques



Stratégie intégrée, limitant au minimum l'emploi d'herbicides



Stratégie intégrée en l'absence d'herbicides



La stratégie basée sur les méthodes non chimiques de gestion des adventices fait distinction entre la gestion de l'inter rang et celle du rang en raison de la difficulté à gérer les adventices dans le rang. La gestion combinée des adventices dans l'inter-rang repose essentiellement sur le désherbage mécanique et/ou l'enherbement avec tonte, tandis que le désherbage du rang peut utiliser un herbicide chimique. La stratégie de désherbage intégrée sans herbicides s'articule notamment sur le désherbage mécanique et l'enherbement, ce qui implique une réorganisation du travail au sein du vignoble. Parmi ces stratégies de désherbage, la plus performante est celle qui prend le moins de temps pour un résultat acceptable et qui respecte l'environnement. Afin de mieux parvenir à réussir de telles stratégies, la conduite ne doit pas être axée sur un seul outil, mais bien sur une alternance de techniques permettant de gérer les déplacements de terre et la flore adventice. L'alternance d'un outil à impact élevé en début de saison avec des outils d'entretien plus rapides permet d'optimiser le temps nécessaire à la réalisation des opérations. Le désherbage mécanique sur le rang peut éventuellement modifier un grand nombre de paramètres à savoir: la richesse floristique des adventices et la chute de rendement; et afin de palier à cet handicap, il y'a nécessité d'avoir recours à l'alternance des techniques. De même, ces alternatives au désherbage chimique sont relativement plus chères et plus délicates à mettre en œuvre. Toutefois, la réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques conduira les viticulteurs à adopter ces alternatives.

6. Conclusion

La viticulture est bien établie dans le monde, particulièrement dans le bassin méditerranéen. Au Maroc, la viticulture est ancestrale et occupe une place assez importante dans le tissu socio- économique marocain. La filière est en nette évolution notamment en matière de production, par l'introduction de nouvelles variétés. Les principales régions viticoles sont Doukkala, Haouz, Benslimane, Rabat-salé, Khémisset, Essaouira, Meknès, Gharb et Moulouya et les principales variétés de raisins sont: doukkali, muscat d'Italie, valency et abbou. Le cortège floristique associé aux vignobles est assez riche et diversifié, avec une variation spécifique et fréquentielle entre les lignes et les interlignes. Les adventices sont à l'origine de dégâts directs et indirectes pour les vignobles; elles déprécient la qualité de la récolte, diminuent les rendements et hébergent des ennemis responsables de dommages.

Diverses méthodes de lutte, peuvent être mises en place afin de bâtir une stratégie congruente de gestion des adventices. Les stratégies de désherbage des vignobles consistent en des stratégies préventives et curatives. Les préventives se limitent au travail du sol, le paillage, l'enherbement, raisonnement des apports de fertilisants et d'engrais etc., alors que les curatives consistent en l'emploi du binage manuel, le désherbage mécanique et les herbicides. Le désherbage chimique des vignobles est effectué notamment sur les lignes de plantation. La combinaison des techniques de désherbage est par conséquent assez fréquente. Selon qu'il s'agisse de lignes ou d'interlignes, différentes stratégies sont applicables et sont fondées sur les contextes agro-économiques et sociaux des vignobles. L'optimisation des techniques actuelles, la recherche de nouvelles règles de décision pour le déclenchement des traitements et le choix des produits, l'amélioration des techniques d'application, les possibilités de désherbage mécanique, la gestion des systèmes de culture sont des mesures à développer pour une meilleure gestion des adventices inféodées aux vignobles.

Références

- Alaoui S.B. (2005) Les particularités des adventices vivaces et les bases de raisonnement d'une stratégie de lutte intégrée. Proceedings Symposium National Sur les Adventices Vivaces, AMM, IPSMGCA, pp. 163-173.
- Anonyme (2021) La culture de la vigne. CAM. <https://www.fellah-trade.com>
- Baillon R. (2019) Les techniques alternatives à l'utilisation des herbicides. Entretien des sols viticoles. Agriculture et territoires, 8 p.
- Bàrberi P. (2005) Méthodes préventives et culturales pour la gestion des mauvaises herbes. In: Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement, Labrada R. (éd), pp. 187-201, FAO, Rome, Italie.
- Benoit P., Souiller C., Madrigal I. & Pot V. (2003) Fonctions environnementales des dispositifs enherbés en vue de la gestion et de la maîtrise des impacts d'origine agricole: cas des pesticides. Etude et Gestion des Sols, 10: 215-228.
- Bouchard C.J., Néron R. & Guay L. (1998) Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec. Conseil des productions végétales du Québec, Québec, 253 p.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Cardina J., Johnson G.A. & Sparrow D.H. (1997) The nature and consequence of weed spatial distribution. Weed Science, 45: 364-373.
- Chafik Z., Berrichi A., Bouhache M. et Taleb A. (2014a) Actualisation de la flore adventice des vignobles du périmètre de la Moulouya. Revue Marocaine de Protection des Plantes, N° 5: 47-65.
- Chafik Z., Bouhache M., Taleb A. & Berrichi A. (2014b) Techniques de désherbage dans le périmètre de la Moulouya. Neuvième congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 269-282.
- Chantelot E. & Gaviglio C. (2017) Retrait du glyphosate Conséquences sur les stratégies herbicides de la filière vigne. Lettre d'information du IFV, 3 p.
- Chauvel B., Tschudy C. & Munier-Jolain N. (2011) Gestion intégrée de la flore adventice dans les systèmes de culture sans labour. Cah. Agric., 20: 194-203. doi: 10.1684/ agr.2011.0491.
- Clavien Y. & Delabays N. (2006) Inventaire floristique des vignes de Suisse romande: connaître la flore pour mieux la gérer. Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 38 (6): 335-341.
- Coulon, T., Heinzlé Y., Kerner S., Cahurel J-Y., Moulliet C. & Denizot A-M. (2009) Alternatives au désherbage chimique sous le rang: désherbage mécanique, IFV.
- Chouvet B., Darmency H., Munier-Jolain N. & Rodriguez A. (2018) Gestion durable de la flore adventice des cultures. Edition Quae, Versailles, France, 354 p.
- CRAAQ (2022) SAGE pesticides. <http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/red.pdf>
- Decante D. (2007) Répartition spatio-temporelle et migration de la cicadelle verte *Empoasca vitis* (Goethe) dans un agrosystème. Doctorat, Université de Bordeaux 2, Bordeaux, France, 111 p.
- Delbac L., Thiéry D. & Davidou L. (2015) Les tordeuses de la grappe. Union Girondine des Vins de Bordeaux, 1119: 54-58.

- Delpuech X., Gontier L., Guillois F., Genevet B., Goma-Fortin N & Thiery J. (2019) L'enherbement sous le rang en viticulture méditerranéenne. IFV, 12 p.
- Dubois M. & Plancke M.P. (2010) Développement d'adventices résistantes au glyphosate: situation et perspectives en France. Vingt et unième conférence du COLUMA, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, AFPP, Dijon, France.
- Dubois M., Cotet T., Favier C. & De Prado R. (2011) Erigeron résistant au glyphosate, le point. Contexte général, situation en France, ses perspectives et les conseils pratiques. Phytoma, la défense des végétaux, N° 649: 25-28.
- Dubuis P.H., Gfeller A., Künzler L. & al. (2021) Guide phytosanitaire pour la viticulture 2021–2022. Types d'enherbements viticoles. Agroscope Transfer, No 370.
- Faye T. (2016) Désherbage chimique de vignoble. <https://www.youtube.com/watch?v=d70tDiX-vHs>
- Ferrara G., Mazzeo A., Matarrese A.M.S. & al. (2015) Soil management systems: effects on soil properties and weed flora. S. Afr. J. Enol. Vitic. 36(1): 11-20.
- Forcella F. (1998) Application of weed seed bank ecology to weed management. In: Report of the expert consultation on weed ecology and management, pp. 23-35, FAO, Rome, Italy.
- Gallandt E.R., Molloy T., Lynch R.P. & Drummond F.A. (2005) Effect of cover-cropping systems on invertebrate seed predation. Weed Science, 53: 69-76.
- Garcia L., Celette F., Gary C., Ripoche A., Valdés-Gómez H. & Metay A. (2018) Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. Agri. Ecosyst. Environ., 251: 158-170. doi:10.1016/j.agee.2017.09.030.
- Gaviglio C. (2021) Les clés pour réussir le désherbage mécanique en vigne. Réussir.Fr. IFV
- Goma-Fortin N., Gontier L., Gaviglio C., Chovelon M. & Malet O. (2012) Paillage et enherbement sur le rang en viticulture. Article de presse, Alter agri n°116.
- Gontier L. & Gaviglio C. (2012) Mise en œuvre de paillage sous le rang comme solution de lutte contre les adventices en viticulture, Brochure technique, IFV.
- Goutouly J.P. (2017) Comment se construit le rendement de la vigne ? Influence des pratiques culturales et des facteurs naturels du milieu. BIVB, 19 p.
- Hedan M., Garcia L., Metay A. & Cazenave L. (2021) Lutter contre les adventices avec les plantes de services en viticulture et en arboriculture. <https://geco.ecophytopic.fr> Hortimedia (2021) <https://hortimedia.ma>.
- Humeau (2022) Désherbeur thermique viticole. <https://constructions-humeau.fr/desherbeur-thermique-viticole>.
- ONSSA (2021) Index Phytosanitaire Maroc. ONSSA/AgriMaroc.ma.
- Jacquet F., Delame N., Lozano-Vita J., Reboud X. & Huyghe C. (2019) Alternatives au glyphosate en viticulture. Evaluation économique des pratiques de désherbage, INRA, 25 p.
- Jasieniuk M., Brûlé-Babel A.L. & Morrison I.N. (1996) The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. Weed Sci., 44: 176-193.
- Javaid M.M. & Tanveer A. (2014) Germination ecology of *Emex spinosa* and *Emex australis*, invasive weeds of winter crops. Weed Research, 54: 565-575.
- Kheddam M. & Adane N. (1996) Contribution à l'étude phyto-écologique des mauvaises herbes des cultures pérennes dans la plaine de la Mitidja. Aspect Floristique. Annales Agronomiques, 17(1 et 2): 1-26.
- Labrada R. (1998) Problems related to the development of weed management in the developing world. In: Report of the Expert Consultation on Weed Ecology and Management, pp.7-12, FAO, Rome.
- Lal R., Regnier E., Eckert D.J., Edwards W.M. & Hammond R. (1991) Expectations of covers crops for sustainable agriculture. In: Covers crops for clean water, W L Hargrove (Ed), pp 1-10. Soil and water Conservation Society, Aukeny (Iowa).
- Le Goupil G. (2020) État des lieux de la résistance aux herbicides dans le monde. 24^e conférence du COLUMA sur la lutte contre les mauvaises herbes. Orléans, du 3 au 5 décembre 2019). Phytoma - 733, pp. 32.
- Liebman M. & Davis A.S. (2000) Integration of soil, crop, and weed management in low- external-input farming systems. Weed Res., 40: 27-47.

- MADREF /DERD (2002) Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. La qualité des raisins de table. Effets de certaines pratiques culturales.
- Mailly F., Barbier J.M. & Thiollet-Scholtus M. (2015) "Impact of soil and canopy management practices on pesticide use in viticulture in french regions" In: IPM Innovation in Europe: book of abstracts pp. 149.
- Moreira I., Guillem J.L., Caixinhas L. & al. (1986) Mauvaises herbes des vergers et vignes de l'ouest du bassin méditerranéen. Departamento de Botanica, Instituto Superior de Agronomica, Lisboa, 185 p.
- Morlat R., Jacquet A. & Asselin C. (1993) Principaux effets de l'enherbement permanent contrôlé du sol, dans un essai de longue durée en Anjou. Progrès agricole et viticole, 110(9): 406-410.
- OIV (2019) Note de conjoncture vitivinicole mondiale 2021. <https://www.oiv.int/fr>.
- OVLAC (2022) <https://ovlac.com/fr/produits/>
- Pelsy F. & Merdinoglu D. (2021) La vigne, miracle de la nature. Ed. Quae, Versailles, France, 176 p.
- Petersen G., Rasmussen D. & Gustavson K. (2007) Study on enhancing the Endocrine Disrupter priority list with a focus on low production volume chemicals, DHI, 53559.
- RAP (2019) Pépinières ornementales. Herbicides homologués au printemps. Réseau d'avertissement phytosanitaire. Bulletin d'information, N° 4, 7 p.
- Reineke A. & Hauck M. (2013) Development of larval instars of *Empoasca vitis* and *Edwardsiana rosae* (Homoptera: Cicadellidae) on grapevine leaves at different temperature regimes. IOBCWPRS Bulletin, vol. 85: 217-221.
- Reznick D. N. & Cameron K.G. (2001) The population ecology of contemporary adaptations: what empirical studies reveal about the conditions that promote adaptive evolution. Genetica, 112-113: 183-198.
- Ripoche A., Metay A., Celette F. & Gary C. (2011) Changing the soil surface management in vineyards: Immediate and delayed effects on the growth and yield of grapevine. Plant Soil, 339(1-2): 259-271. doi:10.1007/s11104-010-0573-1.
- Saguez J., Olivier C., Lasnier J., Hamilton A., Stobbs L. & Vincent C. (2015) Biologie et lutte intégrée contre les cicadelles et les maladies à phytoplasmes des vignobles de l'est du Canada. Bulletin technique, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 68 p.
- Sattin M. et Berti A. (2005) Paramètres pour la compétition mauvaise herbe-culture. In: Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement, Labrada R. (ed), pp. 21-38, FAO, Rome, Italie.
- Sorbier A. (2008) Chambre d'Agriculture de l'Hérault: fiche technique du raisin de table.
- Taleb A., Bouhache M., Kharibach F. & Chafik Z. (2004) Flore adventice des vignobles du Maroc: aspects systématiques et agronomiques. XIIème Colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon, France, pp. 329-336.
- Tanji A., Toufiq M., Bencharki B. & Ghoulam C. (1995) Mauvaises herbes hôtes de quelques maladies importantes au Maroc. AI Awamia, 90: 59-67.
- Tanji A. (2014) Désherbage de la canne à sucre, résultats de trois campagnes agricoles 2010-13. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture, N° 200, Avril 2014.
- Tanji A. (2021) Maïs: rappel des stratégies de gestion des adventices. Agriculture du Maghreb, 135:80-81.
- Thomas (2022) Vignobles Thomas. <https://www.chateaureverdi.fr>
- Tomlin C.D.S. (2006) The Pesticide Manual, 14th edition, The British Crop Protection Council. Alton, Hampshire, pp. 186-187.
- Touahar A., Zidane L. & Bensellam E.H. (2021) Resistance of weeds to herbicides in the Gharb region of Morocco. Plant Cell Biotechnology And Molecular Biology, 22(23-24): 116-121.
- Viti Veille (2021) <https://www.mon-viti.com/filinfo/viticulture/le-guide-interactif-garance-aide-reconnaitre-les-adventices-des-vignes>.
- Warwick S.I. (1979) The Biology of Canadian Weeds. 37. *Poa annua* L. Canadian Journal of Plant Science, 59(4): 1053-1066.
- Weaver S. (2001) The biology of Canadian weeds. 115. *Conyza Canadensis*. Canadian Journal of Plant Science, 81(4): 867-875.

Wikipedia (2021) <https://fr.wikipedia.org>. L'encyclopédie libre.

Wylleman R., Ronzon T. & Denis C. (2005) Bien choisir et mieux utiliser ses outils de désherbage mécanique: Guide pratique à destination des techniciens et agriculteurs en technique biologique et/ou conventionnelle, Chambre d'Agriculture de l'Yonne, Auxerre, 32 p.

Zanin G., Otto S., Riello L. & Borin M. (1997) " Ecological interpretation of weed flora dynamics under different tillage systems". Agric. Ecosyst. Environ., 66:177-188 (Date de consultation: Avril/2022).

Gestion des adventices des vergers d'agrumes

El Hassane BENSELLAM

1. Introduction

1.1. Importance des agrumes à l'échelle mondiale

La production mondiale d'agrumes, toutes espèces confondues, s'élève à plus de 110 millions de tonnes par an, sur une superficie de 7,5 millions d'hectares environ. Les oranges représentent environ 60% de la production totale d'agrumes. Les rendements moyens se situent entre 5,3 et 6,7 tonnes/ha, mais les pays aux cultures plus intensives atteignent une moyenne nationale de 11 à 15,5 tonnes/ha. Dans les régions les plus propices, les meilleurs producteurs parviennent à produire 20 à 26 tonnes/ha. Le Brésil à lui seul, cultive un quart de la production mondiale d'agrumes dont 75% sont transformés en jus. La Chine et les États-Unis sont également d'importants producteurs avec respectivement 17,6 et 11 millions de tonnes. Ensemble, le Brésil et les États-Unis représentent plus de 90% de la production mondiale de jus d'orange. Environ 22 millions de tonnes d'agrumes sont produits dans la région méditerranéenne, principalement pour la consommation de fruits frais. L'Espagne, l'Italie, l'Égypte, la Turquie et la Grèce sont les principaux producteurs. En Afrique, le Maroc représente le 3^{ème} acteur sur le marché des agrumes derrière l'Afrique du Sud et l'Égypte. Si sur la dernière décennie la filière a enregistré une progression dynamique de ses expéditions, la tendance est au ralentissement depuis quelques saisons (Anonyme, 2022).

Plus de 90% de la production mondiale d'agrumes frais sont consommés dans le pays d'origine. La région méditerranéenne est le plus grand exportateur de fruits frais. Les principaux importateurs sont l'Allemagne, la France, les Pays-Bas et le Royaume-Uni (Anonyme, 2021). Aujourd'hui, le Maroc est le 8ème exportateur mondial d'agrumes avec 681.000 tonnes écoulées dont près de 360.000 tonnes de clémentines, ce qui en fait le second fournisseur mondial derrière l'Espagne (Harbouze & al., 2019).

1.2. Importance des agrumes à l'échelle nationale

Avec une superficie de l'ordre de 129.000 ha et une production moyenne de 2,4 millions de tonnes, le secteur des agrumes au Maroc joue un rôle socio-économique important. Sur le plan social, la filière agrumicole contribue de manière substantielle à l'amélioration des revenus des agriculteurs dont le nombre total s'élève à environ 12.000 (Tableau 1). Les principales régions productrices des agrumes sont le Souss, le Gharb, le Moulouya, le Tadla et le Haouz avec respectivement 40.450, 26.200, 21.520, 17.300 et 17.260 Ha (Tableau 2). La Clémentine, les Navels et la Maroc-late sont les principales variétés cultivées au Maroc avec 30,2; 18,4 et 30,3% respectivement (Tableau 3) (Maroc citrus, 2021).

Tableau 1: Quelques données générales sur la filière des agrumes (Maroc Citrus, 2021).

Superficie actuelle	129.000 Ha
Production moyenne	2,4 millions T
Export moyen	620.000 T
Transformation	50.000 T
Marché local	1,73 millions T
Nombre de producteurs	12.000
Nombre de stations de conditionnement	66 unités
Usine de jus	4 unités
Journées de travail	30 millions de JT/an
Entrées en devises	4 à 5 milliards DH/an

Tableau 2: Superficie des agrumes par région (Maroc Citrus, 2021).

Région	Superficie (Ha)	Part
en% Souss	40.450	31,3
Gharb	26.200	20,3
Moulouya	21.520	16,4
Tadla	17.300	13,4
Haouz	17.260	13,3
Loukkous	1.940	1,5
Autres régions	4.600	3,6
Total	129.270	100

Tableau 3: Superficie par variété d'agrumes (Maroc Citrus, 2021).

Variété	Superficie (Ha)	Part en%
Clémentine	39.000	30,2
Nour	7.850	6,1
Nadorcott	7.800	6,0
Autres petits fruits	10.510	8,1
Navels	23.800	18,4
Salustiana	1.150	0,3
Sanguines	3.700	2,9
Maroc-late	26.200	20,3
Autres oranges	5.800	4,5
Citron	3.460	2,7
Total	129.270	100

A partir de 2008, une stratégie de développement du secteur des agrumes a été mise en place au Maroc (Plan Maroc Vert) afin d'augmenter la production et la qualité en vue de satisfaire aussi bien le marché local que celui de l'export. Pour le développement de ce secteur vital, l'utilisation rationnelle de certains facteurs de production s'avère indispensable. En plus de certains facteurs abiotiques qui limitent le développement et l'amélioration de la productivité des agrumes au Maroc, ces cultures sont sujettes à différentes attaques des ravageurs, des maladies cryptogamiques et virales ainsi qu'à la compétition due aux mauvaises herbes. La part de chacun de ces facteurs est une question primordiale à l'établissement de tout programme de lutte visant le développement des agrumes au Maroc. En effet, les mauvaises herbes posent de sérieux problèmes aux agrumes. Elles ont des besoins écologiques similaires à ceux de la culture, pour leur croissance et leur développement et elles bénéficient des mêmes facteurs de croissance en particulier l'alimentation hydrique (Loussert, 1987) et minérale (Takaqi & *al.*, 1985). En plus, les mauvaises herbes constituent un refuge aux insectes nuisibles, aux vecteurs de maladies cryptogamiques et virales et un foyer pour certaines maladies virales et mycoplasmiques. Selon Analiza et Singh (2012), la lutte contre les mauvaises herbes représente 10 à 15% des coûts de production des agrumes. Différentes méthodes de lutte contre les mauvaises herbes sont envisagées pour les vergers d'agrumes: mécanique avec le covercroppage ou le fauchage, chimique avec l'utilisation des herbicides et autres techniques culturales.

2. Caractérisation de la flore adventice

La connaissance de la composition de la flore adventice et sa relation avec certains facteurs édapho-climatiques et/ou agro-techniques est un préalable indispensable à toute mise au point de stratégies de lutte contre les mauvaises herbes des vergers infestés (Photo 1). C'est la raison pour laquelle des études floristico-agronomiques et écologiques ont été entreprises dans différentes régions du secteur agrumicole du Maroc: au Souss (Bah Thierno, 1982; Wahbi et Taleb, 1995), au Haouz (Hilali, 1995; Taleb & *al.*, 1996), au Gharb (Bensellam & *al.*, 1997), au Moulouya (Talibi, 1999; Chafik, 2013) et au Tadla (Bay & *al.*, 2005).



Photo 1: Verger d'agrumes infesté par les mauvaises herbes, entre autres la mauve (*Malva parviflora*) (Photo, Taleb).

2.1. Aspect systématique

Les 502 relevés floristico-écologiques, réalisés dans les principales régions agrumicoles du Maroc, ont permis de recenser entre 134 et 248 espèces: [Tadla (134), Gharb (216), Moulouya (202), Souss (248) et Houz (200)], soit 403 espèces adventices au total. Cet effectif des adventices représente 48,1% de la flore adventice nationale, estimée à 838 espèces environs (Boulet & *al.*, 1989). Ces espèces appartiennent à 51 familles botaniques dont cinq monocotylédones, soit 38% des 135 familles botaniques de la flore marocaine (Jahandiez et Maire, 1931-34). Les *Asteraceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Brassicaceae*, *Apiaceae*, *Boraginaceae*, *Caryophyllaceae* et *Lamiaceae* constituent les huit principales familles botaniques les mieux représentées (Taleb et Bouhache, 2008). Ces familles, dont l'aire de répartition biogéographique notamment méditerranéenne, occupent une place importante au sein de la flore marocaine et peuvent s'adapter à des biotopes très diversifiés. Un grand nombre de leurs espèces présente des avantages en ce qui concerne leur dissémination. Les vergers visités sont caractérisés par une diversité spécifique qui varie entre 8 et 42 espèces par verger, avec une moyenne de 28 espèces par relevé. Cette diversité peut être attribuée aux conditions du milieu de la culture qui sont favorables à l'installation et à la colonisation par de nouvelles espèces et à l'insuffisance des traitements herbicides. Selon Maillet (1981), le passage d'une technique à l'autre bouleverse la composition floristique des communautés. L'abandon du travail du sol au profit de la non culture s'apparente à la création d'un nouveau biotope dans lequel on assiste à la constitution d'une nouvelle communauté de mauvaises herbes (Guillerm et Maillet, 1984; Maillet, 1988). La distribution et la caractérisation des groupements adventices sont fortement corrélées aux variables édaphiques (texture et teneur en calcaire total) (Bensellam & *al.*, 1997) et aux types d'irrigations (micro-jet, goutte à goutte, gravitaire, ...etc.) (Hilali, 1995).

2.2. Aspect éthologique

L'analyse du spectre biologique des espèces rencontrées, résumées dans le tableau 4, montre que:

Les thérophytes (annuelles) montrent une nette dominance, avec 75% de l'ensemble de l'effectif total. Il s'agit des annuelles d'hiver qui germent dès les premières pluies en profitant des irrigations destinées aux plantations d'agrumes en automne ou en hiver et fleurissent au printemps. Parmi ces espèces: *Astragalus boeticus*, *Bromus rigidus*, *Lolium rigidum*, *Papaver rhoeas*, *Poa annua*, *Sinapis arvensis*, ...etc.,

Les pluriannuelles (pérennes et vivaces) constituent presque 25% du cortège spécifique inventorié et les géophytes qui prédominent, avec 13,5% de l'effectif total dont certains sont très abondants et très fréquents comme c'est le cas de *Cynodon dactylon*, *Paspalum pasaploides*, *Oxalis pes-caprae*, *Cyperus rotundus*, *Cardaria draba*, *Convolvulus arvensis*,

Arisarum vulgare, etc. Ces espèces s'adaptent bien aux étages sub-humide et semi-aride et se maintiennent grâce aux organes végétatifs (bulbes, rhizomes, tubercules et stolons). Ces géophytes sont favorisées par les techniques culturales fréquemment utilisées (labour, cover-cropage) dans les vergers d'agrumes (Tanji & *al.*, 1984; Tahri & *al.*, 1988; Bensellam & *al.*, 1997). Les hémicryptophytes, les chaméphytes et les nanophanérophytes représentent respectivement 6,1; 2,4 et 2,3% de l'ensemble de l'effectif. Elles sont caractéristiques des milieux faiblement mécanisés ou difficilement atteints tels que les sous frondaisons des arbres d'agrumes. Les nanophanérophytes sont constituées notamment par les plantes habituellement cultivées, telles que le grenadier, l'olivier, la vigne et le jujubier, Les plantes parasites représentées par la cuscute (*Cuscuta monogyna*) a été la seule espèce parasite qui a été recensée dans les vergers d'agrumes, avec une répartition sous forme de tâches dans les vergers de la Basse Moulouya (Talibi, 1999), Haouz (Hilali, 1995) et Tadla (Baye, 2008). Elle utilise l'espèce *Convolvulus arvensis* comme support ou s'attache directement aux arbres d'agrumes. Cette plante parasite pose des problèmes sporadiques au niveau de certains vergers de Souss (El Antri et Bouraga, 1986). Son cycle biologique et son développement coïncide avec le grossissement de fruits et leur maturation, ce qui a un impact très négatif sur la production des agrumes (Baye, 2008 et 2012).

Tableau 4: Types biologique des espèces.

Types éthologiques	Contribution(%)
Thérophytes	75,3
Géophytes	13,5
Hémicryptophytes	6,1
Chaméphytes	2,4
Nanophanérophytes	3,3
Parasites	0,4

A l'échelle régionale, le tableau 5 résume l'importance et la nature de la flore adventice d'agrumes dans les différentes régions du Maroc. En général, le nombre d'espèces et celui des familles ne varient pas énormément entre les régions et oscillent entre 200 et 248 pour les espèces et entre 39 et 47 pour les familles. Aux Gharb, Haouz et Souss les dicotylédones et les thérophytes sont majoritaires et sont respectivement, aux alentours de 80 et 76%. A la Basse-Moulouya, la contribution des thérophytes est de 58%.

Tableau 5: Importance et nature de la flore adventice des agrumes dans les différentes régions du Maroc.

Espèce	Gharb Bensellam & <i>al.</i> , 1997	Haouz Hilali, 1995 Taleb & <i>al.</i> , 1996	Souss Bah Tierno, 1982 Wahbi et Taleb, 1995	Basse-Moulouya Talibi, 1999
	216	200	248	202
Famille	47	40	39	40
Dicotylédone	81,0%	84,0%	83,0%	81,0%
Monocotylédone	19,0%	16,0%	17,0%	19,0%
Thérophyte	76,4%	77,0%	74,3%	58,0%
Géophyte	15,3%	11,5%	10,9%	18,0%
Hémicryptophyte	3,7%	9,0%	8,0%	16,0%
Chaméphyte	2,8%	1,0%	4,0%	2,5%
Nanophanérophyte	1,8%	1,0%	1,4%	5,0%
Parasite	0,0%	0,5%	1,4%	0,5%

2.3. Espèces problématiques

Dans les régions étudiées, les espèces les plus problématiques sont, à quelques différences près, les mêmes. Le tableau 6 présente les 52 espèces (classées par ordre alphabétique) qui posent localement ou à l'échelle nationale de sérieux problèmes aux vergers d'agrumes qui se traduisent par d'importantes chutes de rendement et de la qualité des fruits. Seules les espèces dont le degré de présence est supérieur à 20% au moins dans une région, ont été considérées.

Tableau 6: Principales espèces nuisibles aux vergers d'agrumes (Taleb et Bouhache, 2008).

Espèce	Famille botanique	Classe botanique
Vivaces		
<i>Arisarum simorrhinum</i>	<i>Araceae</i>	Monocotylédone
<i>Atriplex semibaccata</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Bryonia dioica</i>	<i>Cucurbitaceae</i>	Dicotylédone
<i>Convolvulus althoeoides</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Monocotylédone
<i>Datura stramonium</i>	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone
<i>Ecbalium elaterium</i>	<i>Cucurbitaceae</i>	Dicotylédone
<i>Lonicera etrusca</i>	<i>Caprifoliaceae</i>	Dicotylédone
<i>Oxalis pes-caprae</i>	<i>Oxalidaceae</i>	Dicotylédone
<i>Paspalum paspalodes</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Paspalum vaginatum</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Phragmites communis</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Piptatherum miliaceum</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Psoralea americana</i>	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Rubia peregrina</i>	<i>Rubiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Rubus ulmifolius</i>	<i>Rosaceae</i>	Dicotylédone
<i>Sorghum halepense</i>	<i>Rubiaceae</i>	Monocotylédone
Annuelles		
<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Malvaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus albus</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus blitoides</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus hybridus</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Amaranthus rethroflexus</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Dicotylédone
<i>Anagalis foemina</i>	<i>Primulaceae</i>	Dicotylédone
<i>Beta macrocarpa</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Bromus rigidus</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Calendula aegyptiaca</i>	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Chenopodium murale</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Conyza canadensis</i>	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Diploaxis catholica</i>	<i>Brassicaceae</i>	Dicotylédone
<i>Emex spinosa</i>	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Erodium laciniatum</i>	<i>Geraneaceae</i>	Dicotylédone
<i>Launaea nudicaulis</i>	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone

Tableau 6 (suite)

<i>Lolium rigidum</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Lotus arenarius</i>	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Malva parviflora</i>	<i>Malvaceae</i>	Dicotylédone
<i>Medicago polymorpha</i>	<i>Fabaceae</i>	Dicotylédone
<i>Papaver argemone</i>	<i>Papaveraceae</i>	Dicotylédone
<i>Phalaris paradoxa</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Plantago major</i>	<i>Plantaginaceae</i>	Dicotylédone
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Portulacaceae</i>	Dicotylédone
<i>Rumex pulcher</i>	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Rumex vesicarius</i>	<i>Polygonaceae</i>	Dicotylédone
<i>Setaria verticillata</i>	<i>Poaceae</i>	Monocotylédone
<i>Sherardia arvensis</i>	<i>Rubiaceae</i>	Dicotylédone
<i>Sinapis arvensis</i>	<i>Brassicaceae</i>	Dicotylédone
<i>Solanum nigrum</i>	<i>Solanaceae</i>	Dicotylédone
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Asteraceae</i>	Dicotylédone
<i>Torilis nodosa</i>	<i>Apiaceae</i>	Dicotylédone

Ce cortège floristique dont la plupart de ses espèces redoutables sont vivaces telles que *Convolvulus arvensis*, *C.*, *althaeoides*, *Cynodon dactylon*, *Arisarum simorrhinum*, *Bryonia dioica*, *Rubia perigrina*, *Oxalis pes-caprae* et *Pipatatherum miliaceum*. Certaines de ces espèces vivaces [*Cynodon dactylon* (Photo 2), *Cyperus rotundus* (Photo, 3)] sont considérées de loin parmi les plus nuisibles dans les régions agrumicoles du Souss (Wahbi et Taleb, 1995), du Haouz (Taleb & *al.*, 1996), du Gharb (Bensellam & *al.*, 1977) et du Tadla (Baye & *al.*, 2005), ainsi que dans les principales régions agricoles du Maroc (Tahri, 1996). De même, l'étude écologique et biologique de *Cyperus rotundus*, réalisée par Berrichi (1995), a montré que cette espèce est très fréquente dans la région de Triffa (Basse Moulouya) et elle infeste les agrumes plus que les autres cultures.



Photo 2: Jeune plantation infestée par le chiendent (*Cynodon dactylon*).



Photo 3: Jeune plantation infestée par le souchet à tubercule ou cyperus (*Cyperus rotundus*).

La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) est une autre espèce vivace qui a été introduite dans la région du Tadla vers les années 1950. Elle cause un sérieux problème aux vergers d'agrumes de cette région (Photo 4). Actuellement, cette espèce s'étend de plus en plus aux autres régions du Maroc.

Généralement, les adventices vivaces ont été observés essentiellement à côté des troncs des arbres et échappent aux procédés de désherbage (labour et désherbage manuel ou chimique). Derrière les vivaces, les annuelles (Therophytes): *Urtica urens*, *Bromus rigidus*, *Emex spinosa*, *Mercurialis annua*, *Euphorbia peplus*, *Galium verrucosum*, *Amaranthus retroflexus*, *Poa annua*, *Sonchus oleraceus*, *Conyza canadensis*, *Chenopodium album*, *Sonchus asper*, *Papaver rhoeas*, *Solanum nigrum*, *Anagalis foemina* et *Lolium rigidum*, sont les plus fréquentes et elles sont aussi problématiques aux agrumes mais à un degré moindre que les vivaces.



Photo 4: Verger d'agrumes infesté par la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) dans la région du Tadla.

3. Impact des adventices sur les agrumes

3.1. Nuisibilité directe

Par le phénomène de concurrence, les adventices absorbent une grande partie de l'eau et des éléments nutritifs mis à la disposition des arbres. Elles ne les restituent que partiellement, lors de leurs décompositions à la fin de leurs cycles de vie, et souvent à une époque où la culture n'en a plus besoin. Ces adventices ont une incidence considérable sur l'évapotranspiration des réserves d'eau du sol surtout dans les zones où cet élément fait défaut comme dans le Souss.

Les études sur le prélèvement de l'azote par les mauvaises herbes ont montré que la plupart des racines des adventices se situent à une profondeur inférieure à 5 cm alors que celles des agrumes sont au-delà de cette profondeur. Avec un enherbement permanent, les adventices absorbent 38,6% d'azote du sol (Takaqi & al., 1985). L'absorption des éléments nutritifs par les adventices tels que l'azote peuvent varier d'une espèce à une autre et que les exportations des espèces comme *Amaranthus retroflexus* et *Convolvulus arvensis* peuvent atteindre 75% des besoins de l'arbre. Pour la potasse, dans certains cas, les besoins pour quelques adventices peuvent être même supérieurs à ceux de l'arbre. Alors que les exigences des mauvaises herbes en phosphore dans un verger d'agrumes, sont généralement très faibles (El Antri et Bouraga, 1986). Pour les plantes parasites, au Tadla par exemple, les pertes de rendement dues à la cuscute peuvent aller jusqu'à 40%. Une forte infestation pendant plusieurs années, pourrait entraîner la mort de l'arbre (Baye, 2008).

3.2. Nuisibilité indirecte

Les adventices constituent fréquemment des refuges pour des insectes et des vecteurs de maladies d'agrumes. C'est le cas des virus sur *Chenopodium album* (Bah Thierno, 1982) et des mycoplasmes tel que *Spiroplasma citri* sur *Cynodon dactylon* (Viennot, 1978). Les mauvaises herbes dans les vergers d'agrumes peuvent aussi constituer un réservoir important d'acariens. L'association *Tetranychus Urticae-Solanum nigrum* et *T. urticae - Convolvulus arvensis* a été signalée par de nombreux travaux (Valentin & al., 1989; Ouguas, 1991). Boulfekhar (1987) a rapporté que l'infestation de *Tydeusformos*, acarien nuisible des agrumes au Gharb (Smirnoff, 1957 et 1959), est étendue à des adventices. Ouguas (1991) a constaté que le désherbage du verger paraît jouer un rôle prépondérant dans les migrations de *T. urticae* vers certaines mauvaises herbes et elle a pu conclure que si un désherbage manuel ou chimique s'impose dans un verger, il doit viser en premier les adventices *Solanum nigrum* et *Convolvulus arvensis*. Peu de temps après, un traitement des agrumes avec un acaricide est conseillé pour supprimer les populations migrantes et nouvellement installées sur les arbres. D'autres observations empiriques tendent à affirmer que la destruction du *Convolvulus arvensis* avec certains herbicides tels que le glyphosate provoque des migrations massives de *T. urticae* vers les agrumes (Valentin & al., 1989). En testant l'action de quatre herbicides sur les migrations des tetranyques, Kreiter & al. (1989) ont constaté ce qui suit:

- l'Aminotriazol est très répulsif mais très peu toxique sur les acariens. Il engendre une faible survie de la population;
- le Glufosinate d'ammonium est très peu répulsif mais très toxique;
- le Glyphosate est très répulsif et très peu toxique;
- le Paraquat est répulsif et toxique sur les acariens.

Dans le même sens, Bals & al. (1983) ont étudié l'effet de trois situations sur la migration de *T. urticae* en verger de pommier: 1) sol nu désherbé avec herbicides de contact, 2) sol avec mauvaises herbes et 3) sol avec enherbement total avec les graminées. Une forte migration de l'acarien étudié a été enregistrée dans le cas du sol nu, avec un déplacement de ce dernier depuis les adventices de l'interligne vers les arbres. En plus, les mauvaises herbes, sans qu'elles soient hôtes des parasites, créent au niveau des parties basses des arbres un microclimat humide favorable au développement des champignons. Aussi, une végétation exubérante est aussi un gène pour la réalisation des travaux tels que labour, taille, irrigation...etc.

4. Gestion des adventices dans les vergers d'agrumes

Les agrumes sont un investissement à long terme et les producteurs ne peuvent pas tolérer des pertes de rendement dues à la concurrence des mauvaises herbes, ou à une mauvaise application de produits chimiques ou à des opérations culturales. Le moment le plus critique pour contrôler les mauvaises herbes dans les plantations est durant l'établissement des arbres, qui s'étend de 3 à 6 ans selon la fertilité du sol. Les méthodes de contrôle des mauvaises herbes dans les agrumes sont généralement classées comme préventives, culturales, biologiques et chimiques. Cependant, en raison de la rareté et/ou du coût élevé de la main-d'œuvre, l'industrie des agrumes repose sur l'utilisation d'herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes non seulement sous la frondaison, mais également au milieu des rangs.

4.1. Méthodes préventives

La prévention est la meilleure approche pour réduire les pertes éventuelles dues aux mauvaises herbes. L'identification et le contrôle des nouveaux adventices, avant leur dissémination généralisée, réduisent considérablement le coût des opérations de désherbage ultérieures.

4.2. Méthodes culturales

Le travail du sol est la méthode traditionnelle de lutte contre les mauvaises herbes et elle est encore utilisée comme technique majeure de gestion des adventices dans les plantations d'agrumes au Maroc. Cependant, le travail du sol en profondeur peut également avoir des effets nocifs. Il peut détruire la couche de racines nourricières d'agrumes qui absorbent les nutriments, l'eau et l'oxygène dans la couche arable. Il peut aussi contribuer à l'érosion des sols. Les labours peuvent également augmenter la population de mauvaises herbes en ramenant des graines enfouies à la surface ou en répandant des rhizomes, des tubercules, des stolons ou des bulbes des espèces vivaces. La conduite d'une parcelle entre 1974 et 1980 dans la région de Marrakech par Vanderweyen & *al.* (1981) a conduit aux résultats suivants: la flore adventice au début était dominée par *Cyperus rotundus.*, *Cynodon dactylon*, *Convolvulus arvensis*, *Solanum nigrum*, *Portulaca* sp., *Sorghum halepense*, *Malva* sp., *Digitaria sanguinalis*, *Sinapis arvensis*, *Rumex* sp., *Avena fatua*, *Setaria glauca* et *Chenopodium* sp. avec une couverture de 50 à 70%. Le *Cyperus* et le chiendent étaient sous forme de taches et recouvrent 1 à 10% de la surface. Au terme de six années d'essais, dans la parcelle labourée à la charrue à disque, la couverture était constituée de tache de *cyperus* et de *chiendent*, de quelques plantes de liseron, de mauve, de moutarde et de graminées diverses. Dans la parcelle entretenue avec fauchage, la couverture des adventices a rapidement évolué vers un tapis de *cyperus* et surtout de chiendent.

4.3. Méthodes biologiques

Les herbicides sont utilisés en grande quantité dans le monde que n'importe quelle autre classe de pesticides. Cependant, ils ont été trouvés dans l'eau de surface et dans la nappe phréatique (Goodrich & *al.*, 1991; Goolsby & *al.*, 1991). Ainsi, vu l'importance de leur impact sur l'environnement et la santé humaine, la recherche des méthodes de contrôle non conventionnelles qui visent à la fois l'efficacité et la protection de l'environnement est devenue une nécessité primordiale. L'allélopathie peut être l'une de ces méthodes. En effet, les travaux antérieurs ont pu montrer les effets allélopathiques de certaines espèces sur d'autres via la sécrétion des substances allélochimiques phytotoxiques. Plusieurs auteurs ont confirmé l'existence de substances allélopathiques dans la luzerne qui sont aussi bien autotoxiques que toxiques à d'autres espèces (Bensellam & *al.*, 2005a). Ces substances de nature biologique peuvent être toxiques à une large gamme d'espèces de mauvaises herbes et peuvent être exploitées comme des substituts aux herbicides. Les substances allélopathiques potentielles à partir des extraits aqueux de la luzerne ont été isolées, caractérisées et testées sur le chiendent et le *cyperus*. L'étude de la fraction active a révélé la présence de plusieurs acides phénoliques dans la partie aérienne et racinaire de la luzerne. Les standards de ces produits ont été testés séparément à la dose de 10 mM sur le *cyperus* et le chiendent. L'acide gentisique, salicylique, p-coumarique, furilique, p-hydroxybenzoïque, syringique et gallique ont inhibé la croissance de ces deux espèces (Bensellam & *al.*, 2005b). C'est ainsi, l'installation de la luzerne dans un verger d'agrumes trois à quatre années

contrôle efficacement le cyperus et le chiendent et maintien leurs teneurs en hydrate de carbone à un niveau faible par rapport au témoin sans luzerne (Bensellam et Bouhache, 2007).

4.4. Méthodes chimiques

La gestion des mauvaises herbes avec des herbicides est une pratique moins chère et plus efficace contre l'infestation des mauvaises herbes, en particulier lorsqu'elle est combinée avec d'autres mesures de contrôle. Les herbicides homologués au Maroc, pour le contrôle des mauvaises herbes, sur les agrumes sont généralement des herbicides de post-levée (Tableau 7). L'herbicide majoritaire est le Glyphosate utilisé seul ou combiné à l'Oxyfluorène. Le Glyphosate et le Cycloxydime sont des herbicides systémiques, le premier contrôle les adventices dicotylédones et graminées annuelles et vivace, alors que le deuxième agit sur les graminées annuelles et vivaces. Les autres herbicides à savoir, l'Oxadiazon, l'Oxyfluorène et le Terbutylazine sont des herbicides de contact et contrôlent uniquement les dicotylédones et les graminées annuelles (Tableau 7). Vue les exigences du marché mondial, chaque année on assiste à une élimination d'un certain nombre d'herbicides du marché national.

Le glyphosate est un herbicide non sélectif qui tue les plantes mono et dicotylédones de cycles annuels ou pérennes. Le Glyphosate bloque la biosynthèse des acides aminés aromatiques produits par la voie de shikimate: la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane (Gravena & *al.*, 2012). Cet herbicide est largement utilisé dans le monde entier en raison de son large spectre d'efficacité contre les mauvaises herbes et de son coût moins élevé. Cependant, un bon contrôle chimique des mauvaises herbes par l'application de glyphosate dépend de la nature de la flore adventice dominante et des taux d'application. Son efficacité est approuvée expérimentalement au Souss (Vandrewen & *al.*, 1981), au Haouz (El Khadir et Amrani, 1992; Hajjaji et El Oualkadi, 2019), au Tadla (Bensellam, 1998; Baye & *al.*, 2005, Baye & *al.*, 2007), au Gharb (Bensellam et Bouhache, 2005c, 2007 et 2008).

Tableau 7: Herbicides homologués pour le désherbage des agrumes au Maroc (ONSSA, 2022).

Matières actives (Concentration)	Produits commerciaux (P.C.)	Spectre d'action	Dose /ha (P.C.)
Glyphosate (480 g/l)	Allout 480 SL	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Atila	Dicotylédones et Graminées	3 à 6 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Barclay barbarian super 360	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate (450 g/l)	Barclay glyfast 450	Dicotylédones et Graminées	4,5 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Boom efekt	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Boom super	Dicotylédones et Graminées vivaces	6 L
Glyphosate (360 g/l)	Buggy green	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate (360 g/l)	Clinic pro	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate –acide (360 g/l)	Coloso extra	Adventices vivaces Adventices annuelles	6 L 3 L
Glyphosate (480 g/l)	Diss	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L

Tableau 7 (suite)

Oxadiazon(250 g/l)	Festival	Dicotylédones et Graminées annuelles	4 L
Cycloxydime (100 g/l)	Focus ultra	Graminées annuelles et vivaces	4 L
Glyphosate (360 g/l)	Glyfotdi	Dicotylédones et Graminées vivaces Dicotylédones et Graminées annuelles	6 L 3 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Glyster fort	Dicotylédones et Graminées vivaces Dicotylédones et Graminées annuelles	6 L 3 L
Oxyfluorène (480 g/l)	Goal 480 SC	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Granup 41	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Saflufenacil (70%)	Heat WG	Dicotylédones annuelles	70 G
Glyphosate (480g/l)	Ilex	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L
Glyphosate (360 g/l)	Kalach	Dicotylédones et Graminées	3 à 6 L
Oxyfluorène (240 g/l)	Laser	Adventices dicotylédones	3 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (200 g/l) / Oxyfluorène (30 g/l)	Laser plus	Dicotylédones et Graminées	6 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360g/l)	Nasa green 36 SL	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate (360 g/l) / Oxyfluorène (30 g/l)	Ovni XL	Adventices annuelles Adventices vivaces	2 L 4 L
Glyphosate (360 g/l)	Patriot 360 SL	Adventices annuelles Adventices vivaces	3 L 6 L
Glyphosate –acide (360 g/l)	Proliancequattro	Adventices annuelles Adventices vivaces	3 L 6 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Raudo	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate (480 g/l)	Rondo	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (450 g/l)	Roundup turbo	Adventices annuelles Adventices vivaces	2 L 4,5 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Samba	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Oxyfluorène (240 g/l)	Samoudan	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate (360 g/l)	Stinger 360 SL	Adventices annuelles Adventices vivaces	3 L 6 L
Glyphosate (480 g/l)	Sweep	Dicotylédones et Graminées	4,5 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Symbol	Dicotyledones et Graminees annuelles	3 L

Tableau 7 (suite)

Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Systemic	Adventices vivaces Adventices annuelles	3 L 6 L
Glyphosate (450 g/l)	Target	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L
Terbuthylazine (500 g/l)	Terbuzine	Dicotylédones et Graminées	2 L
Oxyfluorène (240 g/l)	Totofen	Dicotylédones	3 L
Glyphosate –acide (360 g/l)	Touchdown system 4	Adventices annuelles Adventices vivaces	3 L 6 L
Glyphosate -sel d'isopropylamine (360 g/l)	Vesta	Dicotylédones et Graminées annuelles	3 L
Glyphosate (480g/l)	Yphos 48	Dicotylédones et Graminées annuelles	2 L

Une étude menée au Haouz a montré que le Glyphosate, a permis de réaliser le meilleur contrôle des adventices, comparé au fauchage et au covercavage. Le Glyphosate a aussi montré une action inhibitrice sur les fixateurs libres d'azote et sur les cellulotiques (El Khadir et Amrani, 1992). Cependant, il n'apparaît pas que celui-ci ait une influence néfaste sur les rendements, comme ça a été supporté par des essais effectués dans la région de Souss sur une dizaine d'années par Vanderweyen et *al.* (1981). Ces derniers ont également montré que la flore microbienne redevienne normale après environ un an après traitement. Une autre étude menée au Gharb a montré que la succession du Paraquat et d'Oxadiazon ainsi que la succession du Paraquat et du Glyphosate ont assuré une bonne efficacité sur la biomasse des dicotylédones et une efficacité faible sur celle des monocotylédones (Bensellam et Bouhache, 2007). Dans la même étude, l'application du Glyphosate seul en deux applications espacées de deux mois s'est montrée très efficace sur les adventices inventoriés dans le verger d'agrumes. Durant la deuxième année d'étude, l'utilisation du Glyphosate en été s'est montrée efficace contre le chiendent et le cyperus mais sans effet sur les autres espèces, après 240 jours après traitement.

Le labour, le fauchage et l'utilisation des herbicides de contact à la dose recommandée (Tableau 7) sont efficaces sur les espèces annuelles. Contre les vivaces tel que le chiendent et le cyperus, l'utilisation d'un herbicide en post-émergence, plus particulièrement au stade début floraison, suivi du Glyphosate (2,16 kg/ha) était efficace (Bensellam et Bouhache, 2005c). De même, au Tadla, Baye & *al.* (2005) ont trouvé que le Glyphosate à 2160 et 2400 g/ha a assuré un bon contrôle de *Cyperus rotundus*, espèce de loin la plus problématique des agrumes de la région de Tadla. Au Haouz, le Glyphosate appliqué à la dose de 1080 g/hectare et 720 g/hectare offrait un bon contrôle des mauvaises herbes associées aux agrumes. Ces taux d'application du Glyphosate ont engendré respectivement 88,07% et 81% de réduction de la densité des mauvaises herbes et 93,4% et 77,4% de réduction de la biomasse sèche des mauvaises herbes par rapport aux parcelles témoins. Par contre, l'application du Glyphosate à la dose de 360 g/ha a montré une très faible efficacité (Hajjaji et El Oualkadi, 2019).

Les travaux concernant la biologie des espèces vivaces intègrent le plus souvent une étude sur l'évolution des réserves glucidiques dans les organes de stockage au cours du cycle de développement de la plante (Horowitz, 1972; Moreira, 1977-78). En plus des renseignements sur la croissance et la capacité de régénération des mauvaises herbes, une telle étude permet de déterminer le stade opportun pour l'application des herbicides afin de mieux les contrôler. Ceci s'explique d'une part par le fait que la migration des herbicides systémiques phloème mobiles est liée à celle des hydrates de carbone (Sosebee, 1983) et d'autre part, les herbicides de contact sont plus efficaces s'ils sont appliqués au moment où la plante a épuisé ses réserves pour la croissance et la production de nouvelles pousses. Grâce à des analyses quantitatives et qualitatives, Bensellam et Bouhache (2007 et 2008) ont trouvé que les hydrates de carbones, dans les rhizomes et les tubercules, varient selon les stades

phénologiques du chiendent et du cyperus. Ils ont aussi trouvé que les principaux sucres hydrosolubles dans ces organes sont le saccharose, le glucose et le fructose. La nature et le taux de ces sucres varient d'une saison à l'autre (Bensellam et Bouhache, 2007 et 2008). Les résultats sur les hydrates de carbone non structuraux, rapportés par Berrichi (1995) et Hilali (1995) pour le souchet à tubercule et par Moreira (1977-78) et Chakir (1994) pour le chiendent, ont permis de souligner l'importance des tubercules et des rhizomes comme organes privilégiés pour le stockage des réserves glucidiques.

La lutte chimique contre *Solanum elaeagnifolium* a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, avec de nombreuses expérimentations menées au champ sur un grand nombre d'herbicides (doses, stades d'application, conditions climatiques, biotopes traités, etc.) par Baye & al. (2007), Bensellam (1998) et autres. Les résultats ont montré que le Glyphosate a une dose de 2160 g/ha s'est montré très performant. Il est préconisé principalement pour le traitement non sélectif des vergers d'agrumes, d'oliviers et d'autres arbres fruitiers contre *S. elaeagnifolium* lorsqu'il est appliqué au début de la floraison de l'adventice dans un verger bien irrigué.

5. Conclusion

Les agrumes sont d'une grande importance économique à l'échelle mondiale vu la superficie cultivée qui est d'environ 7,5 millions d'hectares. Au Maroc, les agrumes jouent un rôle socio-économique important en termes de nombre de journées de travail et de la somme de devises qu'ils apportent au pays. La flore associée aux agrumes au Maroc est très riche et très diversifiée. Les adventices vivaces sont les plus problématiques dans les vergers d'agrumes et elles sont fréquentes dans toutes les régions du pays. D'une manière directe ou indirecte, les adventices en général causent des pertes économiques importantes aux agrumiculteurs et leur contrôle s'avère indispensable. Différentes méthodes de lutte contre les mauvaises herbes peuvent être utilisées dans les vergers d'agrumes: préventives, culturales, biologiques et/ou chimiques. Le désherbage chimique, comparé aux autres méthodes, a été trouvé comme le moyen le plus efficace malgré le nombre restreint d'herbicides homologués au Maroc. Toutefois, la réussite d'un désherbage chimique est tributaire de la nature des herbicides utilisés et de la flore adventice à combattre. D'autres méthodes alternatives peuvent être envisagées, dans le futur, pour lutter contre les mauvaises herbes dans le verger d'agrumes tel que les méthodes culturales et biologiques (allélopathie, bioherbicides).

Références

- Analiza R.H.M. & Singh M. (2012) Weed Management Recommendations for Florida Citrus. Southwest Florida Research & Education Center, University of Florida, 24 July 2012, swfrec.ifas.ufl.edu/docs/pdf/squeezer/2012/july/ramirez_singh.pdf.
- Anonyme (2021) Les agrumes dans le monde. <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/agrumes/production-mondiale-agrumes/>
- Anonyme (2022) <https://www.agenceecofin.com/fruits/1910-92460-maroc-la-filiere-agrumes-anticipe-une-campagne-2021/2022-difficile-a-l-export>
- Bah Thierno O. (1982) Etude des groupements adventices des vergers du Souss (Maroc). Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, Rabat, 70 p.
- Bals I., Ballod M. & Baumgartner J. (1983) Densité et distribution des acariens phytophages et prédateurs au niveau de la couverture végétale et du sol en verger de pommiers. Flore auxiliaires en agriculture. ACTA: 295-300.
- Baye Y., Taleb A. & Bouhache M. (2005) Etat actuel de l'infestation des vergers d'agrumes par les mauvaises herbes vivaces et lutte chimique contre *Cyperus rotundus* L. Proc. 1^{er} Congrès A.M.M. Rabat, pp. 81-90.
- Baye Y., Ameer A., Bouhache M. & Taleb A. (2007) Stratégie de lutte chimique contre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) au Maroc. EPPO Bull., 37: 145-152.
- Baye Y. (2008) La cuscute des agrumes (*Cuscuta monogyna* Vahl.) au Tadla: Etat actuel de l'infestation, importance et cycle biologique. Symposium méditerranéen sur la protection phytosanitaire des agrumes, AMPP, Rabat, pp. 211-220.

- Baye Y. (2012) La cuscute (*Cuscuta monogyna* Vahl.), plante parasite sur agrumes et olivier: Importance, biologie et possibilité de lutte. Ier Colloque International Pluridisciplinaire sur l'arbre, Beni Mellal, pp. 43.
- Bensellam E.H., Bouhache M. & Taleb A. (1997) Etude des adventices des vergers d'agrumes dans le Gharb (Maroc): Aspects floristique, agronomique et écologique. *Weed Research*, 37: 201-210.
- Bensellam E.H. (1998) Lutte chimique contre *Solanum elaeagnifolium* dans les vergers d'agrumes et d'oliviers. 6ème Symposium Méditerranéen EWRS, Montpellier, France, pp. 323-324.
- Bensellam E.H. & Bouhache M. (2005a) Effet allélopathique de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur la croissance du cyperus (*Cyperus rotundus* L.) et du chiendent (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Symposium National sur les Adventices Vivaces, Mohammadia, pp. 65-71.
- Bensellam E.H. & Bouhache M. (2005b) Effet de différentes méthodes de désherbage sur le chiendent (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) et le souchet (*Cyperus rotundus* L.). Symposium National sur les Adventices Vivaces, Mohammadia, pp. 91-103.
- Bensellam E.H., Bouhache M. & Owen M.D.K. (2005) Effet allélopathique de la luzerne sur le cyperus (*Cyperus rotundus* L.): isolement et identification des substances allélopathiques. 10^{ème} Congrès de Malherbologie, SEMh, Huelva, Espagne, pp. 25-30.
- Bensellam E.H. & Bouhache M. (2007) Effet de différentes méthodes de désherbage sur les adventices d'un verger d'agrumes. *Al Awamia*, 121/122: 69-91.
- Bensellam E.H. & Bouhache M. (2008) Effet de différentes méthodes de désherbage sur les adventices du verger d'agrumes: cas du chiendent (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) et du souchet rond (*Cyperus rotundus* L.). Symposium Méditerranéen sur la Protection Phytosanitaire des Agrumes, Rabat, pp. 259-279.
- Berrichi A. (1995) Contribution à l'étude de l'écologie et la biologie de *Cyperus rotundus* L. de la plaine irriguée de Triffa (Maroc oriental). Thèse de doctorat en sciences biologiques, Faculté des Sciences, Université Mohammed premier, Oujda, Maroc, 338 p.
- Boulet C., Tanji A. & Taleb A. (1989) Index synonymique des taxons présents dans les milieux cultivés ou artificialisés du Maroc occidental. *Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc)*, vol. (3 et 4): 65-98.
- Boulfekhar H. (1987) Inventaire des acariens des citrus en Mitidja et étude bioécologique de *Tetranychus turkistani* U.N. (Acari: Tetranychidae) dans un verger d'oranger "Valanciate" à Rouiba. Thèse de Magister en Science Agronomique, Inst. Nat. Agro. El Harrach, Alger, 113 p.
- Chafik Z., Berrichi A., Bouali A. & Taleb A. (2013) Systematic, phytoecological and agronomic survey of citrus fruits weed flora in the North-eastern Morocco. *Moroccan Journal of Biology*, 10: 20-29.
- Chakir S. (1994) Contribution à l'étude de la biologie de trois graminées vivaces de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) dans le Loukkos. Thèse pour l'obtention du diplôme d'études supérieures de troisième cycle. Univ. Mohamed V, Fac. Sci., Rabat, 145 p.
- El Antri M. & Bouraga L. (1986) Importance agroéconomique des mauvaises herbes des cultures au Maroc. *Journée Nationale de Malherbologie*, 10 p.
- El Khadir M. & Amrani M. (1992) Microbiologie des sols. Réunion directeur – chercheur le 10 / 12 /1992.
- Goodrich J.A., Lykins J.B.W. & Clark R.M. (1991) Drinking water from agriculturally contaminated groundwater. *J. Environ. Qual.*, 20: 707-717.
- Goolsby D.A., Coup R.C. & Markovchick D.J. (1991) Distribution of selected herbicides and nitrate in the Mississippi River and its major tributaries, April through June 1991. *Water Resources Investigations Report 91-4163*, U.S. Geological Survey. Denver, Colorado.
- Gravena R., Filho R.V., Alves P.C., Mazzafera P. & Gravena A.R. (2012) Glyphosate has low toxicity to citrus plants growing in the field. *Canadian Journal of Plant Science*, 92: 119-127.
- Guillerm J.L. & Maillet J. (1984) Influence de l'environnement sur la flore des vignes désherbées chimiquement. 3rd Intern. Symp. EWRS on weed problems in the Mediterranean areas, Oeiras, Portugal, pp. 49-56.

- Hajjaj B. & El Oualkadi A. (2019) Efficacy of Different Glyphosate rates of Application on Weed Infestation in Citrus Orchards. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB), Vol. 4, Issue 4: 1273-1275.
- Harbouze R., Pellissier J.P., Rolland J.P. & Khechimi W. (2019) Rapport de synthèse sur l'agriculture au Maroc. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM, 104 p.
- Hilali S. (1995) Etude de la flore adventice des vergers d'agrumes du périmètre irrigué du Haouz central (Marrakech, Maroc): croissance, phénologie et réserves glucidiques – cas du *Cyperus rotundus* L.-. Thèse pour l'obtention du diplôme d'étude supérieure de troisième cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci., Marrakech, 200 p.
- Horowitz M. (1972) Development of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Weed Res., 12: 207-220.
- Jahandiez E. & Maire R. (1931-34) Catalogue des plantes du Maroc. 3 tomes, ed. Lechevallier. Paris, 913 p.
- Kreiter S., Brian F., Valentin G. & Moncomble D. (1989) influences des pesticides sur des populations de *T. urtica* et de *T. turkestanii* dans les vignobles de France. Coll. Sur les acariens des cultures, Montpellier, Annales ANPP, 2: 353-361.
- Loussert R. (1987) Les agrumes. Techniques agricoles méditerranéennes. 158 p.
- Maillet J. (1981) Evolution des peuplements dans le Montpelleraie sous la pression de techniques culturales. Thèse DDI, USTL, Montpellier, 200 p.
- Maillet J. (1988) Evolution des peuplements d'adventices des vignobles Montpelliérains. 8ème Coll. Intern. Biol. Ecil. et Syst. des mauvaises herbes, ANPP, Dijon, France, pp. 485-496.
- Maroc Citrus (2021) Communication orale, Journée d'information sur les variétés d'agrumes de l'INRA, Kénitra, 16 décembre 2021.
- Moreira I. (1977-78) Evaluacao sazonal das reservas de hidratos de carbono de rizomas de *Cynodon dactylon* L. pers e de *Panicum repens* L. Revista de ciências Agrárias, 2: 129-136.
- ONSSA (2022) <https://www.agrimaroc.ma/index-phytosanitaire-maroc/a>
- Ouguas Y. (1991) Etudes des conditions naturelles de quelques facteurs impliqués dans la genèse des infestations des agrumes par *Tetranychus urticae* (Koch) (Acaria: tetranychidae) au Gharb. Mémoire de 3^{ème} cycle agronomie, IAV. Hassan II, Rabat, Maroc, 90 p.
- Smirnoff W.A. (1957) An underscribed species of *Lorryia* sp. (Acarina, Tydeidae) causing injury to citrus trees in Morocco. J. Ecom. Ent., 50: 361-362.
- Smirnoff W.A. (1959) Une nouvelle espèce d'acarien *Lorryia* sp. (Tydeidae-KRAMBR) vivant sur citrus au Maroc. Fruits et primeurs, 29: 25-27.
- Sosebee R.E. (1983) Physiological, phenological and environmental considerations in brush and weed control. In: Brush management symposium proceeding, K.C. Mc Daniel (ed), pp. 27-63, Ann. Meeting of Soc. Range Manage. Al Burquerque, NM, USA.
- Tahri M., Bouhache M. & Boulet C. (1988) Contribution à l'étude de la régénération végétative de *Solanum elaeagnifolium* Cav. Adventice du Tadla (Maroc). VIII ème colloque international sur la biologie et la systématique des mauvaises herbes, Dijon, France, pp. 153-161.
- Tahri M. (1997) Etude floristico-agronomique des adventices vivaces des principales cultures des différentes régions agricoles du Maroc Central et Occidental. Mémoire d'ingénieur en chef, 116p.
- Takaqi N., Akamatsu S. & Shimizu M. (1985) Effect of spring weed cover on 15 N uptake by citrus trees under orchard conditions. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, vol 54(3): 307-314.
- Taleb A., Rzozi S.R. & Ouhamou M. (1996) Flore adventice des vergers d'agrumes du Haouz central, aspect floristique. Actes des Journées nationales scientifiques et techniques sur les agrumes, Agadir, Maroc, pp. 306-313.
- Taleb A. & Bouhache M. (2008) Flore adventices des vergers d'agrumes au Maroc. Symposium Méditerranéen sur la Protection Phytosanitaire des Agrumes, AMPP, Rabat, Maroc, pp. 199-210.
- Talibi A. (1999) Diversité et importance des mauvaises herbes des vergers d'agrumes dans le périmètre irrigué de la Basse Moulouya. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du grade d'ingénieur d'état en agronomie, IAV Hassan II, Rabat, 65 p.

- Tanji A., Boulet C. & Hamoumi M. (1984) Contribution à l'étude de la biologie de *Solanum elaeagnifolium* Cav. (*Solanaceae*), adventice des cultures dans le périmètre irrigué du Tadla (Maroc). *Weed Research*, 24: 401-409.
- Valentin G., Moncomble D. & Keriter S. (1989) Influence du désherbage chimique du liseron sur les migrations de l'acarien jaune tisserand *T. urtica* (Koch). Colloque sur les acariens des cultures, ANPP, Montpellier, France, pp. 363-371.
- Vanderweyen A., Bryssine I. & Hawazine L. (1981) Lutte contre les mauvaises herbes des agrumes. INRA (Raport).
- Wahbi M. & Taleb A. (1995) Mauvaises herbes des vergers d'agrumes de la région du Souss: Aspects botaniques et agronomiques. Protection phytosanitaire des agrumes, AMPP, Rabat, pp. 36-41.

Deuxième partie:

Gestion des problèmes particuliers

Page laissée vierge

Gestion des adventices en agriculture de conservation

Badr HAJJAJ & Rachid MRABET

1. Introduction

Les inquiétudes concernant les impacts négatifs des changements climatiques et de l'agriculture productiviste intensive ont conduit à l'émergence de deux formes de modernisation écologique de l'agriculture. La première, l'agriculture durable qui vise à améliorer l'efficacité d'utilisation des intrants et à minimiser les impacts environnementaux des systèmes agricoles modernes. C'est actuellement la voie de modernisation dominante et inclue les systèmes d'agriculture de conservation (AC). La seconde, l'agriculture basée sur la biodiversité ou dite régénérative, vise à développer les services écosystémiques fournis par la diversité biologique. Il n'existe actuellement que sous forme de niche (Kassam et Kassam, 2020). Les deux formes ont d'énorme potentiel pour offrir de multiples avantages en harmonie avec les principes de la durabilité et peuvent se compléter.

Au Maroc, la recherche a généré des connaissances sur divers aspects, effets et interactions des systèmes d'agriculture de conservation, notamment en termes de productivité, d'efficacité, de durabilité et d'avantages sociaux et économiques (Mrabet & *al.*, 2012; 2021; 2022). Le chapitre concerne une réflexion sur le bilan de la recherche en matière de gestion des adventices sous agriculture de conservation au Maroc. Ce chapitre analyse également les méthodes chimiques et non chimiques de désherbage, en identifiant les opportunités et les défis posés par l'AC. En outre, il traite de la dynamique des banques de semences dans le sol, des mécanismes régissant l'épuisement des stocks de semences de mauvaises herbes dans le sol et de la nécessité d'empêcher qu'une mauvaise herbe ou un groupe de mauvaises herbes ne devienne répandu et difficilement contrôlable en systèmes de semis direct.

2. Agriculture de conservation: définition et concepts

Il existe une diversité considérable dans ce qui constitue l'agriculture de conservation à l'échelle mondiale et locale. L'AC est polysémique ayant différentes expressions et formes selon les parties prenantes, y compris les scientifiques, les agents de vulgarisation et de communication, les gestionnaires gouvernementaux, les agriculteurs et les producteurs. La définition la plus citée est que l'AC est un système agricole qui favorise, dans les terres pluviales et irriguées, l'articulation entre trois composantes ou principes: (i) l'élimination de la préparation mécanique du lit de semence et de la perturbation des sols; (ii) une couverture permanente du sol grâce à la rétention de paillis de résidus de cultures et de cultures de couverture; et (iii) l'adoption de rotations de cultures diversifiées ainsi que d'autres bonnes pratiques complémentaires de production agricole et de gestion des terres (Hobbs, 2007; FAO, 2021a). L'agriculture de conservation (AC) est basée sur une diminution maximale du labour en évitant essentiellement les travaux qui inversent le profil du sol (verso, herse à disques...etc.) et ceux qui engendrent une pulvérisation excessive des agrégats du sol en surface. Ce système de production consiste à semer sur les chaumes de la culture précédente sans un labour préalable du sol, en éliminant les mauvaises herbes présentes par traitement, avec un herbicide approprié. Dans les systèmes de semis direct, les opérations se limitent à l'ensemencement de la culture. Le remaniement mécanique du sol est limité à la seule implantation de la semence (Photos 1, 2 et 3). L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis et pendant la culture, est faite avec des herbicides (Mrabet, 2008). Dans ce chapitre, l'AC et les systèmes de semis direct sont utilisés de façon interchangeable. L'agriculture de conservation est une base pour une intensification durable de la production agricole (FAO, 2021a). C'est un antidote à l'agriculture conventionnelle, qui entraîne la dégradation des terres par l'élimination ou l'enfouissement des résidus de culture ou de la couverture du sol, le travail excessif du sol et la monoculture.

En d'autres termes, l'AC est un concept holistique de gestion durable des cultures et des sols. Il est cependant important de préciser que pour des avantages optimaux et des effets secondaires minimes, les systèmes d'AC doivent être complétés par l'utilisation de semences de qualité, une nutrition équilibrée des cultures grâce à une application rationnelle et intelligente d'engrais, une gestion intégrée des mauvaises herbes, des maladies et de ravageurs et des machines adaptées. Une AC complétée par de telles pratiques agronomiques permet à la fois de réduire les écarts de rendement et de marges brutes.

L'AC est en même temps un changement des paradigmes par rapport à l'agriculture traditionnelle et conventionnelle et un renouvellement des connaissances, des compétences et de l'expérience accumulée par les agriculteurs et leurs collaborateurs. Grâce à l'adoption des systèmes d'AC, les agriculteurs apprennent et expérimentent la combinaison de nouvelles machines, la diversification des cultures et l'utilisation de semences améliorées, l'intégration de l'élevage, la lutte intégrée contre les mauvaises herbes, les ravageurs et les maladies, la gestion de l'auto-fertilité des sols et des engrais etc. L'AC n'est pas le statu quo ou un système pour corriger les erreurs de gestion et les symptômes sur le terrain, mais c'est un système basé sur la science pour optimiser et régénérer les ressources et atténuer les risques et les externalités négatives tout en réduisant les compromis. Ainsi, toute omission ou application défectueuse de l'un des trois principes de l'AC porte préjudice à la réussite des systèmes de semis direct (Mrabet, 2008). A travers ces trois principes, l'AC permet d'une part le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols et la productivité des systèmes culturaux et d'autre part l'optimisation des ressources et de la gestion de l'exploitation agricole (Figure 1).

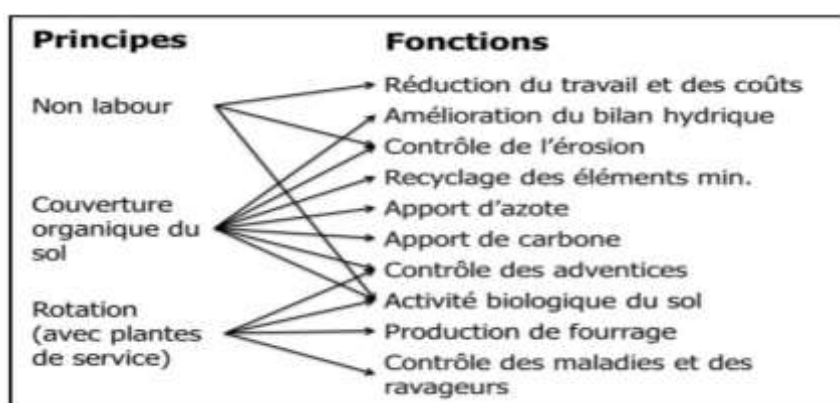


Figure 1: Liens entre les trois principes définissant l'AC et les fonctions d'intérêt pour l'agriculteur et l'environnement (Naudin & al., 2015).



Photo 1: Semoir de semis direct à traction mécanique (Photo. Hajjaj B.).



Photo 2: Semoir de semis direct à traction animal pour les zones de montagne à forte pente (Photo. Hajjaj B.).



Photo 3: Parcelle expérimentale où le semis est effectué avec deux types de semoir à traction mécanique. A gauche avec le semoir de semis direct à soc et à droite avec le semoir de semis direct à disques (Photos. El Gharras O. & El Aissaoui A., INRA-CRRA de Settat).

3. Évolution, atouts et tendances de l'agriculture de conservation dans le Monde

Due à la fragilité des systèmes agroalimentaires, déjà 3 milliards de personnes ne peuvent pas se permettre une alimentation saine et 1 milliard de plus rejoindraient leurs rangs si un choc réduisait leurs revenus d'un tiers. Pour ce faire, les capacités de résilience des ménages ruraux à faible revenu, en particulier les petits producteurs dont les moyens de subsistance sont de plus en plus vulnérables aux chocs climatiques et à l'épuisement des ressources naturelles, peuvent être considérablement renforcées grâce à la mise en place de systèmes agroalimentaires résilients et durables. Ainsi, ces systèmes doivent avoir la capacité de continuer à fonctionner en présence des chocs et sont une composante stratégique de la réponse mondiale aux défis actuels et futurs (FAO, 2021b).

L'agriculture de conservation est apparue aux États-Unis d'Amérique dans les années 1930 à cause des catastrophes dues aux fortes érosions hydriques et éoliennes des sols « DustBowl ». Les systèmes de semis direct ont connu une première évolution de leur adoption dans les années 1950 grâce à la fabrication de semoirs appropriés et la découverte des herbicides (Hill & *al.*, 1994). Ainsi au début, le concept d'AC se constitue aux États-Unis avant tout comme un référent scientifique et technologique alternatif aux modèles basés sur l'intensification et la mécanisation agricoles.

L'agriculture de conservation est un système cultural qui peut empêcher la perte de terres arables tout en régénérant les terres dégradées (FAO, 2021a). Elle consiste à maintenir une couverture permanente du sol avec un travail minimal du sol et à diversifier les cultures. De ce fait, AC permet d'augmenter la biodiversité et de stimuler les processus biologiques naturels qui ont lieu au-dessus et en dessous de la surface du sol (Figure 1). Ceci favorise une utilisation plus efficace de l'eau et des nutriments et permet, par conséquent, d'améliorer d'une manière durable la production végétale et animale. L'agriculture de conservation est de 20 à 50% moins exigeante en main-d'œuvre et contribue à la diminution des émissions de gaz à effet de serre grâce à une utilisation moins intensive des intrants énergétiques et une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs (FAO, 2021a). En outre, elle stabilise les sols, les protège contre les risques d'érosion et améliore la séquestration du carbone dans le sol (Mugandani & *al.*, 2021). Les expérimentations de long terme ont révélé que plusieurs cultures (blés, orge, maïs, soja, pois chiche, fève, lentille, tournesol, fourrages, etc.) ont peu d'exigences en matière de travail du sol et leurs productivités augmentent sans que leurs lits de semences soient perturbés (Wall & *al.*, 2020). Selon Smith & *al.* (2019), l'AC délivre en simultané des bénéfices environnementaux et des améliorations de la sécurité alimentaire.

A l'échelle mondiale, les systèmes basés sur l'agriculture de conservation couvraient en 1974 seulement 2,8 Millions d'hectares. Les superficies ont augmenté en 1999 à 45 Millions d'hectares. En 2003, la superficie a atteint 72 Millions d'hectares. Le total actuel est de 205 Millions d'hectares dans plus de 100 pays montrant ainsi l'intéressement de plus en plus accrue des agriculteurs et des décideurs à ces systèmes alternatifs (Tableau 1) (Kassam & *al.*, 2022). De même, les estimations en superficie des terres sous AC de varient entre 122 et 215 millions hectares (Prestele & *al.*, 2018).

Tableau 1: Estimation d'adoption de l'agriculture de conservation à l'échelle mondiale et régionale (Kassam & *al.*, 2022).

Région	Superficie (million hectares)	% des terres cultivées en AC
Amérique du Nord	65.9	68.7
Amérique Latine	83.0	33.6
Europe	5.6	3.6
Russie & Ukraine	6.9	4.5
Océanie	23.3	74.0
Asie	17.9	3.6
Afrique	3.1	1.1
Total	205.4	14.7

L'adoption a été intense principalement en Amérique du Sud où l'équivalent de 40% de la superficie mondiale est conduit en semis direct et l'Amérique du Nord (32%) ainsi qu'en Australie (11%) et en Asie (8.7%) (Kassam & *al.*, 2020a; 2022). En Europe et en Afrique, la prise de conscience et le soutien de l'agriculture de conservation sont en augmentation. Notons que dans plusieurs pays (Etats Unis d'Amérique, Brésil, Australie), la lutte contre les phénomènes d'érosion, de ruissellement et de sécheresse est une des principales raisons de promotion et d'adoption des systèmes de semis direct.

Malgré un intérêt institutionnel, politique et scientifique généralisé, l'AC n'est adoptée que dans 14,7% des terres agricoles, mais il existe certainement encore un potentiel supplémentaire de croissance de l'AC (Prestele & *al.*, 2018). Par conséquent, le 8^{ème} Congrès mondial sur l'agriculture de conservation, qui s'est tenu à Berne en juin 2021, a fixé dans sa déclaration finale que les systèmes d'AC seront étendus à 700 millions d'hectares, soit 50% des terres agricoles mondiales à un taux d'expansion annuel de la superficie d'AC de 15 Millions d'ha d'ici 2050 (WCCA, 2021). L'appel aux promoteurs de l'AC à s'interroger sur les facteurs institutionnels et socio-économiques limitant son adoption est très noble. Il est également impératif que les agriculteurs adoptant l'AC obtiennent une reconnaissance adéquate pour les avantages hors exploitation, en particulier ceux centrés sur la sécurité des sols et les externalités positives.

Pour régénérer les sols dégradés, l'AC connaît également une extension sous arboriculture fruitière, oliveraie et viticulture en Europe méditerranéenne (particulièrement en Espagne, France et Italie) ainsi qu'en systèmes d'agroforesterie et de cultures mixtes en Afrique (Kassam & *al.*, 2020b). En Espagne, la superficie des systèmes d'AC sous culture pérennes a augmenté de 56%, passant de 832729 ha à 1301174 ha entre 2006 et 2018.

4. Agriculture de Conservation au Maroc: facteurs et enjeux de transition

Étant donné la nature de leurs sols et du régime des précipitations, les milieux pluvieux marocains sont, pour l'essentiel, des milieux fragiles, rapidement dégradables si les modes de culture sont inadaptés. En effet, après des années d'utilisation des terres, le sol est devenu dépourvu de sa matière organique et présente une structure dégradée et facilement érodable (Moussadek, 2012). Cette mauvaise utilisation des outils de travail du sol associée au surpâturage ont induit des taux alarmants de déclin de la matière organique et des risques élevés d'érosion du sol (Mrabet & *al.*, 2012). La matière organique n'est pas considérée seulement comme étant un stock de nutriments, elle protège également le sol contre l'érosion lorsqu'elle se concentre en surface et garantit ainsi son usage à long terme (Laurent, 2015).

L'introduction de ce système dans la région de la Chaouia au Maroc a été faite grâce aux travaux de recherche sur cette technologie par l'INRA de Settat depuis les années 80 ainsi que leur vérification en milieu réel (Mrabet, 2008; El Gharas & *al.*, 2010). Ces travaux et d'autres réalisés dans d'autres régions agricoles ont révélé que les avantages du semis direct sont considérables sur l'amélioration de la fertilité et de la qualité du sol, la conservation de l'eau et des sols et l'amélioration des rendements des cultures (Mrabet & *al.*, 2012; Laghrour & *al.*, 2018). En outre, les pratiques agricoles basées sur les principes de l'agriculture de conservation contribuent à lutter contre la sécheresse, puisqu'elles visent deux grands objectifs: améliorer le stockage de l'eau dans les sols, et réunir les conditions édaphiques d'une bonne croissance des cultures vis-à-vis des aléas climatiques (Mrabet, 2008).

Les avantages du changement au semis direct font plus que compenser le supplément de coût de la protection des cultures (i.e. herbicides) (Yigezu & *al.*, 2020). Ces avantages sont: une augmentation de la surface exploitée, une suppression des coûts des labours et des façons superficielles, et une économie du temps, du carburant, de la main d'œuvre et des charges d'équipements. Les systèmes en semis direct, consomment beaucoup moins de main d'œuvre que les systèmes avec labour. En d'autres termes, le semis direct offre donc une très forte économie de main d'œuvre par rapport au labour, justement sur les opérations les plus pénibles du calendrier cultural, à savoir, les travaux du sol. Ainsi, les coûts de production sont systématiquement plus faibles avec semis direct, grâce à la très forte réduction de main d'œuvre qu'avec labour. Ces économies compensent normalement le coût supplémentaire des méthodes de conservation (application d'herbicides et matériel de semis direct).

Dans la plupart des situations, le semis direct réduit les temps de travaux et leur pénibilité et entraîne une nouvelle répartition du travail au cours du temps qui écrête les pointes de travail. D'autres retombées positives découlent de l'économie du temps, notamment la possibilité de choix d'une humidité optimale et donc meilleure qualité du lit de semences et coût de production plus faible. Ces avantages économiques augmentent avec la durée d'adoption du semis direct (de la phase d'initiation à la phase de maturité du système) (Mrabet et Moussadek, 2012).

La superficie actuelle au Maroc est plus de 25 milles ha (Mrabet & *al.*, 2021). Dans la nouvelle stratégie agricole « Génération Green 2020-2030 », le Maroc prévoit la promotion du semis direct sur 1 Million d'hectares tout en améliorant la productivité et la consolidation des filières de production et permettant la résilience et un saut qualitatif et technologique des exploitations agricoles. En d'autres termes, la feuille de route de promotion de l'AC contribuera à l'instauration d'une agriculture en même temps éco-efficiente et performante au sein des bassins de production du Royaume.

Les difficultés d'adoption de l'AC par des agriculteurs découlent de deux problèmes principaux: (i) L'AC est dynamique, ce qui signifie qu'elle doit répondre aux changements simultanés des contextes

environnementaux, sociaux et/ou économiques, **(ii)** AC est également une approche holistique basée sur l'intégration et la complémentarité de l'ensemble des composantes des systèmes alimentaires pour résoudre les changements et les problèmes de gestion. En outre, les fonctions de l'agriculture évoluent au fil du temps et deviennent plus complexes avec l'augmentation des contraintes socio-économiques et environnementales et des chocs sociaux et institutionnels (Mrabet & *al.*, 2021). Ainsi, le passage à l'AC mérite d'être à la fois radical (unique), complexe (diversité) et direct (changements de paradigme) (Mrabet & *al.*, 2022).

Le changement en faveur des systèmes de semis direct suscite des inquiétudes chez beaucoup de producteurs quand il s'agit de contrôler les mauvaises herbes. En effet, la perte du labour comme méthode de contrôle des mauvaises herbes signifie que les producteurs doivent ajuster les rotations des cultures, l'utilisation des herbicides et d'autres pratiques culturales en compensation (Labrada, 2005; Aibar, 2006; Nichols & *al.*, 2015). En conséquence, le problème des mauvaises herbes occupe une place importante parmi les contraintes majeures de ce système.

En effet, El Brahli & *al.* (2009) ont cité les contraintes liées à l'adoption du semis direct qui résident dans la difficulté de changer des pratiques ancestrales puisque les opérations de labour lancées depuis les années cinquante aussi bien avant l'indépendance du Maroc et vulgarisées après, sont encore considérées comme les critères de bonnes pratiques agricoles. En plus, les agriculteurs, par manque d'information, considèrent le semis direct comme une technologie complexe et difficile à implémenter surtout que certains impacts positifs du système semis direct ne sont visibles qu'au fil des années (amélioration de la qualité du sol) s'ajoutant à cela l'ignorance des conséquences désastreuses des labours et l'absence du souci de détérioration de l'environnement (El Brahli & *al.*, 2009). De plus, de nombreux agriculteurs brûlent leurs chaumes, d'autres les enfouissent après la récolte. Enfin, l'agriculteur marocain considère que les précipitations sont la seule cause de baisse des rendements au lieu d'admettre que c'est une donnée du milieu possible d'être gérée par les moyens technologiques disponibles (El Brahli & *al.*, 2009). Par ailleurs, aux contraintes sociales s'ajoutent d'autres d'ordre technique et économique (Mrabet & *al.*, 2021; 2022). Ainsi, l'adoption du semis direct au Maroc restera tributaire en grande partie de la disponibilité de semoirs de semis direct sur le marché national à un prix abordable d'où des efforts de fabrication et d'adaptation du semoir aux conditions pédoclimatiques du Maroc par la société ATMAR (Les Ateliers Marocains) en collaboration avec l'INRA (El Gharras et Idrissi, 2006). Cependant, le semoir de semis direct nécessite une grande précision pour assurer l'alignement de toutes ses parties et le bon fonctionnement des différentes composantes. En effet, les semoirs fabriqués par les Ateliers Marocains présentent un potentiel important pour le développement du semis direct au Maroc.

Le contrôle des mauvaises herbes est une composante essentielle du semis direct à côté de la rotation et le maintien des résidus (Mrabet & *al.*, 2012). Le développement des herbicides qui a permis aux agriculteurs de dessécher les mauvaises herbes présentes dans le champ au semis, y compris, d'abord, le paraquat, et plus tard le glyphosate, a fourni une première impulsion pour le développement des systèmes de semis direct et d'AC. Ce dernier herbicide est devenu l'épine dorsale (et donc un maillon faible) des systèmes d'AC dans de nombreux/ la plupart des régions, et la propagation de l'AC dans de nombreuses régions à la fin des années 1980 et début des années 90 semble être lié à la baisse du prix du glyphosate herbicide (Wall & *al.*, 2020). En effet, les systèmes d'agriculture de conservation sont souvent perçus comme s'appuyant fortement sur les herbicides pour la gestion des mauvaises herbes sans aucune marge de réduction de l'apport d'herbicides (Basch & *al.*, 2020).

Dans une enquête réalisée dans les zones d'Abda, Chaouia et Zaer, il a été révélé que le désherbage est parmi les contraintes d'adoption du semis direct à cause du choix limité des solutions du désherbage chimique des légumineuses et qui pousse les agriculteurs au désherbage manuel de plus en plus cher, ce qui a réduit la pratique des rotations céréales/ légumineuses (seulement 15% des agriculteurs) (Boughlala & *al.*, 2011). De plus, le semis direct requiert une utilisation plus élevée d'herbicides (herbicides de pré-semis et de post-levée) alors que les petits agriculteurs ont tendance à minimiser leurs coûts de production en utilisant moins d'intrants. Ce comportement n'est pas toujours possible quand il s'agit de semis direct puisque si une composante de ce système est négligée, comme la lutte

contre les mauvaises herbes, tout le système pourrait échouer (Boughlala & *al.*, 2011). Un autre aspect lié au contrôle des mauvaises herbes a été aussi révélé, il concerne l'importance de l'intégration de la jachère pâturée et chimique et l'élevage (Bouzza, 1990; El Brahli et Mrabet, 2000; Boughlala et El Gharas, 2015). Les agriculteurs de la région d'Oued Zem supposent que l'utilisation des herbicides réduira le stock semencier de mauvaises herbes ce qui engendrerait une diminution de la productivité de la biomasse des mauvaises herbes en jachère. Les comparaisons entre les champs traités et non traités ont montré aux agriculteurs l'avantage du contrôle des mauvaises herbes, en particulier dans des conditions de pénurie d'eau et les années sèches. La proposition de substitution de la jachère pâturée par une culture de mélange de fourrage dans la rotation a aidé les agriculteurs à accepter l'option et de commencer à pratiquer le contrôle chimique des mauvaises herbes dans toutes leurs cultures (Boughlala et El Gharas, 2015).

5. Problématique des mauvaises herbes en semis direct

5.1. Inversion de la Flore adventice

L'absence de perturbation du sol, la couverture permanente du sol avec les résidus de plantes et la rotation/association des cultures sous AC sont susceptibles d'avoir un effet sur la dynamique des adventices, à la fois en termes de diversité et de composition (Basch & *al.*, 2020). En effet, la théorie de la succession écologique propose que les plantes vivaces dominent les systèmes non perturbés (pas de perturbation des organes des adventices vivaces). Plusieurs travaux mentionnent que l'hypothèse courante selon laquelle les mauvaises herbes des systèmes semis direct favorisent les mauvaises herbes vivaces peut être envisageable dans certains cas, mais n'est pas une règle générale (Nichols & *al.*, 2015). En effet, il a été révélé que les milieux à forte perturbation tels que les systèmes du labour conventionnel favorisent les dicotylédones annuelles, tandis que les systèmes de semis direct où l'on assiste à une faible perturbation favorisent les mauvaises herbes vivaces et les espèces qui peuvent germer avec succès à la surface du sol telles que les graminées annuelles et les espèces disséminées par le vent (Nichols & *al.*, 2015). En semis direct, on assiste à une évolution de la flore de mauvaises herbes. D'abord, il se produit une sélection d'espèces, en petit nombre, qui ne sont pas bien maîtrisées par les herbicides appliqués en pré-semis (Aibar, 2006). Ensuite, il se produit une sélection d'espèces favorables aux sols peu perturbés par le labour, et ainsi certaines espèces rudérales se voient favorisées et ceux qui ne supportent pas l'enfouissement (Tableau 2; Aibar, 2006).

Tableau 2: Espèces favorisées et espèces non favorisées par l'agriculture de conservation (adapté d'Aibar, 2006).*

Augmentation de population		Diminution de population
<i>Alopecurus myosuroides</i>	<i>Lolium rigidum</i>	<i>Abutilon theophrasti</i>
<i>Amaranthus</i> spp.	<i>Malva</i> spp.	<i>Sinapis arvensis</i>
<i>Bromus</i> spp.	<i>Phalaris</i> spp.	<i>Anagallis arvensis</i>
<i>Cardaria draba</i>	<i>Poa annua</i>	<i>Stellaria media</i>
<i>Cirsium arvensis</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Atriplex patula</i>
<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Salsola kali</i>	<i>Xanthium strumarium</i>
<i>Conyza canadensis</i>	<i>Taraxacum officinalis</i>	<i>Avena fatua</i>
<i>Echallium elaterium</i>	<i>Vulpia myuros</i>	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
<i>Lolium rigidum</i>		<i>Fumaria officinalis</i>
<i>Malva</i> spp.		<i>Raphanus raphanistrum</i>

*Caractères gras: espèces présentes dans les céréales d'hiver; caractères normaux: espèces présentes dans les céréales d'été.

Ces changements de la flore adventice ne sont pas nouveaux, et ce système de culture n'est pas le seul à les provoquer. De ce fait, toute intervention de l'homme, de façon continue, conduit à une "spécialisation de la flore" (Tableau 3). Ce sont les cas par exemple en sélectionnant des espèces qui forment des rosettes si l'on fait des fauches périodiques des mauvaises herbes chez les cultures fruitières ou si l'on

emploie toujours des herbicides contre les plantes dicotylédones infestant les céréales d'hiver. Ces traitements anti- dicotylédones favoriseraient la prépondérance des mauvaises herbes graminées, semblables aux céréales quant à leur morphologie et leur cycle, ce qui rend leur contrôle difficile (Aibar, 2006).

Tableau 3: Comparaison de la situation d'infestation dans la parcelle semis direct à Sidi El Aïdi entre 1996 et 2014 (Hajjaj & *al.*, 2018).

Espèces	Situation en 1996 (flore de surface)	Situation en 2014 (flore de surface)	Situation en 2014 (Stock semencier)
<i>Avena sterilis</i> L.	+	+	+
<i>Phalaris brachystachys</i> Link.	+	+	+
<i>Bromus rigidus</i> Roth	+	+	+
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	+	+	+
<i>Chenopodium album</i> L.	+	+	+
<i>Centaurea diluta</i> Aiton	+	+	+
<i>Papaver rhoeas</i> L.	+	+	+
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	+	+	+
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	+	+	+
<i>Anagallis foemina</i> Mill.	-	+	+
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	-	+	+
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	-	+	+
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	-	+	+
<i>Glaucium corniculatum</i> L.	-	+	+
<i>Polygonum aviculare</i> L.	-	+	+
<i>Scolymus maculatus</i> L.	-	+	+
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	-	+	+
<i>Torilis nodosa</i> L.	-	+	+
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	+	-	-
<i>Amaranthus</i> sp.	+	-	-
<i>Centaurea eriophora</i> L.	+	-	-
<i>Centaurea marocana</i> L.	+	-	-
<i>Diploaxis catholica</i> L.	+	-	-
<i>Eryngium ilicifolium</i> Lan.	+	-	-
<i>Cichorium endivia</i> L.	+	-	-
<i>Chrozophora tinctoria</i> L.	+	-	-
<i>Teucrium spinosum</i> L.	+	-	-
<i>Vaccaria hispanica</i> (Mill.) Rausch	+	-	-
<i>Ecballium elaterium</i> (L.) A. Richard	+	-	-
<i>Anchusa azurea</i> Miller	+	-	-
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	-	+	-
<i>Misopates orontium</i> L.	-	+	-

"+": espèces présentes; " - ": espèces absentes. . Absence de *Cynodon dactylon* en 2014 due à la méthode d'extraction

Au Maroc, El Brahli et Mrabet (2000) ont trouvé qu'à long terme on assiste à une spécialisation de la flore avec une tendance à devenir caractéristique du système de semis direct. Ils ont noté une diminution relative du taux d'infestation des espèces annuelles au profit des plantes vivaces comme *Cynodon dactylon*, *Ecballium elaterium*, *Anchusa azurea*, *Convolvulus arvensis* et *Convolvulus althaeoides*. L'infestation par les graminées annuelles augmente lorsque la maîtrise de leur contrôle par les herbicides n'est pas efficace. La comparaison de la situation d'infestation d'une parcelle de semis direct à la Chaouia (Maroc) sur une période de 18 années révèle que les nouvelles espèces qui

ont été recensées en tant que flore de surface et celles repérées dans le stock semencier de sol sont: *Anagallis foemina*, *Capsella bursa-pastoris*, *Fumaria parviflora*, *Galium tricornutum*, *Glaucium corniculatum*, *Polygonum aviculare*, *Scolymus maculatus*, *Sonchus oleraceus*, *Torilis nodosa* (Tableau 3).

5.2. Espèces adventices problématiques en semis direct

Parmi les espèces rencontrées en semis direct, on trouve des mauvaises herbes problématiques redoutables des milieux cultivés. Dorado (2012) a mentionné, que dans les champs cultivés, certaines espèces problématiques peuvent être favorisées par le semis direct. En effet, le semis direct offre un habitat spécifique favorable au développement de certaines espèces (Tableau 4). En général, plus la graine est petite, plus la plante est adaptée à un environnement de travail réduit du sol. Les bisannuelles ont généralement une grande racine pivotante qui s'étend profondément dans les sols non perturbés des champs sans labour. Les vivaces prospèrent dans les sols avec peu ou pas de travail du sol où la reproduction végétative (par rhizomes, stolons, tubercules, bulbes) peut permettre à quelques plantes de devenir une grande communauté en peu de temps. Aritz (2018) a mentionné que l'adoption du semis direct dans la région semi-aride en Espagne méditerranéenne a favorisé un changement de végétation des mauvaises herbes, où le brome (*Bromus diandrus* Roth) représente une préoccupation majeure. Par ailleurs, dans la région d'Aragon en Espagne, les espèces adventices les plus problématiques sont le Brome (*Bromus* spp.), ainsi que *Lolium rigidum*, *Avena* spp., *Alopecurus myosuroides* et *Vulpia myuros* (Aibar, 2006). Le même auteur avait signalé que plus d'un tiers des agriculteurs enquêtés au niveau de l'Aragon en Espagne ont pris la décision d'abandonner le semis direct à cause de l'envahissement des mauvaises herbes. Au Maroc, Bouhache (2020) a mentionné que la vulpie genouillée (*Vulpia geniculata*) préfère les sols moins perturbés (céréales conduites en semis direct) et qu'en général, les semences ont tendance à germer superficiellement avec une profondeur de germination optimale de 0,5 à 2 cm et parfois même à la surface du sol. Cette espèce peut produire entre 50000 et 500000 semences/m².

Par ailleurs, dans une enquête réalisée dans la région de la Chaouia au Maroc, il a été révélé que 40% des agriculteurs ont déclaré que *Bromus rigidus* est problématique dans leurs parcelles (Hajjaj, 2018). Cette espèce est également problématique dans plusieurs régions au Maroc (Hamal, 2005). Alors que seulement 13% des agriculteurs enquêtés traitent avec l'herbicide à base de Pyroxsulam et 4% avec l'herbicide à base de « Iodosulfuron-méthyl-sodium + Mesosulfuron » qui sont deux herbicides ayant manifesté un bon contrôle sur *Bromus rigidus* (Hajjaj, 2018). En effet, il n'existe pas un herbicide qui contrôle toutes les espèces avec le même degré d'efficacité. Par conséquent, le choix doit tenir compte de la nature des mauvaises herbes associées à la culture et le niveau d'efficacité recherché. Les herbicides appliqués par les agriculteurs ont des efficacités différentes selon les espèces cibles, de ce fait l'efficacité de l'herbicide à base de Clodinafop-propargyl, souvent utilisé par les agriculteurs, est excellente sur *Lolium rigidum*, *Phalaris brachytrachis* et *Avena sterilis* alors que son efficacité est très faible sur *Bromus rigidus*. A l'inverse, Pyroxsulam et « Iodosulfuron-méthyl-sodium + Mesosulfuron » permettent un bon contrôle de cette espèce que les autres graminées classiques. De ce fait, le choix des d'antigraminées réputés bons doit être bien raisonné surtout que leurs prix sont élevés par rapport aux antidiots. Ainsi, si le choix de l'anti-graminées n'est pas adapté, cette espèce peut devenir rapidement envahissante affectant les rendements et la qualité de la production. En outre, il est important de signaler que malheureusement le manque de rotation réduit davantage l'éventail des matières actives efficaces sur le brome (Hajjaj, 2018). Il est important de signaler que les personnes enquêtées ratent le désherbage précoce de post-émergence dont les avantages sont nombreux puisque la culture profite tôt de l'eau et des éléments minéraux du sol et l'agriculteur valorise mieux les intrants apportés (Bouhache & al., 2000). Ces contraintes liées aux espèces problématiques ne doivent pas être perçues comme une limite d'adoption de la technique mais il faut les connaître et les contrôler pour mieux les valoriser. De ce fait, les changements dans la composition floristique des mauvaises herbes sont normaux et peuvent être contrôlés par des stratégies de lutte adéquates. Par ailleurs, on peut s'attendre à ce qu'une plus grande quantité d'herbicide soit nécessaire pendant les premières années de transition en semis direct surtout avec la nécessité de contrôler les adventices en pré-semis (Nichols & al., 2015).

Tableau 4: Espèces problématiques favorisées par le semis direct (Dorado, 2012).

Petites graines	Graines dispersées par le vent	Graminées	Vivaces simples	Vivaces rampantes
<i>Amaranthus retroflexus</i> *	<i>Anacyclus clavatus</i> *	<i>Alopecurus myosuroides</i>	<i>Chondrilla juncea</i> *	<i>Convolvulus arvensis</i> *
<i>Capsella bursa-pastoris</i> *	<i>Anthemis arvensis</i> *	<i>Anisantha sterilis</i> *	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cyperus</i> spp.*
<i>Descurainia sophia</i> *	<i>Artemisia</i> spp. *	<i>Bromus</i> spp. *	<i>Crepis versicaria</i> *	<i>Equisetum arvense</i> *
<i>Filago pyramidata</i> *	<i>Conyza canadensis</i> *	<i>Lolium rigidum</i> *	<i>Epilobium</i> spp.*	<i>Malva</i> spp.*
<i>Galium</i> spp.*	<i>Senecio vulgaris</i> *	<i>Setaria</i> spp. *	<i>Elymus repens</i>	<i>Sorghum halepense</i> *
<i>Kickxia elatine</i> *		<i>Vulpia</i> spp. *	<i>Hirschfeldia incana</i> *	
<i>Kochia scoparia</i> *			<i>Lactuca</i> spp.*	
<i>Lamium</i> spp.*			<i>Lolium perenne</i> *	
<i>Myosotis arvensis</i> *			<i>Sonchus</i> spp.*	
<i>Papaver rhoeas</i> *			<i>Taraxacum officinalis</i> *	
<i>Salsola kali</i> *			<i>Verbascum</i> spp.*	
<i>Scandix pecten-veneris</i> *				
<i>Thlaspi arvense</i> *				
<i>Torilis</i> spp.*				

*Espèces présentes au Maroc

En Espagne, de nombreux agriculteurs ont cessé de pratiquer le semis direct à cause de l'inversion de la flore et l'envahissement des adventices graminée et vivaces (Aibar, 2006) et la méconnaissance des meilleures stratégies de lutte. Au Maroc, El Brahli et Mrabet (2000) ont rapporté que le semis direct favorise certaines espèces différentes de celles recensées en travail conventionnel. Hajjaj (2018) a observé un phénomène d'inversion de la flore adventice après l'adoption du semis direct. Ainsi à Sidi El Aïdi, le semis direct a favorisé l'infestation des espèces graminées annuelles problématiques (tels que le brome rigide et l'ivraie raide à l'exception de la folle avoine), alors que dans le site de Jemaa Shaim, le semis direct a favorisé la propagation des espèces vivaces en l'occurrence le chiendent (*Cynodon dactylon*) et le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*). Cependant, la réponse n'est pas encore claire concernant les causes de ce changement, est-ce que c'est dû uniquement à la non perturbation du sol ou bien à la conduite de la culture et les rotations associées ? D'ailleurs, au Maroc, c'est une voie de recherche qui devrait être exploitée davantage afin de comprendre cette inversion. Evidemment, ces espèces sont aussi problématiques dans le système de travail conventionnel, néanmoins, l'opération de labour atténue leur incidence par deux principes: la destruction mécanique et l'enfouissement des graines (répartition verticale ou redistribution des semences dans le sol).

5.3. Stock semencier des adventices dans le sol

Le stock semencier d'adventices joue un rôle agronomique et écologique très important. En effet, Il fournit des indications sur les problèmes passés et futurs liés aux mauvaises herbes d'une parcelle, constitue une source permanente de nouvelles infestations, contribue à étudier la dynamique des

populations d'adventices et permet à court et à long termes de mettre en place des stratégies de gestion des mauvaises herbes (Bouhache, 2021). En effet, le succès ou l'échec d'un système de culture et les stratégies de gestion de ses adventices est tributaire des aspects qualitatif et quantitatif du stock semencier. Les adventices du stock semencier du sol sont aussi qualifiés d'espèces pionnières des successions écologiques. Bouhache (2021) a mentionné que le stock semencier joue également un rôle primordial dans l'entretien et l'évolution de la biodiversité dans les écosystèmes et les habitats naturels. L'absence ou l'inhibition d'un stock semencier du sol empêche la réapparition rapide de la végétation lors du phénomène de succession écologique, alors que sa présence permet le développement rapide d'écosystèmes riches en espèces.

En effet, le type de travail de sol reste un des facteurs les plus importants qui exerce une action sur la distribution spatiale et temporelle d'un stock semencier (Hamal, 2005; Hajjaj & *al.*, 2018; Bouhache, 2021). En effet, dans des conditions de semis direct, la flore est affectée de manière qualitative et quantitative (Zanin & *al.*, 1989). On assiste à un changement de la flore puisque le semis direct favorise la germination des graines qui ne supportent pas l'enfouissement en plus des mauvaises herbes vivaces (Aibar, 2006). Dans le cadre de l'AC, une perturbation minimale du sol favorisera l'accumulation de graines de mauvaises herbes près ou à la surface du sol et le manque de travail du sol favorisera la survie et la propagation souterraine des structures végétatives des mauvaises herbes vivaces, expliquant pourquoi des densités de mauvaises herbes plus élevées sont observées lorsqu'on change vers le semis direct et la difficulté associée au contrôle des espèces pérennes.

Dans une étude réalisée en Espagne (Dorado & *al.*, 1999), il a été rapporté que dans les parcelles en semis direct, il y a eu une augmentation significative du nombre de semence de mauvaises herbes dans le sol notamment pour les espèces suivantes: *Anacyclus sp.*, *Portulaca oleracea*, *Papaver rhoeas*, *Torilis nodosa*, *Arabidopsis thaliana*, *Draba verna*, *Amaranthus albus*, *Scandix pecten-veneris* et *veronica triphyllos*. Cependant, le nombre total de semences dans le profil du sol peut diminuer, augmenter ou rester instable suivant les espèces de mauvaises herbes et l'état initial et la distribution du stock semencier des mauvaises (Nichols & *al.*, 2015).

Dans une étude dans la région de Sétif (Algérie), il a été montré que le stock semencier viable total des mauvaises herbes était de 8416 et 13283 graines/m² respectivement pour le semis direct et le travail conventionnel (Rahali & *al.*, 2010). L'étude du stock semencier viable dans l'horizon 0-10 cm dans la région d'Oued Zem (Maroc) montre des quantités variant de 1520 et 2354 graines/m² suivant l'année et les rotations culturales associées (Tanji & *al.*, 2017). Dans une rotation Blé/fève en Italie, un total de stock semencier viable dans l'horizon 0-30 cm était de 11582 et 8692 graines/m² respectivement pour le semis direct et le travail conventionnel (Ruisi & *al.*, 2015). De ce fait, l'effet du semis direct sur les quantités du stock semencier est variable d'une étude à l'autre. D'ailleurs, Mohler (1993) a noté que la réponse des mauvaises herbes au travail du sol fait intervenir des interactions complexe entre plusieurs facteurs comme les conditions climatiques, la durée de l'essai et l'historique de la parcelle. Quant à la distribution verticale du stock semencier, elle est différente entre les parcelles en semis direct et celles en travail conventionnel (Tableaux 5 et 6; Figures 2) suivant l'étude et les conditions qui l'entourent. En effet, le travail du sol peut affecter la flore adventice, ce qui provoque une redistribution verticale des semences au niveau des profils du sol à cause des changements dans les caractéristiques du sol ce qui, en conséquence, favorise ou bien défavorise différentes espèces de mauvaises herbes.

Tableau 5: Distribution verticale des semences de brome raide (*Bromus rigidus* Roth.) dans le sol du Saïss sous l'effet de semis direct et le labour profond (Hamal, 2005).

Horizons du sol	Semis direct		Labour profond	
	Nombre/m ²	%	Nombre/m	%
0-4 cm	2591,3	95,9	275,7	44,7
0-15 cm	88,3	3,3	167,6	28,9
15-30 cm	24	0,8	158,7	26,4

Tableau 6: Effet du semis direct (SD) et du travail conventionnel (TC) sur la distribution verticale des semences d'adventices dans un sol de la Chaouia et d'Abda (Hajjaj & *al.*, 2018).

Horizon du sol	Sidi El Aïdi (Chaouia)				JemaaShaïm (Abda)			
	SD*	%	TC*	%	SD*	%	TC*	%
0 – 10 cm	9986	72,5	5088	42,4	3425	64,3	4190	44,2
10 – 20 cm	2977	21,6	3855	32,1	1335	25,1	3130	32,9
20 – 30 cm	811	5,9	3061	25,5	565	10,6	2179	22,9
Total	13774	100	12004	100	5325	100	9499	100

*Nombre/m²

Plusieurs études ont montré de fortes variations dans la taille et la composition du stock semencier des mauvaises herbes en réponse à l'évolution des systèmes de travail du sol (Cléments & *al.*, 1996; Dorado & *al.*, 1999; Hamal, 2005; Mrabet, 2008; Essahat, 2015; Hajjaj & *al.*, 2018). En général, ces études montrent que le stock semencier des mauvaises herbes a tendance à se concentrer dans les horizons superficiels lorsque le semis direct est adopté. En outre, il a été constaté qu'une augmentation des graminées annuelles, vivaces et des espèces disséminées par le vent dominant dans les parcelles en semis direct (Aibar, 2006; Dorado, 2012).

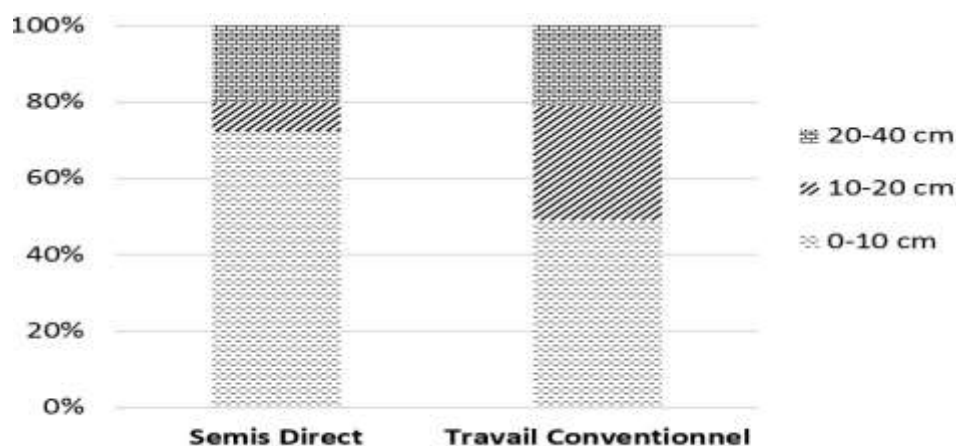


Figure 2: Variation du stock semencier des mauvaises herbes selon la profondeur et le type d'installation de la culture dans le plateau du Saïss (Essahat, 2015).

5.4. Problème d'espèces résistantes aux herbicides

Le but recherché lors de l'application des herbicides est généralement de détruire les mauvaises herbes sans nuire à la plante cultivée, afin qu'elle profite au mieux de l'élimination des adventices. Cette action va altérer un ou plusieurs mécanismes physiologiques de la plante cible. Les herbicides assurent une lutte rapide, efficace et économique, et de ce fait, ils doivent être considérés comme un outil à préserver. Une utilisation non raisonnée ou abusive, conduit incontestablement au phénomène de la résistance et ainsi l'herbicide devient inefficace (Bouhache, 2017).

Darmency et Gasquez (1990) ont défini une plante résistante aux herbicides comme « toute plante qui survit à une concentration d'herbicide qui détruit complètement des plantes provenant de populations témoins jamais soumises à la pression de sélection de l'herbicide ». Les mêmes auteurs ont mentionné que cette définition ne s'applique donc pas aux espèces pour lesquelles les herbicides n'ont jamais eu d'effets (insensibilité innée). Elle exclut également les artefacts liés à des traitements défectueux et implique la notion d'un témoin de référence et la transmission au moins partielle du trait à la descendance, ce qui traduit implicitement la réalisation d'une expérience en vue de rechercher un

mécanisme de résistance. De ce fait, il est important de ne pas confondre résistance et manque d'efficacité. La résistance aux herbicides, non seulement au glyphosate mais aussi à d'autres groupes d'herbicides, est aujourd'hui un problème majeur dans les systèmes d'AC (en particulier en Australie) et certains agriculteurs constatent qu'ils doivent parfois labourer le sol pour lutter contre les mauvaises herbes résistantes, ainsi qu'employer plusieurs autres stratégies pour limiter l'infestation par les semences des mauvaises herbes (Wall & al., 2020).

Au Maroc, les problèmes concernant ce phénomène ont été déclarés depuis l'année 2000 avec la résistance du ray-gras (*Lolium rigidum*) aux herbicides antigraminées du type Accases (Fops, Dimes et Dens) et du coquelicot (*Papaver rhoeas*) aux herbicides du type ALS (Bouhache, 2017). Ensuite, des cas de résistance du chrysanthème à couronne (*Chrysanthemum coronarium*) ont été rapportés notamment dans les régions de Tadla, Sefrouet Saïs au Maroc (Bouhache, 2018). Actuellement, des superficies de plus de 100 milles hectares dans les principales régions agricoles du Maroc sont touchées par ce phénomène (Bouhache, 2017). D'ailleurs, la maîtrise du ray-grass et du coquelicot résistants aux herbicides devient une opération problématique dans des rotations biennales (céréales/betterave et céréales/légumineuses) pratiquées par les agriculteurs marocains, car ces espèces ont développé une résistance multiple à tous les herbicides anti-graminées de post levée pour le ray- grass et antidicot pour le coquelicot (Bouhache, 2017).

En effet, une fois que la résistance est confirmée, il convient d'opter pour un herbicide de rechange auquel la mauvaise herbe n'est pas résistante. Cependant, ce n'est pas une solution durable. L'expérience du terrain a montré que le contrôle du ray-grass et du coquelicot résistants au Maroc a échoué dans la durée malgré l'usage des herbicides qui ont des sites d'action différents car une résistance multiple du ray-grass est apparue aux Doukkalas et au Tadla (Bouhache, 2017). D'ailleurs, actuellement aucun herbicide de post émergence ne contrôle cette graminée coriace.

En semis direct, indépendamment des herbicides employés en pré-levée, les autres herbicides employés en semis direct sont semblables à ceux du labour conventionnel. Le risque d'apparition de la résistance aux herbicides sélectifs des cultures est similaire, que ce soit dans les parcelles conduites sous semis direct ou celles conduites selon un autre système de labour (Aibar, 2006). Toutefois, l'utilisation répétée du glyphosate en semis direct comme solution pour éliminer les mauvaises en pré- semis peut engendrer un risque d'apparition du phénomène de résistance à cause d'une forte pression de sélection avec peu d'alternatives. D'ailleurs, on assiste à des inquiétudes à l'échelle mondiale quant à l'apparition de la résistance de certaines mauvaises herbes notamment au glyphosate considéré comme le filet de sécurité de l'agriculture de conservation (Archambeaud, 2011). Cette crainte vient du fait qu'à l'échelle mondiale, on a recensé 51 cas d'espèces devenues résistantes au glyphosate à ce jour (Heap, 2021). Parmi ces espèces, certaines sont communes dans les cultures au Maroc telles que: *Lolium* spp., *Bromus* spp., *Avena* spp., *Conyza* spp., *Amaranthus* spp., *Poa annua*, *Sonchus olearaceus*, *Echinochloa crus-galli*. Ces espèces doivent être surveillées de près au Maroc afin d'éviter qu'elles soient, de la même manière, résistantes au glyphosate. Le glyphosate, N- (phosphonométhyl) glycine, appartient à la famille des Aminophosphonates glycines. Son site d'action est l'inhibition de l'énol-pyruvyl-shikimate phosphate synthase (EPSP) causant le blocage de la synthèse des acides aminés phénylalanine, tyrosine et tryptophane (Mahé & al., 2020). Trois mécanismes de résistance au glyphosate ont été rapportés: **(1)** les mutations du site d'action, **(2)** l'amplification du site d'action et **(3)** la translocation altérée due à la séquestration (Shaner & al., 2012).

Pour atténuer ces situations, il est essentiel d'adopter une approche intégrée combinant les pratiques culturales et l'application voire la rotation des herbicides avec différents sites d'action. A cet égard, les sites d'actions distinctifs du paraquat, glufosinate-ammonium ou saflufenacil (en mélange avec un anti graminée tels que fluazifop-P-butyl ou haloxyfop-P-méthyl) signifie que ce sont des alternatives possibles pour le désherbage total de pré-semis en semis direct. Au Maroc, l'office national de sécurité sanitaire des produits alimentaires (ONSSA) a déjà procédé au retrait en 2018 des préparations

contenant le glyphosate en association avec le co-formulant POE-Tallowamine et en 2021 les herbicides contenant le paraquat ou le glufosinate d'ammonium. Par conséquent, le désherbage chimique des cultures tend vers sa réduction voire son élimination surtout avec la pression des consommateurs, des défenseurs de l'environnement et le mouvement social de transition vers l'agroécologie et l'équité socio-environnementale.

6. Gestion des mauvaises en semis direct

Tout d'abord, il est important de signaler que dans le cas du semis direct, une intervention avant semis ou en prélevée s'impose souvent. Dans le reste des cas, les interventions chimiques en post émergence sont semblables que ce soit au niveau du système de semis direct ou au niveau du travail conventionnel. Les traitements herbicides de post émergence des cultures et leurs caractéristiques seront traités dans la partie « Désherbage des principales cultures » dans cet ouvrage. Par conséquent, afin d'éviter une redondance d'information, l'approche d'intégration des méthodes de lutte pour une meilleure gestion des mauvaises herbes au semis direct est ainsi abordée.

En effet, le contrôle des mauvaises herbes à l'échelle mondiale a montré un succès limité qui est vraisemblablement le résultat d'une simplification exagérée pour appréhender le problème (Bàrberi, 2005). Les recherches se sont concentrées sur le développement des herbicides synthétiques pour résoudre tous les problèmes de mauvaises herbes, alors que l'importance de l'intégration de différentes méthodes (préventives, culturales, mécaniques et méthodes chimiques) dans une stratégie de gestion des mauvaises herbes a été pendant longtemps négligée (Bàrberi, 2005).

6.1. Méthodes chimiques

L'utilisation d'herbicides, en particulier dans le cadre de l'AC, nécessite une bonne connaissance des espèces de mauvaises herbes prédominantes et de leur écologie, leur sensibilité aux herbicides, les herbicides disponibles, en particulier leur mode d'action et leur efficacité à différents niveaux de résidus de culture et stades de développement des mauvaises herbes, et la période d'interférence des mauvaises herbes avec les cultures. Une meilleure connaissance du moment critique de l'interférence des mauvaises herbes avec la croissance des cultures permettrait une meilleure planification et une prise de décision plus éclairée par les agriculteurs concernant le moment de l'application et l'efficacité des herbicides, et pourrait stimuler des stratégies pour un contrôle plus efficace des mauvaises herbes (Mrabet, 2008).

Au Maroc trop souvent les traitements herbicides sont appliqués sans tenir compte de ces considérations d'où l'importance d'une connaissance détaillée du spectre d'efficacité des herbicides et les conditions de leurs applications. Certains travaux des chercheurs marocains ont proposé des méthodes de lutte chimique disponibles pour contrecarrer la nuisibilité des mauvaises herbes dans ce système. Les résultats de la lutte chimique obtenus dans différentes cultures (TANJI, 2015; HAJJAJ & *al.*, 2016a; HAJJAJ & *al.*, 2016b; BOUHACHE, 2020) peuvent être exploités pour répondre aux questionnements des agriculteurs adoptant le semis direct en matière de lutte chimique. Cependant, cet outil doit être intégré dans un programme de lutte afin d'assurer un contrôle durable surtout avec le retrait permanent de certains herbicides tels que le paraquat, glyphosate...etc. En effet, la grande inquiétude du grand public concernant l'utilisation des herbicides et leur impact potentiel sur l'environnement et la santé humaine ont incité de nouvelles législations dans de nombreuses régions du monde pour lutter contre la pollution de l'eau et la prévenir, avec des seuils plus restrictifs pour les résidus de pesticides dans l'environnement (BASCH & *al.*, 2020). Ainsi, ces dernières années, le glyphosate a fait l'objet d'un examen minutieux en raison des inquiétudes quant aux effets possibles sur l'environnement et la santé humaine (MYERS & *al.*, 2016; ROMANO-ARMADA & *al.*, 2017). En plus, les systèmes agricoles qui reposent principalement sur le glyphosate pour le contrôle des mauvaises herbes sont voués à faire face à des problèmes croissants de mauvaises herbes résistantes à moyen et même à court terme (BASCH & *al.*, 2020). Dans le même sens, il a été démontré qu'une gestion intégrée des mauvaises herbes combinant le traitement de pré semis et une bonne utilisation d'herbicides en post-levée en rotation culturale en semis direct permet de réduire le

stock semencier, et par conséquent, agir plus efficacement sur la diversité et la composition des mauvaises herbes (Tanji & *al.*, 2017a; Tanji & *al.*, 2017b).

6.2. Méthodes culturales

Pour une meilleure gestion des mauvaises herbes à long terme, il est impératif de mettre en pratique le concept écologique de "diversification maximale des perturbations", qui se base sur la diversification le plus que possible des cultures et des pratiques culturales dans un agroécosystème donné (Bàrberi, 2005). Ainsi, la rotation des cultures qui est un pilier dans la réalisation de semis direct contribue à atteindre cet objectif et par conséquent garantir qu'une mauvaise herbe ou un groupe de mauvaises herbes spécifique ne devient pas prédominant. Plusieurs études ont montré que la séquence de cultures influence la diversité et la densité des espèces de mauvaises herbes sous AC. En plus, la rotation des herbicides avec différents sites d'action aide à prévenir le développement de la résistance des mauvaises herbes à certains herbicides.

Tanji & *al.* (2017a) ont montré que la gestion intégrée des mauvaises herbes dans le semis direct, sur une période de trois dans la zone de Oued Zem au Maroc, en combinant le glyphosate en présemis, l'utilisation d'herbicides de post émergence dans le blé tendre, l'intégration du mélange orge + petit pois et la rotation des cultures (orge + petit pois/blé tendre) a permis de réduire le stock semencier des mauvaises herbes jusqu'à 35%, la richesse en espèces de jusqu'à 47% et la densité des mauvaises herbes avant la récolte jusqu'à 83%. Afin d'obtenir une bonne gestion des adventices ainsi qu'un système d'intégration culture/élevage, les jachères pâturées doivent être remplacées par des cultures fourragères pour le foin sous forme de mélanges fourrages orge + petit pois. Cependant, les mêmes auteurs ont mentionné que l'usage des herbicides était déterminant pour le contrôle des mauvaises herbes et la réduction du stock semencier. Il est d'ailleurs important de faucher le fourrage avant la formation des graines des mauvaises pour empêcher toute réinfestation possible. Dans le même sens, il a été démontré dans une autre étude dans la province de Settat Maroc (Tanji & *al.*, 2017b) que les réductions de du stock semencier des mauvaises herbes après deux saisons de culture étaient de 23% pour le blé dur continu, de 68% pour le blé dur après le canola (colza) et de 72% pour le blé dur après le mélange orge + pois fourrager. La même étude a montré que le blé dur continu a augmenté la densité et le stock semencier du brome rigide (*Anisantha rigida* = *Bromus rigidus*). A l'inverse, dans les rotations orge + petit pois/blé dur et canola/blé dur, le stock semencier du brome rigide a diminué tandis que le blé dur continu a multiplié par trois la densité de du stock de semences du brome rigide dans le sol en deux saisons.

Le génotype joue également un rôle très important dans le phénomène de compétition entre la culture et les adventices associés. Il a été rapporté que la réduction de l'infestation des mauvaises herbes était de moitié chez certaines variétés de céréales hautes et ayant un tallage et un feuillage abondants car elles sont plus agressives et méritent d'être intégrées dans un programme de désherbage surtout que cette méthode est facile, économique et durable (Bouhache, 2020). De plus, le semis sous couverture végétale vivante permanente peut également jouer ce rôle qui consiste à l'installation d'une couverture végétale vivante permanente (espèce pluriannuelle ou pérenne) dans laquelle est implantée une succession de culture. Dans le contexte de l'Afrique du Nord, on peut envisager des successions des cultures de couverture comme la luzerne suivie du semis direct successif d'avoine, sorgho et céréale (blé, orge ou triticale) (Fert, 2018).

6.3. Gestion intégrée

Compte tenu des problèmes liés aux changements de la flore et à la résistance aux herbicides dus à l'utilisation excessive et continue d'herbicides identiques ou similaires, il est impératif que les agriculteurs utilisent un programme intégré de lutte contre les mauvaises herbes (Sims & *al.*, 2018). L'objectif d'une stratégie intégrée de lutte contre les mauvaises herbes dans les systèmes d'AC est de réduire le stock semencier dans le profil du sol (initialement riche en dépôts de graines provenant d'un précédent travail du sol conventionnel), de limiter autant que possible de nouvelles infestations de

mauvaises herbes et de contrôler les futures populations de mauvaises herbes en utilisant le moins de désherbage chimique possible. La rotation des cultures joue un rôle important dans une stratégie de contrôle des mauvaises herbes dans les systèmes d'AC, car une rotation des cultures implique également une rotation des herbicides et des types d'herbicides. Les cultures avec des dates de semis différentes, ou cultivées à des saisons différentes favorisent, et permettent donc le contrôle, de différentes espèces et types de mauvaises herbes (Nichols & *al.*, 2015). L'utilisation d'herbicides peut être plus élevée dans les premières étapes de la mise en œuvre d'un système d'AC mais, si une stratégie efficace de lutte contre les mauvaises herbes est poursuivie, l'utilisation d'herbicides peut être réduite par la suite (Nichols & *al.*, 2015).

Une seule méthode de lutte ne peut plus être proposée pour la maîtrise des mauvaises herbes à cause de nombreux problèmes causés par cette végétation indésirable. Une stratégie de gestion intégrée des mauvaises herbes dans les cultures s'impose et particulièrement en semis direct. Dorado (2012) a proposé quelques règles à suivre pour une meilleure gestion des mauvaises herbes dans ce système. Il faut d'abord commencer le semis direct sur un champ propre. Ceci commence par un diagnostic des espèces de mauvaises herbes problématiques à travers l'identification des principales mauvaises herbes au stade plantule et la localisation des espèces les plus problématiques en ayant des informations sur l'historique de la parcelle. Evaluer les pertes économiques qui résulteraient de telles infestations à travers la détermination de la croissance ou déclin potentiel des populations de mauvaises herbes. Par ailleurs, il est nécessaire de planifier la rotation des cultures, gestion des résidus de récolte, date de semis et disposition spatiale, le choix du génotype, les cultures de couverture, les associations culturales et fertilisation. Ensuite, il faut maîtriser la lutte chimique en pré-semis en choisissant un herbicide de contact ou un herbicide systémique. Cependant, il est recommandé d'utiliser, au lieu du glyphosate, un herbicide de pré-émergence afin de réduire la fréquence d'utilisation du glyphosate. Evidemment, la rotation des cultures implique aussi la rotation des herbicides. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des herbicides de plusieurs modes d'action avec des efficacités testées sur les mauvaises herbes cibles. L'intégration de la jachère chimique est bénéfique dans un programme de lutte intégrée. D'ailleurs, elle est souvent utilisée dans les rotations dans les milieux arides et semi-arides pour la conservation de l'eau et son utilisation de manière efficiente (El Brahli et Mrabet, 2000). D'ailleurs, la jachère chimique permet d'élargir l'éventail des herbicides antidiots, antigramminée et totaux disponibles pour maîtriser la flore adventice sur toutes les saisons de l'année (El Brahli et Mrabet, 2000).

Le désherbage de post levée précoce est recommandé pour atteindre de meilleurs rendements et faire profiter la culture des intrants fournis en choisissant l'herbicide adéquat suivant la flore présente. Il est important de signaler qu'il faut respecter les exigences pour l'application des herbicides à savoir la dose, moment, conditions climatiques, volume d'eau en se référant à la brochure de l'herbicide (Photo. 4). En outre, il faut tenir compte de l'effet résiduel de l'herbicide et sa persistance dans le sol suivant la nature du sol et les rotations associées. De plus, il est important de limiter la production des graines par les plants des mauvaises herbes échappées au contrôle des herbicides. Des outils spécifiques peuvent être utilisés pour couper les inflorescences des mauvaises herbes en-dessus de la culture permettent de limiter la maturité des graines des mauvaises herbes et réduire l'alimentation du stock semencier du sol. Parfois, un désherbage tardif avant la récolte est recommandée. Effectivement, les infestations de fin cycle de certaines mauvaises herbes cause des dommages, tels qu'un retard de récolte et une humidité plus élevée du grain. A titre d'exemple, l'aneth des moissons (*Ridolfia segetum*) est devenu une espèce de fin de cycle très problématique au Nord du Maroc et au Gharb. L'usage répété du glyphosate peut engendrer des espèces résistantes à cet herbicide. Dans ce cas, certains herbicides peuvent substituer le glyphosate en pré-semis comme les auxines synthétique (par exemple 2,4D) ou saflufenacil pour le contrôle des dicotylédones et fluazifop-P-butyl, haloxyfop-P- méthyl, pinoxaden pour contrôler les mauvaises herbes graminées résistantes en pré-semis. Parfois, dans certains pays, la gestion des mauvaises herbes dans le système de semis direct est devenue difficile surtout avec une augmentation accrue de mauvaises herbes résistantes aux herbicides (Dorado, 2012). Pour contribuer à atténuer cette situation, Harrington Seed Destructor (HSD) est un outil qui permet la destruction des semences de mauvaises herbes après récolte. Le HSD est un dispositif qui est attaché à la moissonneuse-batteuse. Ainsi, la paille qui renferme aussi les semences des mauvaises herbes est alors

acheminée vers le HSD pour être broyées. De cette manière, on peut limiter l'alimentation du stock semencier du sol par des espèces résistantes et ainsi réduire les infestations futures.



Photo 4: Effet de sous dosage du glyphosate sur l'infestation de la culture (à gauche une parcelle de semis direct traitée avec 720g/ha de glyphosate, à droite une parcelle traitée avec seulement 360 g/ha) (Photo Hajjaj).

7. Conclusion

Dans ce chapitre, les défis et les potentialités de l'agriculture de conservation, forme d'agriculture durable régénérative des sols, sont discutés et particulièrement en relation avec la gestion des mauvaises herbes et le développement technologique lié à la mécanisation et l'industrie des herbicides. Les résultats des recherches menées au monde et celles conduites au Maroc depuis les années 1980 ont démontré que le semis direct constitue une technique appropriée pour lutter contre le changement climatique, l'amélioration de la fertilité des sols et l'augmentation de la production agricole. Nonobstant, les avantages incontestables du semis direct (agronomiques, économiques et environnementaux), il reste cependant confronté à des contraintes pour sa réussite à long terme. Parmi, les contraintes majeures de ce système, le problème des mauvaises herbes occupe une place importante. Pour relever les défis de la lutte contre les mauvaises herbes, des études scientifiques ont fourni la preuve que les systèmes de semis direct induisent des changements de la population de mauvaises herbes. En clair, à moins que la gestion des adventices ne soit durablement abordée en AC, notamment les premières années, la pression des mauvaises herbes, la résistance des mauvaises herbes et les pertes inhérentes de rendement des cultures peuvent dissuader les agriculteurs d'adopter les pratiques de conservation telles que le semis direct. En d'autres termes, la gestion efficace des mauvaises herbes est considérée comme un élément essentiel et détermine le succès de l'AC.

Une lutte intégrée et la recherche de solutions aux problèmes spécifiques de certaines mauvaises herbes problématiques sont nécessaires pour la réussite et la durabilité des programmes de désherbage en semis direct. La clé de réussite du système de semis direct réside évidemment dans un meilleur suivi technique des agriculteurs particulièrement en ce qui concerne la problématique de la gestion des mauvaises herbes. En effet, afin de gérer avec succès et de manière durable les mauvaises herbes en AC, les agriculteurs doivent être conseillés et soutenus par les services de vulgarisation et les prestataires de services, ainsi qu'encouragés à relever le défi à long terme des mauvaises herbes grâce à des incitations et des subventions. Poussées par la nécessité de réduire les apports d'herbicides dans les systèmes agricoles, les méthodes biologiques de désherbage ont fait l'objet d'études intensives dans différents pays. Cette voie mérite également investigation sous AC au Maroc. En outre, des recherches

supplémentaires et donc des bases de données devraient être développées pour mieux comprendre le lien entre le changement climatique, la dynamique des mauvaises herbes et la gestion des mauvaises herbes sous AC, et pour construire des bases solides pour une modélisation prédictive.

Le Maroc vise à assurer une production agricole durable en tenant compte de la conservation des ressources naturelles (biodiversité, sols et eaux). Dans ce contexte, la stratégie « Génération Green » ambitionne à dépasser 1 million d'hectares de terres sous semis direct à l'horizon de 2030. Cela nécessite d'intégrer la résilience aux stress et aux aléas à l'échelle locale et une plus grande coordination entre tous les secteurs et couches des institutions gouvernementales pour assurer une cohérence de mise en œuvre de la feuille de route systématique d'adoption d'AC.

Références

- Aibar J. (2006) La lutte contre les mauvaises herbes pour les céréales en semis direct, Principaux problèmes. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, 69: 19-26.
- Archambeaud M. (2011) Le glyphosate est-il le 4e pilier de l'agriculture de conservation ? Revue Techniques Culturelles Simplifiées, 62: 28-30.
- Aritz R.E., Recasens J., Garrido J. & Torra J. (2018) Rigput Brome (*Bromus diandrus* Roth.) Management in a No-Till Field in Spain. Agronomy, 8(11): 251. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110251>
- Bàrberi P. (2005) Méthodes préventives et culturales pour la gestion des mauvaises herbes. In: Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement, Labrada R. (ed.), pp. 187-201, FAO, Rome, Italie.
- Basch G., Teixeira F. & Duiker S.W. (2020) Weed management practices and benefits in Conservation Agriculture systems. In: Kassam, A. (ed), Advances in Conservation Agriculture, Volume 2, pp. 105-142. 10.19103/AS.2019.0049.04.
- Boughlala M. & El Gharras O. (2015) Adoption of NT system and change in farmer's behavior (CANA project). Rapport d'activité INRA-CRRA de Settat.
- Boughlala M., El Gharras O. & Dahan R. (2011) Economic comparison between conventional and no-tillage farming systems in Morocco. HTE, No. 149/150: 35-39.
- Bouhache M. (2017) Atout et faiblesse des herbicides utilisables sur céréales au Maroc. Hors-série céréaliculture. Agriculture de Maghreb, 100: 10-16.
- Bouhache M. (2018) Chrysanthème à couronne, une autre adventice des céréales résistante aux herbicides. Agriculture de Maghreb, 115: 70-73.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc. Association Marocaine de protection des plantes (AMPP), Dar Al Qalam, Rabat, 165 p.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Association Marocaine de protection des plantes (AMPP), Dar Al Qalam, Rabat, 375 p.
- Bouhache M., Rzazi S.B., Taleb A. & Sakhi M. (2000) Nécessité de désherbage précoce des céréales pour la valorisation des inputs. Proc. Journée nationale sur le désherbage des céréales, Settat, pp. 93-98.
- Bouzza A. (1990) Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semiarid areas. Ph.D. Dissertation, Univ. of Nebraska, Lincoln, USA, 125 p.
- Clements D.R., Benoit D.L., Murphy S.D. & Swanton C.J. (1996) Tillage effects on weed seed return and seedbank composition. Weed Sci., 44: 314-322.
- Darmency H. & Gasquez J. (1990) Résistances aux herbicides chez les mauvaises herbes. Agronomie, EDP Sciences, 10(6): 457-472. hal-00885307
- Dorado J. (2012) Reduced and No-Tillage. Séminaire sur Gestion des mauvaises herbes dans l'agriculture actuelle, IAMZ, Espagne.
- Dorado J., Delmonte J.P. & Lopez-Fando C. (1999) Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystems. Weed Science, 47: 67-73.
- El Brahli A., El Gharras O. & El Hantaoui N. (2009) Le système semis direct: Nouveau mode de production et modèle d'agrégation pour une agriculture pluviale durable au Maroc. Bulletin de transfert de technologie en Agriculture, 182.

- El Brahli A. & Mrabet R. (2000) La Jachère chimique: pour relancer la céréaliculture non-irriguée en milieu semi-aride marocain. Proc. Journée nationale sur le désherbage des céréales, Settat, pp. 133-145.
- El Gharas O., El Hantaoui N. & El Brahli A. (2010) Le semis direct dans la Chaouia, perspective de développement dans le cadre du PMV. Agriculture du Maghreb, 46: 88-93.
- El Gharas O. & Idrissi M. (2006) Contraintes technologiques au développement du semis direct au Maroc. Opt. Médit., 69: 121-124.
- Essahat A. (2015) Le semis direct dans le plateau du Saïs. Agriculture de Maghreb, 83: 46-47.
- FAO (2021a) Qu'est-ce que l'agriculture de conservation ? <https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/what-is-conservation-agriculture/fr/> . (23/12/2021)
- FAO (2021b) The State of Food and Agriculture 2021. Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- Fert (2018) Semis sous couverture végétale vivante permanente (SCVP). Projet agriculture de conservation au Maghreb 2014-2017. https://www.fert.fr/v2/wp-content/uploads/2018/09/Fiche_SD_FR_Fert.pdf . Consulté le 05 janvier 2021.
- Hajjaj B., Bouhache M., Mrabet R. & Taleb A. (2018) Stock semencier des mauvaises herbes dans le sol et évolution de la flore de surface sous système de semis direct. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 12: 1-17.
- Hajjaj B., Bouhache M., Mrabet R., Taleb A. & Douaik A. (2016a) Efficacité de quelques herbicides des céréales dans une culture du blé tendre conduite en semis direct. Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires, 4(3): 48-56.
- Hajjaj B., Bouhache M., Mrabet R., Taleb A. & Douaik A. (2016b) Efficacité de quelques séquences d'herbicides contre les mauvaises herbes du pois chiche et de la fèverole conduits en semis direct. Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires, 4(3): 37-47.
- Hajjaj B. (2018) Evolution et gestion des mauvaises herbes des céréales et des légumineuses conduites en système de semis direct dans la Chaouia. Thèse de Doctorat. IAV Hassan II, Rabat, 168 p.
- Hamal A. (2005) Elaboration des bases de gestion intégrée du brome raide (*Bromus rigidus* Roth.) dans la culture du blé (*Triticum* spp.) dans le Sais, Maroc. Thèse de Doctorat, IAV Hassan II, Rabat, 173 p.
- Heap I. 2021. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Online. Wednesday, December 15, 2021.
- Hill P.R., Griffith D.R., Steinhardt G.C. & Parson S.D. (1994) The evolution and history of no-till farming. Natl. Conserv. Till. Digest, 1(4): 14-15.
- Hobbs P.R. (2007) Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? J. Agric. Sci., 145:127-137. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859607006892>
- Kassam A., Derpsh R. & Friedrich T. (2020a) Chapter 2: Development of conservation agriculture systems globally. In: Kassam, A. (ed) Advances in Conservation Agriculture. Volume 1: Systems and Science. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK. ISBN-13: 9781786762641.
- Kassam A., Gonzalez Sanchez E.J., Goddard T., Hongwen L., Mello I., Mkomwa S., Shaxson F. & Friedrich T. (2020b) Chapter 13: Harnessing ecosystem services with Conservation Agriculture. In: Kassam, A. (ed) Advances in Conservation Agriculture. Volume 2: Practice and Benefits. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK. ISBN-13: 9781786762689.
- Kassam A., Friedrich T. & Derpsh R. (2022) State of the global adoption and spread of Conservation Agriculture. In: Kassam, A. (ed) Advances in Conservation Agriculture. Volume 3: Adoption and spread. ISBN-13: 9781786764751
- Kassam A. & Kassam L. (2020) Rethinking food and agriculture. New ways forward. Elsevier. ISBN 978-0-12-816410-5.
- Labrada R. (2005) Tendances actuelles de gestion des mauvaises herbes. In: Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement, Labrada R. (ed), pp. 265–277, FAO, Rome, Italie.
- Laghrou M., Moussadek R., Mrabet R. & Mekkaoui M. (2019) Effet à moyen et à long terme du semis direct sur la matière organique, la stabilité structurale et la compaction des sols argileux au Maroc. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét., 7(2): 356-362.

- Laurent F. (2015) L'Agriculture de Conservation et sa diffusion en France et dans le monde. *Cybergeog: European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 747, mis en ligne le 10 novembre 2015, consulté le 21 décembre 2021. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeog/27284>; DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeog.27284>
- Mahé I., Gauvrit C., Angevin F. & Chauvel B. (2020) Quels enseignements tirer du retrait de l'atrazine dans le cadre de l'interdiction prévue du glyphosate? *Cah. Agric.*, 29(29): 1-9. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020026>
- Mohler C. L. (1993) A model of the effects of tillage on emergence of weed seedlings. *Ecol. Appl.*, 3: 53-73.
- Moussadek R. (2012) Impacts de l'agriculture de conservation sur les propriétés et la productivité des vertisols du Maroc Central. *Africa Focus*, 25(2): 147-151.
- Mrabet R. (2008) No-tillage systems for sustainable dryland agriculture in Morocco. INRA-Maroc, Rabat, 154 p.
- Mrabet R. & Moussadek R. (2012) Potentiels de restauration de la qualité des sols sous agriculture de conservation au Maroc. In: *Lutte Anti-érosive: Réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles*. Roose & al. (Edts). IRD Editions. <https://books.openedition.org/irdeditions/12437>
- Mrabet R., Moussadek R., Fadlaoui A. & Ranst E.V. (2012) Conservation agriculture in dry areas of Morocco. *Field Crops Research*, 132: 84-94.
- Mrabet R., Moussadek R., Devkota M. & Lal R. (2021) No-Tillage Farming in Maghreb Region: Enhancing agricultural productivity and sequestering carbon in soils. In: *Advances in Soil Science: Soil Organic Matter and Feeding the Future: Environmental and Agronomic Impacts*, Lal R. (Ed), CRC Press Taylor and Francis Group. DOI: 10.1201/9781003102762-14.
- Mrabet R., Bahri H., Zaghouane O., Chiekh M'hamed H., El-Areed S. R. M. & Abou El-Enin M. M. (2022). Chapter 6: Adoption and spread of Conservation Agriculture in North Africa. In: *Advances in Conservation Agriculture. Volume 3: Adoption and Spread*, Kassam A. (ed), Burleigh Dodds, Cambridge, UK. ISBN-13: 9781786764751
- Mugandani R., Mwandzingeni L. & Mafongoya P. (2021) Contribution of Conservation Agriculture to Soil Security. *Sustainability*, 13: 9857. <https://doi.org/10.3390/su13179857>
- Myers J.P., Antoniou M.N., Blumberg B. & al. (2016) Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. *Environ Health* 15, 19. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0117-0>.
- Naudin K., Le Gal P.Y., Ranaivoson L. & Scopel E. (2015) Accompagner l'innovation en agriculture de conservation: quels apports des agronomes du système de culture ? *Agronomie, Environnement et Sociétés*, 5 (2): 39-46.
- Nichols V., Verhulst N., Cox R. & Govaerts B. (2015) Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research*, 183: 56-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.012>.
- Prestele R., Hirsch A.L., Davin E.L., Seneviratne S.I. & Verburg P.H. (2018) A spatially explicit representation of conservation agriculture for application in global change studies, *Global Change Biology*, 24: 4038-4053.
- Rahali A., Makhlouf M. & Benkherbache N. (2010) Influence de l'itinéraire technique sur le type et le stock semencier du sol des mauvaises herbes. Cas de la zone semi aride de Sétif. *Actes des 4èmes rencontres méditerranéennes du semis direct*, Setif, Algérie, pp. 90-99.
- Romano-Armada N., Amoroso M.J. & Rajal V.B. (2017) Effect of glyphosate application on soil quality and health under natural and zero tillage field conditions. *Soil Environ.*, 36(2): 141-154.
- Ruisi P., Frangipane B., Amato G., Badagliacca G., Di Miceli G., Plaia A. & Giambalvo D. (2015) Weed seed bank size and composition in a long-term tillage and crop sequence experiment. *Weed Research*, 55: 320-328.
- Shaner D. L., Lindenmeyer R.B. & Ostlie M.H. (2012) What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us? *Pest Management Science*, 68(1): 3-9. <https://doi.org/10.1002/ps.2261>.
- Sims B., Corsi S., Gbehounou G., Kienzle J., Taguchi M. & Friedrich T. (2018) Sustainable Weed Management for Conservation Agriculture: Options for Smallholder Farmers. *Agriculture* 8, 0; doi:10.3390/agriculture8080000

- Smith P., Calvin K., Nkem J., Campbell D. & *al.* (2019) Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land-degradation and desertification? *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.14878>.
- Tanji A., El Gharras O., Mayfield A., & El Mourid M. (2017a) On-farm evaluation of integrated weed management in no-till rainfed crops in semi-arid Morocco. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 12(16): 1404-1410.
- Tanji A., El Gharras O., Ouabbou H. & Mladen T. (2017b) Weed Dynamics in No-Till Rainfed Crops in Chaouia, Semi-Arid Morocco. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 9, No. (11): 198-208.
- Tanji A. (2015) Guide de lutte contre les mauvaises herbes dans l'agriculture de conservation au Maroc. INRA-Maroc, Rabat, 169 p.
- Wall P., Thierfelder C., Hobbs P., Hellin J. & Govaerts B. (2020) Chapter 11: Benefits of Conservation Agriculture to farmers and society. In: Kassam, A. (ed) *Advances in Conservation Agriculture. Volume 2: Practice and Benefits*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- WCCA (2021) Declaration. The 8th World Congress on Conservation Agriculture 21–23 June. Bern, Switzerland. www.8wcca.org
- Yigezu Y.A., El-Shater T., Boughlala M., Devkota M., Mrabet R. & Moussadek R. (2021) Can an incremental approach be a better option in the dissemination of conservation agriculture? Some socioeconomic justifications from the drylands of Morocco. *Soil & Tillage Research* Volume 212, August 2021, 105067. [https://authors.elsevier.com/sd/article/S0167-1987\(21\)00137-9](https://authors.elsevier.com/sd/article/S0167-1987(21)00137-9).
- Young F.L. & Thorne M.E. (2004) Weed-species dynamics and management in no-till and reduced-till fallow cropping systems for the semi-arid agricultural region of the Pacific Northwest, USA. *Crop Science*, Vol 23 (11): 1097-1110.
- Zanin G., Berti A. & Zuin M.C. (1989) Estimation of the seed bank in cultivated and direct drilled systems. *Weed Research*, 29: 407-417.

Page laissée vierge

Gestion des plantes parasites: cas de l'orobanche et de la cuscute

Kaddour SAFFOUR

1. Introduction

Le parasitisme est l'un des mécanismes qui régissent les interactions entre les espèces d'une communauté végétale en général. C'est une composante de la nuisibilité primaire directe, à côté de la compétition et de l'allélopathie, des adventices vis-à-vis des cultures dans un agroécosystème (Bouhache, 2021). Caussanel (1989) avait défini le parasitisme comme un mode de vie d'un organisme qui vit aux dépens d'un autre organisme, l'hôte, avec lequel il est associé, en prélevant directement des molécules produites au cours de l'activité métabolique de l'hôte. D'une façon simple et claire, une plante est qualifiée de parasite lorsqu'elle vit partiellement ou totalement aux dépens d'une autre plante. De ce fait, le parasitisme est considéré comme une interaction négative entre deux espèces associées. Les plantes parasites attaquent les plantes hôtes dans tous les milieux à l'exception des milieux aquatiques car la compétition vis-à-vis de l'eau est considérée comme étant une force motrice de l'évolution des plantes (Bouhache, 2021). Le parasitisme est un mode de vie plus évolué: plus le degré de dépendance augmente, plus de profonds changements sont observés sur la morphologie de la plante parasite. Les plantes hémiparasites sont considérées les moins évoluées ou avancées dans le sens de spécialisation parasitaire. Cependant, les holoparasites endoparasites sont les plus évoluées ou différenciées dans ce mode de vie (Bouhache, 2021).

Au Maroc, 850 espèces d'adventices ont été inventoriées dans les cultures et/ou les milieux artificialisés. Cette flore adventice est constituée des phanérogames angiospermes dicotylédones (83,2%) et monocotylédones (16,6%) avec la présence d'une espèce non vasculaire: *Equisetum ramosissimum* Desf. (Prêle, de la famille des *Equisetaceae*). Comparativement aux autres types biologiques, les plantes parasites sont les moins représentées, avec 2% des espèces (voir caractérisation de la flore adventice). Quatre groupes de plantes parasites appartenant à quatre familles botaniques sont présentes au Maroc, *Orobanchaceae*, *Convolvulaceae*, *Viscaceae* et *Santalaceae*. Les espèces de la première et la quatrième famille attaquent la partie aérienne des plantes hôtes, tandis que les espèces des deux autres familles attaquent la partie racinaire. Ces plantes parasites sont représentées par quatre genres et 17 espèces (Bouhache, 2021). Elles s'attaquent à différentes plantes basses ou arboricoles; fruitières ou forestières. Ces parasites, qui sont d'importance variables, sont l'orobanche (genre: *Orobanche* spp.), la cuscute (genre: *Cuscuta* spp.), le Gui (genre: *Viscum*) et le Thesium (genre: *Thesium*) (Bouhache, 2021). Malgré leur faible représentation parmi les adventices des cultures, les plantes parasites sont considérées comme des vrais fléaux, notamment les espèces de l'orobanche et de la cuscute qui méritent une attention particulière.

2. Orobanche

2.1. Biologie de l'orobanche

L'orobanche (chaoual lakhrouf, louted, ben nabbou ou farôun, selon la dénomination des régions du Maroc) est une plante annuelle, parasite obligatoire des racines de nombreuses plantes cultivées ou spontanées. Etant sans chlorophylle ni vraies racines, il dépend totalement de son hôte pour ses besoins en eau et en nutriments (c'est une holoparasite). L'une des causes de dissémination accrue de l'orobanche au Maroc est la méconnaissance du cycle biologique de l'orobanche par un grand nombre de techniciens, encore moins par les agriculteurs. La connaissance de sa biologie est en fait une nécessité absolue et un préalable pour développer et ajuster toute stratégie de lutte.

Le cycle de ce parasite s'accomplit en effet, en deux phases essentielles (Figure 1). La première phase de développement souterrain qui débute de la germination des graines jusqu'à la formation des bourgeons. Selon les conditions de l'environnement, cette phase peut durer de 30 à plus de 100 jours.

La deuxième la phase aérienne commence à partir de l'émergence des tiges jusqu'à la maturité et la dissémination des graines. Le cycle du parasite depuis la germination des graines à la production des graines nécessite de 3 à 7 mois (Link & *al.*, 1989).

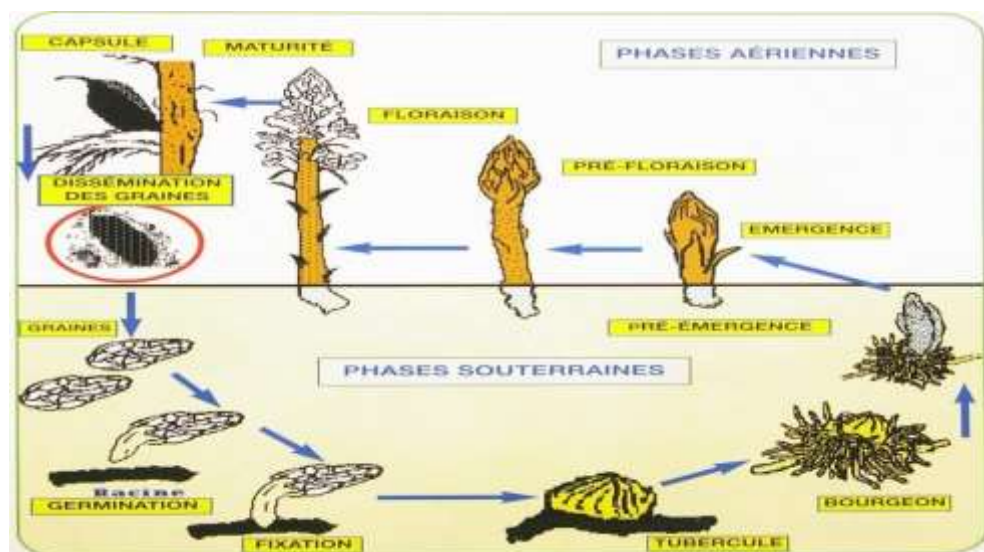


Figure 1: Cycle biologique de l'orobanche (El Idrissi & *al.*, 1997).

Production de semences et germination

Les espèces d'orobanche produisent jusqu'à 100 capsules par hampe florale; lesquelles capsules renferment chacune 500 à 5000 minuscules graines (Figure 2). Le poids de 1000 grains varie de 4 à 9 mg (Linke & *al.*, 1989). Contrairement à l'étude de Saghir (1986), Gibot-Leclerc (2004) a montré qu'il n'existe pas de dormance primaire chez les graines d'orobanche rameuse récoltées. La germination des graines n'est possible que si deux conditions nécessaires soient préalablement remplies; le maintien des graines à l'état hydraté durant 8 à 15 jours voire 20 jours (en fonction de la température) et à la température de 10 à 20 °C (Hezewijk & *al.*, 1993). Après cette phase de 'conditionnement', la graine est prête à recevoir les molécules chimiques signaux (stimulus) des racines des plantes hôtes pour déclencher la germination. Ce stimulus peut parfois provenir de plantes non hôtes et aboutit à ce qu'on appelle "une germination suicide" (Bouhache, 2021).



Figure 2: Capsule ouverte d'*Orobanche crenata* (Linke & *al.*, 1989).

En l'absence de plante hôte, les graines d'orobanche maintiennent leur viabilité pour une longue période dans le sol; de 6 à 30 ans constituant ainsi, des stocks énormes de graines dans le sol (Zermane & *al.*, 1999). Ce stock peut atteindre quatre millions de graines par m² essentiellement dans les 30 premiers cm d'un sol infesté (Zemrag, 1999).

Fixation sur les racines de l'hôte

Après la germination des semences de l'orobanche, le tube germinatif ou procaulôme (de couleur blanche ou jaune-orange, de 3 à 4 mm de long et 0,15 mm de diamètre (Zemrag, 1999), croît en direction de la racine de l'hôte, en réponse à un chimiotropisme positif (Linke & *al.*, 1989). Dès que le contact est établi, il se renfle et initie des papilles (Aber, 1984) qui peuvent jouer un rôle lors de la fixation. Ce stade est extrêmement rapide. A partir de ce moment, deux foyers organogènes sont mis en place: l'un externe qui donnera naissance au tubercule jaune-orange (Figure 3) puis au bourgeon; et l'autre, interne qui édifiera l'endophyte formé de l'haustorium. Les cellules situées à l'extrémité du procaulôme pénètrent dans la racine de l'hôte par dégradation enzymatique (Zemrag, 1999) et sont à l'origine de la formation du "suçoir" (Figure 4).



Figure 3: Tubercules d'orobanche (Linke & *al.*, 1989).

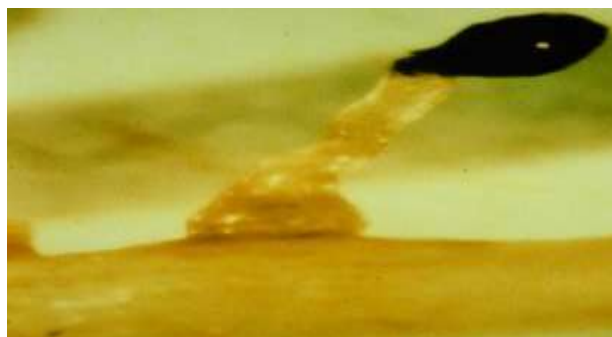


Figure 4: Stade de fixation du tube germinatif de l'orobanche sur la racine de l'hôte (photo Saffour).

Formation des tubercules et bourgeons

La partie terminale du procaulôme restée à l'extérieur de la racine forme un tubercule généralement de couleur orange. Le système racinaire de l'hôte est parfois parasité par plusieurs dizaines de tubercules d'orobanche de différentes tailles, suivant l'allongement de ses racicules et passage à proximité des graines d'orobanche. Après une à deux semaines de croissance, la prolifération de cellules situées à la base et à la périphérie du tubercule conduit à la mise en place d'une couronne de racines adventives dont le développement reste limité, ayant des fonctions d'ancrage et de stabilisation dans le sol (Parker et Riches, 1993). En même temps, les cellules situées au sommet du tubercule forment un méristème caulinaire (bourgeon). Les tubercules accumulent des quantités importantes de réserves prélevées de l'hôte. La durée de la phase d'attachement sur la racine de l'hôte jusqu'à l'émergence des tiges, varie amplement avec la date de semis de la plante hôte. Elle s'étale sur une période de 34 à 75 jours (Mesa-Garcia et Garcia Torres, 1986).

Emergence des tiges et dissémination du parasite

La phase aérienne commence avec l'émergence de la hampe florale au-dessus du sol. La floraison intervient rapidement (2 à 3 semaines) après cette émergence et aboutit à la formation de plusieurs capsules (jusqu'à 100 capsules par tige) renfermant plusieurs milliers de graines chacune. Les graines de l'orobanche, compte tenu de leur grand nombre et de leur taille minuscule, sont facilement

disséminées par le vent, l'eau, les animaux, le matériel agricole, l'agriculteur lui-même, le transport et l'utilisation des semences contaminées particulièrement les sacs.

2.2. Infestation des champs et impact sur la fève

La famille des *Orobanchaceae* est présente au Maroc par au moins quatre espèces: *O. crenata*, *O. aegyptiaca* /*ramosa* (encore appelé *Phelipanche*), *O. cernua* /*cumana*. et *O. foetida* (Figure 5) de façon plus ou moins importante dans presque toutes les régions où se pratiquent les légumineuses alimentaires (Saffour & *al.*, 1999). *O. cumana* devient un handicap majeur à la culture de tournesol dans le Gharb (Saffour & Dekkaki, constat sur le terrain en 2021). *O. crenata* Forsk. est la principale contrainte à la production de la fève depuis déjà 80 ans (Bleton, 1943). Cette espèce parasite aussi la lentille, le petit pois et dans une moindre mesure le pois chiche et le haricot mais aussi, la carotte, tomate au moins. Il est l'un des principaux facteurs biotiques entravant le développement de nombreuses cultures (carotte, tomate, tournesol, etc.), principalement des légumineuses alimentaires dans le bassin méditerranéen et Asie de l'Ouest (Sauerborn, 1991a).

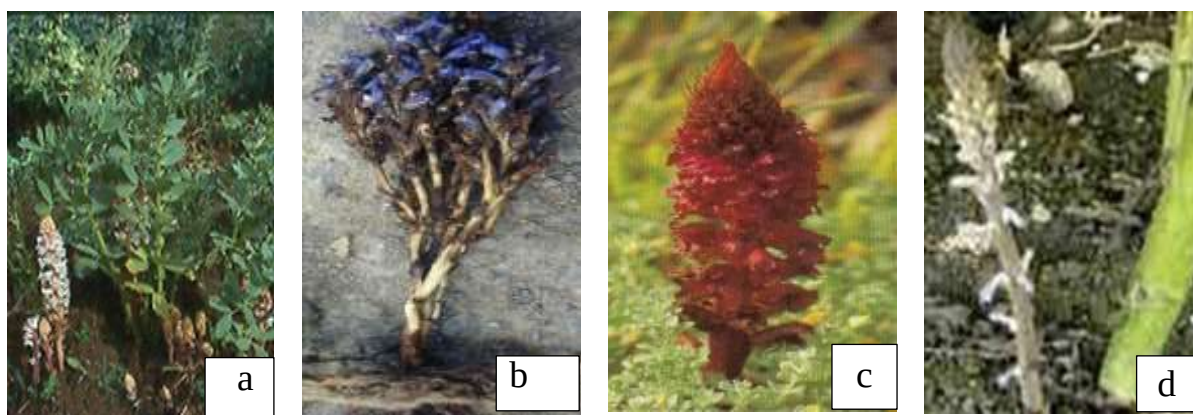


Figure 5: *O. crenata* Forsk. (a), *O. ramosa* L./ *O. aegyptiaca* L. (b), *O. foetida* Poir. (c) et *O. cumana* (d).

Les terres arables menacées par cette plante parasite ont été estimées à environ 16 millions d'hectares (Sauerborn, 1991a). La superficie de fève infestée dans quatre pays méditerranéen: Maroc, Portugal, Espagne et Syrie a été estimée par Sauerborn (1991b) à 200000 ha environ, soit 63% de la superficie emblavée en cette culture. Les pertes de rendement de la fève dues à l'orobanche peuvent aller de 5 à 100% en fonction de l'espèce d'orobanche et de son stock grainier dans le sol, les techniques culturales, le climat et l'état d'humidité du sol durant le cycle de la culture. La croissance intensive des orobanches coïncide avec la floraison de la culture. Les attaques sévères entraînent le flétrissement de la culture, suivie de la réduction de la vigueur de la plante et la chute des fleurs suite à la succion de l'eau et des nutriments par le parasite; ce qui affecte les composantes de rendement (Aber, 1984).

Par ailleurs, les superficies emblavées par les principales légumineuses alimentaires (fève, lentille, petit pois et pois chiche) au Maroc, s'estiment à 309480 ha environ pour une production globale de 310400 tonnes et un rendement moyen de 10.03 qx/ha (FAO, 2019). La sole fève en occupe environ 40.7% en superficie et 23.4% en production totale des légumineuses. Le Maroc qui était le second exportateur mondial des légumineuses durant les années 1970 est devenu importateur 27000 T/an (El Mir & *al.*, 1998). La culture des légumineuses alimentaires, est en effet, conduite en culture extensive. Cependant, le potentiel de rendement, obtenu sur la base des essais de fève est estimé à hauteur de 60 qx/ha (Minguez & *al.*, 1993). Les conditions climatiques défavorables fluctueuses depuis plusieurs années, la sensibilité aux maladies fongiques et principalement les infestations alarmantes des légumineuses alimentaires par l'orobanche ont non seulement conduit à une forte réduction des rendements mais aussi à un recul permanent des superficies emblavées.

Une prospection de 208 champs de fève, réalisée en 1998 (Saffour & *al.*, 1999), à travers les grandes zones productrices de légumineuses au Maroc, a révélé l'existence de trois espèces d'orobanche au Maroc (Figure 5a,b,c):

O. ramosa L. a été rencontrée dans 4,2% des champs des régions de l'Atlas, Tadla, Chaouia et Saïs;

O. foetida Poiret, parasite principalement les adventices du genre *Scorpiurus* *sp.* dans les régions du Saïs, Sidi Kacem, Souk Larbaa, Taounate, Doukkala et le Rif. Des pieds de fève semblent être parasités à Sidi Bennour (Doukkala) et Oued lben (Rif). Cette espèce attaque par contre sévèrement la fève et le pois chiche en Tunisie (Moez & *al.*, 2013);

O. crenata Forsk. Dont le taux d'infestation des champs de fève est de 69,2%, variant de 0 à Tadla à 100% au Chaouia (Tableau 1et Figure 6). Le taux d'infestation a dû doubler en l'espace de quatre ans dans les régions du Gharb, Chaouia et Doukkala;

Sur la base de cette prospection, les champs hautement infestés dans toute la zone d'étude représentent 16,7% et les pertes de rendement ont été estimées à 37,4% de la production de 1998 avec des valeurs variables selon les zones. Cette perte correspond à un manque à gagner de 67050 tonnes de fève qui se chiffre à 67.05 millions de dollars. Elle représente 54, 2% de la quantité de fève consommée annuellement.

Tableau 1: Taux moyen d'infestation des champs par l'orobanche selon les régions du Maroc (Saffour & *al.*, 1999).

Région	Nombre de champs prospectés	Champs infestés		Taux d'infestation (%)	
		Total	Fortement	Notre prospection	Zemrag 1994
Saïs	72	53	6	73,6	83
Gharb	44	29	8	65,9	33
Zaer	13	10	0	76,9	66,7
Chaouia	18	18	2	100	60
Doukkala	20	13	4	65,0	25
Pré-rif	8	5	1	62,5	-
Rif	21	13	3	61,9	-
Atlas	6	3	0	50,0	-
Tadla	6	0	0	0,0	-
Total	208	144	24	-	-
Moyenne	23,1	16	2,7	69,2	-



Figure 6: Etat d'un champ de fève parasité par *O.crenata* au Saïss.

2.3. Gestion de l'orobanche

La particularité de l'orobanche (développement souterrain, attachement aux racines de l'hôte), production fabuleuse de grains par chaque pied (jusqu'à 500000), viabilité potentielle des graines qui peut durer des décennies dans le sol et la grande adaptabilité génétique du parasite aux changements environnementaux rend toute stratégie de lutte une des tâches les plus difficiles (Joel *et al*, 2007). En effet, toute approche de lutte, appliquée seule, n'est souvent que partiellement efficace. Par conséquent, la seule approche efficace de lutter contre ce parasite est l'approche intégrée basée entre autres sur la combinaison de différentes mesures de manière concertée et/ou raisonnée.

2.3.1. Mesures préventives

Le meilleur moyen pour gagner la lutte contre l'orobanche est d'éviter le combat, autrement dit éviter l'infestation. Mais ceci est difficile, voire presque impossible quand les champs voisins sont infestés. Néanmoins, on peut réduire la probabilité d'infestation par le nettoyage avant l'utilisation des machines agricoles et outils de travail avant l'accès aux parcelles. Il convient aussi d'éviter le mouvement des animaux au pâturage d'un champ infesté vers un champ non infesté, l'arrachage manuel et brûlis des tiges qui apparaissent avant la floraison, et s'assurer que les semences à utiliser sont exemptes de semence du parasite (sources de semences). Selon certains techniciens et agriculteurs du Gharb, *O. cumana* est introduit avec les semences hybrides du tournesol provenant principalement de l'Espagne ou de la France. Des mesures de quarantaines strictes, à différents niveaux, national et international doivent être appliquées pour prévenir l'introduction de ce parasite dans les zones indemnes (F.A.O., 2008).

2.3.2. Méthodes physiques

Brûlis

Le brûlis des résidus des cultures infestées est considéré comme un moyen de réduction du stock semencier dans le sol. La chaleur détruit une partie des graines de l'orobanche en surface et dans l'horizon superficiel du sol. Néanmoins, il entraîne la mort des auxiliaires du sol. Aussi, cette pratique est peu ou pas pratiquée au Maroc pour lutter contre l'orobanche, le brûlis concerne principalement la paille des céréales infestées par le brome ou la mouche de Hesse. En outre, cette pratique détruit les œufs de la mouche de l'orobanche qui est considérée comme un moyen biologique efficace contre l'orobanche et qui se trouve naturellement dans plusieurs pays du bassin méditerranéen y compris le Maroc.

Solarisation

Cette méthode consiste à couvrir le sol humide au préalable par un paillage en film plastique transparent (polyéthylène) en période de fortes chaleurs de l'été. Les meilleurs résultats ont été obtenus après 30 à 50 jours de couverture du sol. Les températures sous le polyéthylène qui peuvent dépasser les 56°C dans les 10-15 premiers centimètres tuent les graines d'orobanche qui sont imbibées (Zemrag, 1998). Les graines d'*O. ramosa* peuvent cependant survivre 35 jours à 50°C dans de l'air sec, mais sont rapidement tuées par des températures de 40 °C lorsqu'elles sont humides (Habimana & *al.*, 2014). En outre, l'effet de la température est important aussi bien sur l'orobanche que sur les semences des autres mauvaises herbes, les nématodes et les champignons du sol. Malheureusement, les auxiliaires du sol peuvent aussi être éliminés. Cette méthode est cependant réservée aux petites superficies. Aussi, le travail du sol en profondeur peut retourner les graines viables vers la couche arable exploitable par les racines. La solarisation est aussi peu pratiquée sur les légumineuses alimentaires à cause de son coût onéreux. Elle n'est justifiée que dans le cas des cultures très rentables en l'occurrence les cultures maraîchères, ou dans l'agriculture biologique ou encore sur de petites superficies comme dans le cas des serres. C'est donc une technique de contrôle et non d'éradication.

Arrachage manuel

L'arrachage manuel est la méthode la plus ancienne. Il permet de réduire le stock semencier du sol. Son efficacité est cependant, limitée aux champs nouvellement ou faiblement infestés. L'arrachage des tiges se fait tardivement en plusieurs passages après émergence des tiges à la surface du sol mais avant la formation des graines. Après l'émergence des tiges, le dégât est déjà établi, autrement dit l'efficacité de l'arrachage sur la culture en présence est faible.

Labour profond

Le labour profond est envisageable pour enfouir les graines profondément dans le sol. Toutefois, son efficacité dépend étroitement de la distribution verticale des graines le long du profil mais aussi du matériel adéquat. Les graines, reconnues par leur longue viabilité, finiraient par remonter en surface au premier labour exécuté. Le zéro labour est suggéré plus performant dans le contrôle de l'orobanche en réduisant la quantité de semences viables incorporées au sol (Habimana & *al.*, 2014).

2.3.3. Méthodes culturales

Les méthodes culturales ont présenté des efficacités plus ou moins importantes et sont recommandées dans une lutte intégrée.

Rotation

L'espace dans le temps entre les cultures sensibles à l'orobanche peut réduire le stock semencier du sol, particulièrement si cette rotation comporte une culture piège comme le lin, le fenugrec et le trèfle égyptien (Sauerborn et Saxena, 1986). Ces cultures pièges permettent la germination des graines de l'orobanche sans leur attachement à ses racines, ce qui aboutit à ce que l'on appelle germination "suicide". Aussi, Strelnikov & *al.* (2020) ont montré une forte efficacité de la moutarde blanche utilisée comme engrais vert contre la germination des graines d'*O. cumana* (44.7% de réduction). Toutefois, la longévité des graines d'orobanche dans le sol, rend malgré tout, cette procédure insuffisante à elle seule pour contrôler l'orobanche.

La littérature rapporte plusieurs plantes qui stimulent la germination d'*Orobanche crenata* sans être parasitées « trapcrop » en raison d'interactions allélopathiques dont le poivron, (Hershenhorn & *al.*, 1996), le lin, le blé et surtout l'orge, le fenugrec, le trèfle égyptien (Fernandez-Aparicio & *al.*, 2010), le maïs et le haricot mange-tout (Girma & *al.*, 2005), l'avoine (Sauerborn et Saxena, 1986), le radis (Acharya & *al.*, 2002), le sésame, le chanvre indien brun (Sirwan & *al.*, 2010), le lotier, la vesce commune, l'agrostide traçante, le concombre, la fétuque rouge, le ray-grass italien et le ray-grass vivace, la capucine, le dactyle pelotonné (Lins & *al.*, 2006 in Habimana & *al.*, 2014).

Date de semis

Le décalage de la date de semis réduit le taux d'infestation par l'orobanche (Grenz & *al.*, 2005). La réduction est significative à une température inférieure ou égale à 8°C. Elle est d'autant plus importante que le retard du semis est important d'octobre à décembre (Habimana & *al.*, 2014). Le retard de semis est d'ailleurs bien connu chez les agriculteurs au Maroc qui produisent la fève pour la graine sèche. Ceux qui cultivent la fève en irrigué ou le petit pois pour la production en gousse, préfèrent semer tôt et récolter les gousses en vert avant la forte infestation. Le prix bien rémunérant compense les éventuelles pertes dues à l'orobanche. Toutefois, en conditions du bour (sans irrigation), le retard de semis de la culture peut la défavoriser du fait du décalage de son cycle avec celui de la pluviométrie.

Fertilisation, azotée en particulier

L'infestation des champs de fève par l'orobanche est d'autant plus importante que le sol est pauvre. L'apport du fumier (riche en matière azotée) augmente l'effet destructeur de la solarisation sur les graines d'*O. crenata* (Haidar et Sidahmed, 2000). Une fertilisation azotée et potassique élevée réduit également les infestations des orobanches. Cette réduction peut atteindre 35 à 50% (Saffour, 2005 non publié). Cependant, les doses recommandées sont élevées et non économiques pour la production de la fève. En fait, les résultats de plein champ sont controversés suite à l'environnement influençant la concentration de l'azote dans le sol aussi bien que l'époque d'application en relation avec le cycle de vie du parasite. Des essais de l'utilisation de l'azote (urée 46% ou ammonitrate 33.5%) en pulvérisation foliaire contre l'orobanche ont été conduits à Settat à partir du stade début floraison ont abouti à un bon contrôle de l'orobanche (El Youssfi, 2016). Il préconise ainsi aux agriculteurs, l'utilisation de l'urée (46%) à la dose de 14,4 kg/600 l d'eau pour le contrôle de l'orobanche dans la fève.

Irrigation

La littérature disponible s'accorde sur le fait que les inondations réduisent l'infestation par l'orobanche (Karkanis & *al.*, 2007), particulièrement dans une rotation avec le riz (Sauerborn et Saxena, 1986). Linke (1999) attribue cette réduction à la déficience en oxygène qui affecte la viabilité des graines et particulièrement dans les zones de crue (plusieurs semaines d'inondation) et à une dilution du stimulant libéré par les plantes hôtes. Toutefois, Rubiales and Fernández-Aparicio (2012) rapportent le haut niveau d'infestation de la féverole dans les zones irriguées telles que la vallée du Nil où la féverole est souvent conduite en rotation avec le riz.

Résistance variétale

La résistance génétique est sans doute le moyen le plus adéquat quand elle existe. Il faut distinguer entre tolérance: la plante hôte est parasitée par l'orobanche mais souffre moins que les autres génotypes, résistance: la variété résistante est faiblement attaquée en termes d'attachement ou d'émergence du parasite et immunité (ou résistance réelle): résistance totale, non existante pour le moment. La recherche n'a pas encore réussi à créer des variétés de fève (*Vicia faba* Major) résistantes à l'orobanche. Les variétés égyptiennes Giza 402, 429, G667, 674, et 843, Misr 1 et Misr à petite gousse (féverole) qui présentent une résistance plus ou moins soutenue à l'orobanche (Saber & *al.*, 1997), présentent malheureusement une forte sensibilité au Botrytis au Maroc. Des études suggèrent que, chez la fève, la résistance à l'orobanche est un caractère déterminé par plusieurs gènes à effets majeurs. Ceci rend difficile le développement de cultivars à résistance satisfaisante (Castillejo & *al.*, 2009).

2.3.4. Lutte biologique

La lutte biologique est définie comme étant l'utilisation délibérée d'organismes vivants pour éliminer, réduire ou éradiquer une population nuisible (Boyetchko, 1999). Les agents de lutte biologique ont l'avantage d'être spécifiques à la plante nuisible et de ne pas contribuer directement à la pollution de l'environnement. Plusieurs ennemis naturels ont été identifiés:

Insectes

Parmi les 22 familles d'insectes, *Phytomyza orobanchia* Kalt et *Smicronyx* spp. qui se trouvent naturellement au Maroc (Geipert & *al.*, 1994), se nourrissent exclusivement d'*Orobancha* spp. (tiges et graines). Selon plusieurs auteurs, notamment Kroschel et Klein (1999) *Phytomyza orobanchia* permet une diminution naturelle des graines de 30 à 80% à travers le monde et des lâchers de 500 à 1000 adultes/ha ont entraîné une réduction allant jusqu'à 96% de la production des agraines. Au niveau de la station de Doyet au Maroc, Klein & *al.* (1999) ont constaté une infestation naturelle des capsules 'O.

crenata dans les champs de fève de 49 à 55.4% entre 1994 et 1997 et que les lâchers supplémentaires de *P. orobanchia* dans des cages sur le terrain ont abouti à la production de seulement 3.7 (en 1996) à 6.2% (en 1997) de graines en comparaison des témoins sans lâchers supplémentaires: 94.9% (en 1996) et 34.1% (en 1997). Toutefois, la recherche sur les deux insectes a révélé que leur efficacité pour empêcher la formation de graines est limitée et ne suffira pas à réduire de manière significative la banque de graines du sol (Klein et Kroschel, 2002). Leur efficacité dans les conditions naturelles est limitée par les basses températures, les pratiques culturales (labour, pesticides..) et les ennemis naturels (principalement les parasitoïdes). Ces chercheurs estiment qu'en raison de la longévité des graines, la réduction du stock semencier à un minimum tolérable, nécessite 3 à 4 ans de lâchers supplémentaires (de *P. Orobanchia*). Aucun milieu de culture artificiel d'élevage de cet insecte n'est trouvé à ce jour.

Champignons

Les champignons sont au nombre de 36 espèces au moins qui attaquent les différentes espèces d'orobanche. Cependant, *Fusarium oxysporum* f. sp. *orthoceras* et *Ulocladium botrytis* f.sp, semblent les plus efficaces, mais aucun n'a fait l'objet d'une utilisation continue à grande échelle (Boari et Vurro, 2004).

Bactéries

Les bactéries (*Pseudomonas fluorescentes* et *Pickettii ralstonia*) peuvent réduire la population de l'orobanche à long terme à des niveaux économiquement acceptables. Ces bactéries n'ont pas encore été appliquées efficacement en tant que bioherbicides contre l'orobanche.

2.3.5. Méthode écologique

Les résidus organiques (litière de feuilles et de tiges) de plusieurs arbres, de légumineuses et d'autres espèces ont été utilisés dans la lutte contre l'orobanche (Dhanapal, 1996; Mahmoud et Abdelrahman, 2006). Ceci a incité à tester les sous-produits de l'olive (représentés par le tourteau solide ou grignon et les margines liquides) pour lutter contre l'orobanche.

Grignon d'olive

Le grignon testé durant deux années consécutives a contrôlé *O. crenata* à hauteur de 89 à 97% des tiges d'orobanche et 82 à 85% des tubercules en moyenne soient 93% de matière sèche (MS), dans des essais de fève et de lentille en pots (Saffour, 2003). L'apport de 600 g de grignon/pot a également engendré un retard de 4 à 8 jours l'émergence des tiges d'orobanche et de 8 à 16 jours pour un apport plus important de grignon (de 1000 g), suite au retard dans l'attachement des tubercules aux racines de la fève. Le volume racinaire, le nombre de gousses, le nombre et le poids des grains et le rendement de la fève par pot a été significativement amélioré par l'apport du grignon. D'autre part la mortalité des graines d'orobanche en présence du grigno a atteint 31 et 76% respectivement après 12 et 24 mois d'enfouissement, à 10 cm de profondeur, dans un mélange à proportions égales sol-grignon (1:1). L'augmentation du taux de grignon dans le substrat (mélange 1:3) a encore accéléré la mortalité des graines (88% après 24 mois d'enfouissement à 10 cm de profondeur (Saffour, 2003)).

Margine

Aussi, les margines d'olive apportées à 100, 200 ou 300 ml/ pot de 6 kg, infestés artificiellement par *O. crenata*, à différents stades de développement de la fève (du semis à la floraison selon plusieurs scénarios) ont manifestement réduit le taux d'infestation de la fève. La réduction du nombre de tiges par pot a été de 82 à 97%, celle des tubercules de 78 à 98% et celle de la matière sèche de l'orobanche de 77 à 95%. Les margines ont également engendré un retardement dans l'émergence des tiges

d'orobanche à la surface du sol de 7 à 10 jours. Les doses élevées ont également engendré une amélioration de la biomasse, du volume racinaire et du rendement de la culture (Saffour, 2003).

2.3.6. Lutte chimique

Depuis les années 1970, différentes molécules à des stades variables des cultures ou du parasite ont été testées ou "imaginées » à travers le monde, depuis l'application des strigolactones synthétiques ou autres au sol pour provoquer la germination suicide jusqu'aux herbicides de pré et de post levée de la culture ou du stade développement de l'orobanche. L'emploi des herbicides est considéré comme le moyen incontournable et le plus répandu pour contrecarrer ce parasite, étant donné le résultat qui peut être perceptible à court terme, à l'échelle de la campagne agricole.

Cependant, la lutte contre ce parasite est compliquée du fait d'un certain nombre de facteurs, notamment: **(i)** elle n'est pas efficace en tant que traitement prophylactique, puisque dans la plupart des cas, nous ne connaissons pas le niveau d'infestation; **(ii)** le parasite est directement connecté à l'hôte; **(iii)** si l'herbicide doit être appliqué sur le parasite à travers les tissus conducteurs de son hôte, il doit être sélectif vis-à-vis de l'hôte sans réduire sa phytotoxicité. Aussi, le parasite peut souvent germer en continu tout au long de la saison en développant de nouvelles infections (Perez-de-Luque & *al.*, 2010). Trois méthodes différentes d'application d'herbicides peuvent être envisagées: l'application au sol (fumigation, stimulants de germination et herbicides de pré-émergence), l'application des herbicides foliaires et le traitement des semences.

Fumigants de sol

L'utilisation du bromure de méthyle, du métam sodium, du Dazomet ou du chloropicrine pour la réduction des graines d'orobanche par les chercheurs australiens (Vertue, 2002; Vertue & *al.*, 2003, Nick, 2006) a abouti à des résultats contrastants. En général, ces composés, dont certains sont actuellement interdits (comme le bromure de méthyle) à cause de leur effet sur l'environnement (Hershenhorn & *al.*, 2009) sont peu efficaces, leur application est à risque pour le manipulateur et sont surtout peu intéressants économiquement.

Stimulants de germination

L'utilisation de produits chimiques capables de stimuler la germination des graines d'orobanche en l'absence d'un hôte approprié peut entraîner une réduction de la banque de graines d'orobanche. C'est une germination « suicidaire » parce que; une fois germé, les graines d'orobanche ne peuvent pas retourner à la dormance et ne peuvent survivre que quelques jours sans apport nutritionnel d'un hôte. Il s'agit d'une stratégie de contrôle idéale, mais son utilité est limitée dans les applications du monde réel. Les premières tentatives d'épuisement des banques de graines d'orobanche à l'aide de strigolactone synthétique ont été faites en utilisant l'analogue de strigolactone synthétique GR7 (Fernández-Aparicio & *al.*, 2011).

Herbicides de pré-émergence

Les herbicides de pré émergence actuellement utilisés pour lutter contre l'orobanche appartiennent à la famille des imidazolinones (Eizenberg & *al.*, 2006) et ne sont pas homologués au Maroc. Différentes molécules ont été testées en préémergence de la culture pour le contrôle de l'orobanche dans des essais en Tunisie et au Maroc (Saffour, 2003):

imazapic est jugé phytotoxique en année sèche même à 3 g/ha, bien que d'efficacité convenable sur *Orobanche foetida* en cas d'infestation modérée. Son efficacité est négligeable même à des doses 3 fois plus importantes en cas de forte infestation sur *O. crenata* et *O. foetida* sur fève, en année pluvieuse.

imazapyr employé à 12.5 g/ha est également phytototoxique vis-à-vis de la fève en année moins pluvieuse mais ne montre aucune phytotoxicité en année suffisamment pluvieuse.

Cependant son efficacité est jugée aussi négligeable en cas de forte infestation et en année pluvieuse.

imazethapyr employé à 75 g/ha a par contre montré une efficacité importante vis à vis d'*O. crenata* et d'*O. foetida* sur fève. Habimana & al. (2014) ont rapporté aussi que cette molécule utilisée avant et après la levée des cultures a efficacement protégé les pois contre les dommages causés par l'orobanche, avec une augmentation conséquente du rendement.

imazaquin, utilisé à 80 g/ha est moins efficace que les précédents au Maroc (Zemrag 1994; Saffour, 2003) et en Espagne (Garcia-Torres (1994) alors que Kharrat et Halila (1996) ont noté qu'il est aussi efficace que le glyphosate (91-92%). Ceci dépend inéluctablement de l'humidité du sol au moment et après l'application du produit.

Enrobage des graines de la culture avec des herbicides

Le principe de cette technique est le développement de formulations biodégradables pour l'enrobage des semences avec de petites quantités d'herbicide pour le contrôle de l'orobanche. L'enrobage des semences permet à l'imazapyr de se répandre dans toute la zone racinaire de la culture à mesure que les racines poussent. Il l'empêche de se lessiver de la rhizosphère hôte et nécessite moins d'herbicide (Kanampiu & al., 2002). Les traitements des semences avec des imidazolinones se sont avérés efficaces pour contrôler *O. crenata* dans la féverole. Cela remplace un traitement de prélevée et réduit les coûts d'application. De plus, l'application d'imidazolinones réduit de deux à trois fois la quantité d'herbicide nécessaire, donc moins nocif pour l'environnement. Cependant, dans des conditions environnementales favorables à l'attaque de l'orobanche, le traitement doit être complété par un traitement de post émergence pour obtenir un contrôle élevé de l'orobanche (Kanampiu & al., 2002). Toutefois, si cette technique s'avère pratique pour certaines cultures, elle ne peut être envisagée pour les légumineuses alimentaires au Maroc, du fait que la plupart des variétés utilisées sont non certifiées ou proviennent souvent des productions précédentes. Aussi, le pronamide, utilisé en enrobage ou en trempage des graines du tournesol est jugé intéressant par Sanchez & al. (2003).

Herbicides de post émergence

Bien que le glyphosate ait été recommandé depuis les années 1980's sur fève suite aux résultats des travaux de recherche menés au domaine de Doyet (région de Fès), recommandant la dose de 60 g.m.a./ha au stade tubercule de l'orobanche et répété à la même dose deux semaines après (Janati, 1976; Schmitt & al., 1978, Zemrag, 1999). Ce produit est cependant, peu adopté par les agriculteurs à cause de la non maîtrise de son apport, particulièrement la période optimale de son application et la quantité de bouillie à utiliser (500 L/ha). La deuxième application est en outre souvent négligée (El Antri, 1999). La qualité d'eau de traitement peut aussi influencer l'efficacité de l'herbicide (Bouhache, 2020). Pour résoudre le problème de stade d'application, le protocole de traitement recommandé dans la fève et la féverole est l'application de la dose préconisée (60 g m.a./ha) à partir du stade 10% de floraison de la culture dans une bouillie de 250 L/ha, suivi de deux autres applications espacées de 15 jours quand les conditions climatiques le permettent (Saffour, 2003). Il est à noter que le glyphosate est la seule matière active homologuée pour lutter contre les orobanches et uniquement dans la culture de fève/féverole. Cependant, plusieurs études ou essais ont permis de montrer qu'il est possible d'utiliser des herbicides à base du glyphosate pour le contrôle de l'orobanche dans la lentille, le petit-pois, le pois-chiche à la dose de 30 g/ha de matière active en 2 à 3 traitements espacés de 15 (Tanji, 2021), la carotte à la dose de 108 g/ha de matière active en trois applications espacées de 15 jours à partir du stade tubercule de l'orobanche (Cochavi & al., 2016), etc. Notons qu'un nouveau produit à base de Bentazone et d'imazamox homologué sur féverole à la dose de 1,5 L/ha + 1,5 L/ha de l'adjuvant « Dash » pour le contrôle des adventices dicots et graminées a été jugé (notre observation sur le terrain et témoignage des agriculteurs de Roumani et d'autres régions du Maroc en 2020) efficace contre l'orobanche sur féverole. Cet efficacité est obtenue lorsque cet herbicide est appliqué juste au début floraison de la culture (Bouhache, com. Pers.).

Certains herbicides de la famille des imidazolinones utilisés en pré-levée peuvent également être appliqués en post émergence des légumineuses. L'efficacité de l'imazapyr à 5 g m.a./ha en deux applications au stade tubercule de l'orobanche et deux semaines après, est beaucoup plus stable en post-émergence qu'en préémergence même dans les conditions de forte infestation par l'orobanche (Saffour, 2003). L'imazaquin employé à 15 g m.a./ha en deux applications au stade tubercule de l'orobanche et deux semaines après, présente une efficacité de 80 à 84% sur *O. crenata*. Sauerborn & al. (1989) ont obtenu un contrôle presque complet de l'orobanche par l'emploi de 10 g m.a./ha de ce produit en Syrie au stade début formation des tubercules et 10 g m.a./ha au stade bourgeon. A 30 g m.a./ha en deux applications espacées de 15 jours à Doyet (Maroc) son efficacité est jugé excellente par Betz (1994) malgré des signes de phytotoxicité. L'imazapic utilisé en post émergence présente une efficacité qui varie de 58 à 100% selon les doses. La dose de 10 suivie de 5 g.m.a./ha semble la plus appropriée contre l'orobanche dans la fève. Özge & al. (1998) a rapporté une excellente efficacité (90 à 100%) pour des doses allant de 5 à 10 g m.a./ha selon la variété, aboutissant à un gain de rendement allant de 85 à 106%. Les traitements à l'imazapic et à l'imazapyr en post-émergence sont efficaces contre l'orobanche, traduisant vraisemblablement une plus grande rémanence que le glyphosate. Une seule application de l'imazapic en post-émergence à la dose de 10 g m.a./ha peut être suffisante pour avoir un bon contrôle de l'orobanche. Par ailleurs, le recours à la deuxième application si elle permet d'assurer une meilleure couverture de la période du risque ne doit pas survenir avant trois semaines de la première (Saffour et al, 1999).

Herbicides de pré et de post-émergence

L'imazapic, employé à la dose de 5 g m.a./ha en pré-émergence de la fève, suivi d'un autre traitement au stade tubercule de l'orobanche à la dose de 8 ou 10 g m.a./ha présente une efficacité bonne à très bonne. Bouhache préconise aussi un traitement en pré émergence de la fèverole par le pendiméthaline en pré émergence, suivi par le nouveau produit à base bentazone et d'imazamox en début floraison qui arrive à plus de 80% d'efficacité (communication personnelle). Ce produit est aussi efficace contre un large spectre de mauvaises herbes dicotylédones et graminées.

2.3.7. Lutte intégrée

Comme signalé auparavant qu'aucune méthode ne permet à elle seule de contrôler complètement l'orobanche. Les méthodes physiques sont très utiles pour prévenir l'orobanche mais sont fastidieuses et coûteuses. Les luttes chimique et agronomique, semblent les mesures les plus appropriées lorsqu'elles sont disponibles et surtout abordables. Certaines approches biologiques et la résistance variétale sont prometteuses mais restent coûteuses et le contrôle peut ne pas être complet. C'est pourquoi, il est recommandé de dresser un programme de lutte intégrée qui consiste à combiner et intégrer différentes mesures préventives et moyens de lutte dans le système, pour un contrôle satisfaisant de l'orobanche dans les cultures.

3. Cuscute

La cuscute (*Cuscuta* spp.) est une plante parasite de la partie aérienne des plantes (épiphyte). C'est un redoutable holoparasite annuel, dépourvu de chlorophylle, ne pouvant se développer qu'en présence d'une plante hôte (Figure 7). Cette famille ne contient que le genre *Cuscuta*. Ce dernier comporte 150 à 200 espèces (Parker et Riches, 1993), réparties sur toutes les régions tempérées et chaudes du globe (Chevalier, 1948). Des études récentes incluent le genre *Cuscuta* dans la famille des *Convolvulaceae* (Stefanovic & al., 2002). Au Maroc, la cuscute se considère comme le second parasite après l'orobanche de point de vue importance agronomique. Elle requiert cependant une moindre d'importance malgré les dégâts considérables qu'elle occasionne aux cultures.



Figure 7: Infestation de la luzerne par la cuscute.

3.1. Biologie de la cuscute

La cuscute est une plante annuelle, parasitant un très grand nombre d'hôtes de la famille des dicotylédones aussi bien annuelles qu'arboricoles en plus des herbes sauvages. Les graines de la cuscute sont petites de 1 à 3 mm de diamètre (mais plus grandes que celles de l'orobanche), produites en général en grand nombre (2500 à 3000 graines par tige) et recouvertes par un tégument coriace, brunâtre et présentant de très nombreuses onctuosités (Dembélé & *al.*, 1994). Ce tégument rugueux est le siège d'une dormance liée à l'imperméabilité à l'eau (Hutchison et Ashton, 1979). De ce fait, la graine peut rester viable 10 ans ou plus dans le sol (Gaertner, 1950) jusqu'à 40 ans en sec au laboratoire (Fer, 1985).

3.1.1. Germination et contact avec l'hôte

Les températures optimales de germination des graines de cuscute sont variables. Elles sont de 15°C à 20°C pour les petites graines: *C. epitymum* et *C. trifolii* et 30 °C pour les grosses graines *C. campestris*, *C. monogyna* (Fer, 1985). Ceci explique l'apparition des cuscutes à petites graines précocement, en avril-mai et celle des cuscutes à grosses graines plus tard en juillet. L'émergence des jeunes plantules de cuscute n'est possible que si les conditions de température et d'humidité sont satisfaites et si les graines situées dans la couche superficielle du sol 0-5 cm (Saghir, 1993). Baye (2012) a noté que la cuscute commence à germer dans la région de beni Mellal (Maroc) vers la fin février, lorsque la température dépasse les 20°C et que cette germination se poursuit jusqu'au mois d'août. Vers fin mars – début avril, le parasite commence à fleurir pour atteindre le stade pleine floraison vers fin avril – début mai, alors que la fructification (ou apparition des capsules) commence vers la fin mai et se généralise vers fin juin.

La jeune plantule est constituée d'une racine rudimentaire présentant une elongation et une durée de vie indépendante variable, selon l'espèce, de 5 à plusieurs semaines (Marambe & *al.*, 2002; Costea et Tardif, 2006). La tige de couleur variable de jaune à l'orange ou au rouge violet. Elle est animée de mouvements de rotation ou circonvolution, lui permettant de s'enrouler autour d'un plant (Figure 8) ou d'un support situé dans un rayon de 1 à 3 cm (Fer, 1985). Dès que le contact avec l'hôte est établi, la tige développe de puissants suçoirs (Haustoria) qui pénètrent jusqu'au tissus vasculaires (Phloème) de l'hôte (Beuret, 1981). La racine puis la partie inférieure de la tige de cuscute se dessèchent progressivement et meurent. La cuscute est désormais coupée de tout contact direct avec le sol. C'est la fin de la vie libre et le début de la vie parasitaire.

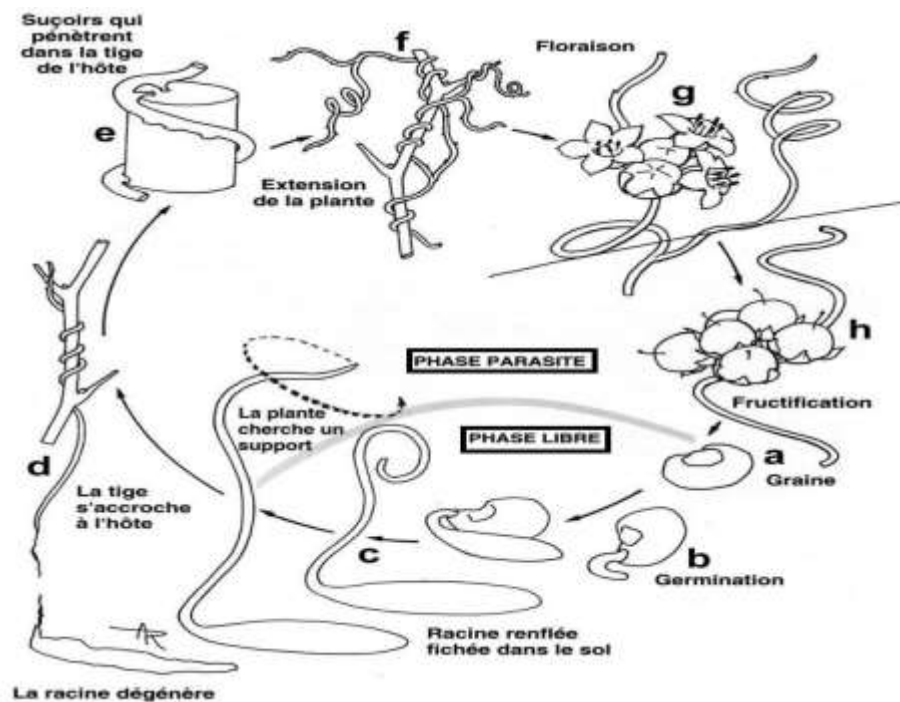


Figure 8: Cycle biologique de la cuscute (Anonyme, 1998).

3.1.2. Croissance et le développement de la cuscute au stade parasitaire

Dès que les suçoirs sont implantés dans les tissus de l'hôte, la croissance de la cuscute s'accélère. L'extrémité libre de la tige du parasite s'enroule autour d'un autre organe de l'hôte ou d'une plante voisine, dans lesquels elle enfonce ses suçoirs avant de reprendre sa croissance. Les rameaux se ramifient ultérieurement par développement de bourgeons latéraux. Ceci aboutit à l'invasion complète de l'hôte en 3 ou 4 semaines (Fer, 1981) et l'extension aux plantes hôtes voisines. Ainsi, une seule graine donne un individu qui est capable, en une saison, de couvrir plusieurs mètres carrés de fins filaments jaune oranges.

3.2. Plantes hôtes de la cuscute et sources d'infestation

Le spectre d'infestation de la cuscute est très vaste. Il comprend les cultures maraîchères (carotte, oignon, tomate, asperge..), les légumineuses alimentaires, les fourrages (principalement la luzerne, les trèfles, le soja), l'arboriculture ornementale ou fruitière (dont les agrumes, l'olivier et la vigne), les dicotylédones spontanées (jujubier, thym, ..), alors que les céréales ne sont pas parasitées (Saffour, 1997). Au Maroc, des infestations importantes ont été reportées dans plusieurs régions agricoles.

Dans le Sais, Betz (1983) a remarqué la forte infestation par la cuscute des champs de la station expérimentale de l'INRA de Douyet. Son infestation s'étend chaque année à de nouvelles parcelles. Saffour (1997) a noté, sur la base de 26 relevés à travers le Sais et le pré-Rif, qu'au moins cinq espèces de cuscute (*C. monogena*, *C. campestris*, *C. planiflora*, *C. epithymum* et *C. pedicellata*) parasitent plusieurs types de cultures, notamment la menthe, l'oignon, les carottes, l'aubergine, la pomme de terre, le piment, la fève, le pois chiche, la lentille, le prunier, la vigne, etc. Aussi, Baye (2009) a rapporté l'existence de deux espèces au Tadla: *Cuscuta monogyna* Vahl. parasitant principalement les plantes ligneuses cultivées et spontanées et *C. suaveolens* Ser. parasitant essentiellement les plantes herbacées cultivées ou spontanées appartenant à un grand nombre de familles (très polyphage).

Selon les relevés réalisés à travers le Maroc, l'attaque de la cuscute est plus ou moins visible sur les cultures ou les plantes spontanées à ouarzazate, Oualidia, Béni Mellal, oliveraie de la Région de l'oriental, Settati, etc. la propagation de la cuscute est beaucoup plus importante dans les cultures qui couvrent bien le sol (la menthe, la luzerne...) (Saffour, 1997). Au Tadla, Baye (2012) a rapporté que l'infestation de la betterave à sucre et de la luzerne par ce parasite devient inquiétante.

Les sources d'infestation par la cuscute sont nombreuses. L'enquête menée par Saffour (1997) a révélé le rôle imminent de l'homme (l'agriculteur lui-même) dans la propagation de la cuscute aux champs cultivés. On en cite l'utilisation de plants maraichers parasités, le transfert de menthe de parcelle infestée à d'autres indemnes au moment de la création de nouvelles mentheries, les plants d'arbres fruitiers (pommier, Poirrier, olivier..) provenant de pépinières non agréées, le fumier, le jujubier qui constitue un hôte potentiel et privilégié de la cuscute. Cet arbuste est souvent coupé et utilisé comme clôture des parcelles constituant ainsi, un vecteur propice de la cuscute s'il a été parasité lui-même.

3.3. Pertes occasionnées par la cuscute aux cultures

La cuscute affaiblit rapidement son hôte par le prélèvement direct de photosynthétats qu'elle ne peut synthétiser elle-même, et par la réduction de la photosynthèse en ombrageant la plante au fur et à mesure de son développement. Elle exerce ainsi un effet inhibiteur puissant sur la croissance et la fructification de l'hôte suite au prélèvement direct et intensif des hydrates de carbone contenues dans le phloème de l'hôte (Fer & al., 1990), ce qui affecte directement le rendement final de la culture parasitée.

Les pertes occasionnées aux cultures sont très variables d'une culture à l'autre et selon l'intensité du parasitisme. Sallé (2018) a rapporté qu'en France, les cuscutes peuvent détruire entièrement les champs de luzerne. Dans le Sais et le pré-rif marocain, Saffour (1997) a estimé ces pertes dans les cultures infestées. Elles variaient entre 30 et 40% dans les champs d'oignon et entre 25 et 48% dans les champs de tomate et d'aubergine selon l'intensité de l'attaque. Dans les pépinières maraichères et les mentheries, les plantes parasitées ne sont pas commercialisables et constituent donc une perte économique de 100%. Ainsi, dans la région de Loudaya (Fès), les pertes s'estiment à 450-600 000 dirhams annuellement pour la seule culture de menthe. Dans les champs de carotte, cette perte a été d'environ 23%. Ce manque à gagner représentait, à la date d'observation, une perte d'environ 4900 dh/ha pour l'agriculteur sur la base du rendement escompté et le prix de vente de la marchandise. Les pertes de rendement des légumineuses alimentaires sont quant à elles très limitées du fait de leur cycle biologique qui s'achève en général avant le plein développement de la cuscute. Pour la betterave à sucre, les pertes ont été estimées par Baye (2021) à 35% au Tadla, mais sans réduction significative du taux de sucre. Aussi, Baye & al. (2009) ont rapporté des pertes de rendement de certaines cultures en fonction du taux d'infestation (Tableau 2).

Tableau 2: Infestation des cultures par la cuscute et perte de rendement au Tadla (Baye & al., 2009).

Culture	Taux d'infestation (%)	Perte de rendement en cas de forte infestation
Agrumes	15	30 à 75%
Olivier	10	Jusqu'à 40%
Betterave à sucre	20	15 à 20%
Luzerne,	45	30 à 60%
Oignon	17	10 à 35%
Tomate	8	
Niora	7	
Courge	7	

3.4. Gestion de la cuscute

Deux stratégies de lutte éventuellement complémentaires, peuvent être envisagées, l'une préventive et l'autre curative.

3.4.1. Lutte préventive

La lutte préventive consiste à éviter l'infestation et à détruire les jeunes plants de cuscute avant floraison, voire avant fixation, ce qui n'est pas toujours facile à cause de la productivité massive en graine, la longévité des graines dans le sol, la présence d'adventices comme hôtes de ce parasite et l'existence de nombreux facteurs de dissémination dont, l'eau d'irrigation, le travail du sol avec des outils contaminés etc. La rotation avec les céréales qui ne sont pas des hôtes naturels de la cuscute, réduit manifestement l'enrichissement du sol en graines de cuscute. La cuscute est la seule plante parasite que l'on peut maîtriser par une rotation culturale en deux à trois années. Cependant, il faut être très vigilant vis-à-vis des adventices qui peuvent, eux, être des hôtes et ainsi alimenter le stock de graines du parasite dans le sol (Sallé, 2018).

Néanmoins, pour l'arboriculture, étant donné que le parasite est annuel, Nous préconisons qu'il suffirait d'éviter tout contact avec les feuilles de l'arbre en éliminant toute la végétation spontanée de janvier à Aout sous l'arbre et en coupant les branches basses (la jupe de l'arbre) pour éviter le contact si le tronc est assez élevé. Les tiges sèches de la cuscute de l'année précédente à la surface de l'arbre, peuvent être ramassées manuellement.

3.4.2. Lutte curative

En matière de lutte curative, une fois que la cuscute est fixée sur un hôte, il est très difficile de s'en débarrasser sans détruire l'hôte. Généralement, lorsque l'agriculteur note la présence de « plaques de cuscute » dans un champ, il n'a plus d'autre choix que de détruire l'ensemble hôte-parasite par un brûlage ou par un traitement chimique tel que le glyphosate. Les études conduites au Tadla ont permis de montrer que *Cuscuta monogyna* Vahl. est une plante parasite importante sur agrumes et olivier et sur d'autres plantes ligneuses et *Cuscuta suaveolens* Ser. parasite de nombreuses cultures annuelles et s'attaque fortement à la luzerne. L'utilisation du glyphosate sur ces deux espèces de cuscutes a permis de montrer que *Cuscuta monogyna* sur clémentinier et sur oranger a été bien contrôlée avec des doses de glyphosate de 150 à 200 mg/L (4litres/arbre) alors que ces doses étaient inefficaces dans le cas du citronnier et de l'olivier. Dans le cas de la luzerne, une seule application du glyphosate à 75 à 100 g/ha a assuré un contrôle satisfaisant du parasite (Baye, 2010). Cependant, les doses élevées causent la phytotoxicité de l'arbre (Abu Irmeileh, 1998). Baye (2014) a noté que la dose de 400 à 500 mg du glyphosate par litre d'eau et à raison de 3 litres par arbre d'olivier en trois applications espacées de 10 jours au début du développement du parasite donne de bons résultats dans le contrôle de la cuscute.

Dans les conditions du Tadla, Baye (2012) a montré qu'un traitement avec le glyphosate à de faibles doses à un stade précoce de la cuscute (avant floraison) et de la betterave semble constituer une solution pour la maîtrise de ce parasite. Ainsi, un double traitement de la betterave à sucre contre la cuscute au glyphosate à la dose de 7.5 ou 10 g/ha à partir du stade 20 feuilles de la betterave et avant la floraison de la cuscute a abouti à une bonne efficacité de 81 et 86% tout en réduisant la fructification du parasite de 90 à 94%. La dose de 30 g/ha a été phytotoxique pour la culture. Le glyphosate pourrait être également utilisé à la dose de 400 g/ha vers la fin du cycle de la carotte pour maîtriser une infestation de cuscute (Lanini et Kogan, 2005).

En plus du glyphosate qui est beaucoup recommandé, plusieurs herbicides commercialisés au Maroc pourraient être utilisés en pré-levée ou en post-émergence pour le contrôle de la cuscute dans les vergers et /ou les cultures annuelles. Par exemple, les herbicides à base de l'indaziflame, l'oxyfluorène, la pendiméthaline ou du propyzamide sont utilisables en pré-levée dans les vergers (Bouhache, comm. pers.), de la pendiméthaline en pré-levée dans le petit pois, la pomme de terre, le tabac (Garcia-Torres, 1993), la carotte, l'oignon et la luzerne (Lanini et Kogan, 2005), de l'ethofumesate en pré-levée dans la

betterave à sucre (Garcia-Torres, 1993), du rimsulfuron et du sulfosulfuron en post-levée dans la culture de tomate (Lanini et Kogan, 2005).

4. Conclusion

Le parasitisme est une composante de la nuisibilité primaire directe, à côté de la compétition et de l'allélopathie, des adventices vis-à-vis des cultures dans un agroécosystème. Une plante est qualifiée de parasite lorsqu'elle vit partiellement ou totalement aux dépens d'une autre plante. Au Maroc, ces plantes parasites sont représentées par quatre genres et 17 espèces dont les espèces des genres *Orobanche* et *Cuscuta* sont les plus redoutables. Effectivement, l'orobanche est un fléau qui menace la culture des légumineuses au Maroc. Il est donc fort temps que ce fléau soit pris au sérieux au Maroc à l'instar des grandes opérations qu'a connu le Maroc (opération labour, opération blé tendre...) à tous les niveaux. La particularité de l'orobanche rend toute stratégie de lutte une des tâches les plus difficiles. En effet, toute approche de lutte, appliquée seule, n'est souvent que partiellement efficace. Par conséquent, la seule approche efficace de lutter contre ce parasite est l'approche intégrée basée entre autres sur la combinaison de différentes mesures de manière concertée et/ou raisonnée.

Il semble que toutes les régions du Maroc sont plus ou moins infestées par une ou plusieurs espèces de cuscute. Les plantes hôtes de ce parasite sont aussi nombreuses et diversifiées. Le parasitisme de plantes spontanées à côté des plantes cultivées accentue l'extension et la persistance de son danger. Les rares travaux de recherche ont noté des dégâts sur les cultures qui sont innombrables, mais l'ampleur des dégâts au Maroc ne sont pas totalement évaluées réellement. Les traitements préconisés focalisent sur le glyphosate à des doses variables selon la culture. Mais une lutte intégrée combinant principalement la rotation avec des céréales désherbées, le travail profond, le brulis (parasite et hôte) des spots avant floraison seront le moyen adéquat pour les cultures basses. L'élimination de toutes les herbes au dessous des arbres et la coupe des branches pendantes éviterait toute infestation des arbres dans les endroits soupçonnés.

Références

- Aber M. (1984) Etude histo-cytologique et physiologique du couple *Orobanche crenata* Forsk. *Vicia faba* L. Thèse Dr. Ingén., Université Pierre et Marie Curie, Paris, 108 p.
- Abu Irmeileh B.E. (1987) Eastern dodder (*Cuscuta monogyna* Vahl.) distribution, host range and its response to glyphosate applications. Parasitic Flowering plants. Proceeding of the 4th ISFPF, Marburg, pp. 1-10.
- Acharya B.D, Khattri G.B, Chettri M.K. & Srivastava S.C (2002) Effet de *Brassica campestris* var. toria comme culture dérobée sur la banque de semences d' *Orobanche aegyptiaca*. Prot., 21:533-537.
- Anonyme (1998) Biologie des phanérogames parasites, C.R. Soc. Biol., 192: 9-36.
- Baye Y. (2010) Résultats préliminaires sur le contrôle chimique de *Cuscuta monogyna* Vahl. Sur agrumes et olivier et de *C. suaveolens* Ser. Sur luzerne. 7^{ème} Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes, Rabat, pp. 371-375.
- Baye Y. (2012) La cuscute (*Cuscuta suaveolens*) sur betterave à sucre Tadla: quelques aspects biologiques et possibilités de contrôle. Huitième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes, Rabat, pp. 397-408.
- Baye Y. (2014) La cuscute de l'olivier (*Cuscuta monogyna* Vahl.) au Tadla: Etat actuel de l'infestation, importance, cycle biologique et possibilité de gestion intégrée. Symposium international /Oléa 2014. Société Marocaine d'Agronomie et d'Horticulture (SMAHO), pp. 119
- Baye Y., Taleb A. & Bouhache M. (2009) Etat de l'infestation de la région de Tadla par les plantes parasites. Colloque International sur la Gestion des Risques Phytosanitaires, Marrakech, pp. 751-759.
- Betz H. (1994) Essai de lutte chimique contre l'orobanche sur la culture de fève. Compte rendu des journées légumineuses alimentaires, Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, Mehdiya, Maroc, pp. 229-238.

- Beuret E. (1981) La cuscute champêtre (*Cuscuta* spp), un parasite des cultures maraichères valaisannes. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hort.*, (13)3: 141-148.
- Bleton C. (1943) Les orobanches " pour les détruire, cultivez du lin". *La terre Marocaine*, 13 (158): 4-6.
- Boari A. & Vurro M. (2004) Evaluation of *Fusarium* spp. and other fungi as biological control agents of broomrape (*Orobancha ramosa*). *Biol. Control.*, 30: 212-219.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 p.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 375 p.
- Boyetchko S.M. (1999) Innovative applications of microbial agents for weed control. In: *Biotechnological approaches in biocontrol of plant pathogens*, Mukerji K.G. (ed), pp. 73-97, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, USA.
- Castillejo M.Á. & al. (2009) Differential expression proteomics to investigate responses and resistance to *Orobancha crenata* in *Medicago truncatula*. *BMCC Genomics*, 10: 294 p.
- Caussanel J.P. (1989) Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture: situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9 (3); 219-240.
- Chevalier A. (1948) Les cuscutes et leur répartition dans le monde. *Rev. Intern. Bot. Appl. et Agric. Trop.*, janv-fév: 85-87.
- Cochavi A., Rubin B., Smirnov E., Achdari G. & Eizenberg H. (2016) Factors Affecting Egyptian Broomrape (*Orobancha aegyptiaca*) Control in Carrot. *Weed Science*, 64(2): 321-330.
- Costea M. & Tardif F.J. (2006) The biology of Canadian weeds. 133. *Cuscuta campestris* Yunker, *C. gronovii* Willd. Ex Schult., *C. umbrosa* Beyr. ex Hook., *C. epithymum* (L.) L. and *C. epilinum* Weihe. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 293-316.
- Dhanapal G.N. (1996) Management of broomrape (*O. cernua* Loefl.) in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 183 p.
- Eizenberg H., Colquhoun J.B. & Mallory-Smith C.A. (2006) Imazamox application timing for small broomrape (*Orobancha minor*) control in red clover (*Trifolium pratense*). *Weed Sci.*, 54: 923-927.
- El Antri M. (1999) Utilisation du glyphosate et de l'imazaquin pour la lutte contre l'orobanche des fèves (*Orobancha crenata* Forsk.). *Proceedings de la Journée Nationale sur les Plantes Parasites*. Meknès, Maroc, pp. 29-35.
- El Idrissi M. R., Ouammou M. & Oufkir M. (1997) L'orobanche: biologie et méthodes de lutte. Ministère de l'Agriculture, de l'Équipement et de l'Environnement/ INRA, Meknès- GTZ, Projet "Amélioration de la Culture des Légumineuses Alimentaires", Fiche technique, 15 p.
- El Mir M., El Harti A., El Mezroui R. & Berri Y. (1998) Analyse de l'évolution des prix des légumineuses alimentaires depuis 1960 en relation avec les niveaux de production et les orientations du MAMVA. In: *Commercialisation des légumineuses alimentaires au Maroc*, O.N.I.C.L/ DPV- GTZ, pp. 1-32, Rabat.
- El Yousfi B. (2016) Effet de la fertilisation azotée et du glyphosate sur le contrôle de l'Orobanche (*Orobancha crenata* Forsk.) sur fève (*Vicia faba* L.). *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, N° 10: 67-81. FAO, FAOSTAT (2019).
- FAO (2008) Progress on farmer training in parasitic weed management. Rome-Italy.
- Fer A. (1981) Recherches sur les voies de transport impliquées dans l'alimentation d'une phanérogame parasite. Etude sur des feuilles isolées parasitées par *Cuscuta*. *Physiol. Vég.*, 19: 177-196.
- Fer A. (1985) Cuscute: biologie, physiologie et espoir de lute. *Bull. Fnams semences*, 93: 14-18.
- Fernandez-Aparicio M., Yoneyama K. & Rubiales D. (2011) The role of strigolactones in host specificity of *Orobancha* and *Phelipanche* seed germination. *Seed Science Research*, 21: 55-61.
- Fernández-Aparicio M., Emeran A.A. & Rubiales D. (2010) Inter-cropping with berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) reduces infection by *Orobancha crenata* in legumes. *Crop Prot.*, 29:867-871.
- Garcia- Torres L. (1993) An overview of *Cuscuta* control. Near East Working Group for Improved Weed Management Newsletter (114), Nicosia, Cyprus, 9 p.

- Garcia-Torres L. (1994) Progress in orobanche control, an overview. Biology and management of orobanche. Proc. of the third Intern. Workshop on Orobanche and related Stiga research, Pieterse A.H., Verkleij J.A.C. & Ter Borg S.J. (eds), pp. 390-399, Royal Tropical Institute, Amsterdam, The Netherlands.
- Geieprt S., Kroschel J. & Sauerborn J. (1994) Incidence of *Phytomyza orobanchia* Kalt. (Diptera: Agromyzidae) in northern Morocco and perspectives for a biological control of *Orobanche* spp. Results of a field survey. Fifth Arab Congress of Plant Protection. Fez, Morocco, pp. 235.
- Gibot-Leclerc S. (2004) Etude épidémiologique, écophysiologique et agronomique du couple *Orobanche ramosa* L. / *Brassica napus* L. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, Pierre et Marie Curie.
- Girma A., Girefe S., Abdel-Rahman M. & Al-Tawaha (2005) Evaluation of Potential Trap Crops on Orobanche Soil Seed Bank and Tomato Yield in the Central Rift Valley of Ethiopia. World J. Agril. Sci., 1(2): 148-151.
- Grenz J.H., Manschadi A.M., Uygur F.N. & Sauerborn J. (2005) Effects of environment and sowing date on the competition between faba bean (*Vicia faba*) and the parasitic weed *Orobanche crenata*. Field Crop Res., 93: 300-313.
- Habimana S., Nduwumuremyi A. & Chinama R.J.D. (2014) Management of Orobanche in field crops- A review. J. Soil Sci. Plant Nutr., vol. 14.
- Haidar M.A. & Sidahmed M.M. (2000) Elemental sulphur and chicken manure for the control of branched broomrape (*Orobanche ramosa*). Prot., 25: 47-51.
- Hershenhorn J., Eizenberg H., Dor E., Kapulnik Y. & Goldwasser Y. (2009) *Phelipanche aegyptiaca* management in tomato. Weed Res., 49: 34-47.
- Hershenhorn J. & al. (1996) Role of Pepper (*Capsicum annum*) as a Trap and Catch Crop for Control of *Orobanche aegyptiaca* and *O. cernua*. Weed Sc., 44: 948-951.
- Hezewijm M.J., Van Beem A.P., Verkleij J.A.C. & Pieters A.H. (1993) Germination of *Orobanche crenata* seeds, as influenced by conditioning temperature and period. Canadian Journal of Botany, 71: 786-792.
- Hutchison J.M. & Ashton F.M. (1979) Effect of dessication and scarification on the permeability of the seed coat of *Cuscuta campestris*. Amer.J. Bot., 66:40-46.
- Janati M. (1976) Orobanche des légumineuses alimentaires. In: Maladies et Ravageurs des Plantes Cultivées au Maroc, Tome 1, pp. 83-85, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Direction de la Recherche Agronomique, Rabat.
- Joel D.M. et al . (2007) Biologie et gestion des parasites des racines des mauvaises herbes. Hort. Rév., 33: 267-349.
- Kanampiu F. & al. (2002) Appropriateness of biotechnology to African agriculture: Striga and maize as paradigms. Plant cell tissue and organ culture, 69: 105-110.
- Karkanis A., Bilalis D. & Efthimiadou A. (2007) Tobacco (*Nicotiana tabaccum*) Infection by Branched Broomrape (*Orobanche ramosa*) as Influenced by Irrigation System and Fertilization, under East Mediterranean Conditions. Journal of Agronomy, 6:397-402.
- Kharrat M. & Halila M.H. (1996) Control of *Orobanche foetida* on *Vicia faba*: comparison between different control measures. Pages: 734-738. In: Advances in parasitic plant research, pp. 734-738, Junta de Andalucia, Cordoba, Spain.
- Klein O. & Kroschel J. (2002) Lutte biologique contre Orobanche spp. avec *Phytomyza orobanchia*, un bilan. Biocontrôle, 47: 245-277.
- Klein O., Kroschel J. & Sauerborn J. (1999) Efficacité de lâchers supplémentaires de *Phytomyza orobanchia* Kalt. (Diptera: Agromyzidae) pour la lutte biologique contre l'Orobanche au Maroc. In: Advances in Parasitic Weeds Control at On farm Level. Vol. II. Joint action to control orobanche in the WANA Region, Kroschel J., Abderabihi M. et Betz H. (eds), pp. 161-171, Margraf Verlag, Weikershim, Germany.
- Kroschel J. & Klein O. (1999) Biological control of *Orobanche* spp. With *Phytomyza orobanchia* Kalt., In: Advances in Parasitic Weeds Control at On farm Level. Vol. II. Joint action to control orobanche in the WANA Region, Kroschel J., Abderabihi M. et Betz H. (eds), pp. 135-159, Margraf Verlag, Weikershim, Germany.

- Lanini W.T. & Kogan M. (2005) Biology and management of *Cuscuta* in crops. *Cien. Inv. Agri.*, 32(3): 127-141.
- Linke K. H.(1999) Status quo of Orobanche management: preventive, cultural and physical control. In: *Advances in Parasitic Weeds Control at On farm Level. Vol. II. Joint action to control orobanche in the WANA Region*, Kroschel J., Abderabihi M. et Betz H. (eds), pp. 107-133, Margraf Verlag, Weikershim, Germany.
- Linke K. H., sauerborn J. & Saxena M.C (1989) *Orobanche Field Guide*. University of Hohenheim-ICARDA. 42 p.
- Yahia A.E.A.M. (2006) Control of Broomrape (*Orobanche ramosa* L.) by using two (Herbicides) and one natural product (Neem leaves powder) on tomato crop. These MSc. Khartoum: Sudan university of Science and Technology, College of Agricultural Studies, 80 p.
- Marambe B., Wijesundara S., Tennakoon K., Pindeiya D. & Jayasinghe C. (2002) Growth and development of *Cuscuta chinensis* LAM. and its impact on selected crops. *Weed Biology and Management*, 2: 79-83.
- Mesa-Garcia J. & Garcia-Torres L. (1986) Effect of planting date on parasitism of broad bean (*Vicia faba*) by crenate broomrape (*Orobanche crenata*). *Weed Sci.*, 34: 544-550.
- Minguez M.I., Ruiz-Nogueira B. & Sau F. (1993) Faba bean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. *Field crops Res.*, 33: 435-447.
- Moez A., Zouhaier A., Hamadi B.S., Bouhadida M., Trabelsi I. & Kharrat M. (2013) The problem of Orobanche in Tunisia: current state, specificity and main results of the national Faba bean breeding program to improve tolerance/resistance to *Orobanche foetida* and *Orobanche crenata*. Amman, Jordan.
- Nick S. (2006) Testing the efficacy of dazomet granular fumigant applied via a conventional air-seeder. PIRSA. Compendium of branched broomrape research Section 8. Control - fumigation a compilation of research reports from the branched broomrape eradication program, South Australia. May. 2014.
- Özge N., Mehmrt H.N., Büyük H. & Dag S. (1998) Investigations on the effect of imazapic on broomrape (*Orobanche spp.*) in sunflower and tobacco fields. In: Y. Nemliet H. Demirkan (edt), Türkiye II. Herboloji Kongresi, Izmir & Ayvalik, 1997. Ege üniversitesi Basimeci, Bornova-Izmir, p. 269. (Abstract)
- Parker C. & Riches C.R. (1993) *Parasitic Weeds of the World: Biology and Control*. Wallingford, CAB International. 315 p.
- Pérez-de-Luque A. & al. (2010). Broomrape management in faba bean. *Field Crops Research*, 115:319-328.
- Pieterse A.H. (1979) The broomrapes (*Orobanchaceae*)- a review. *Abstracts on tropical Agriculture*, 5(3): 9-35.
- Rubiales D. & Fernández-Aparicio M. (2012) Innovations in parasitic weeds management in legume crops. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 32 (2): 433-449.
- Saber H.A. & al. (1997) A new faba bean genotype resistant to Orobanche and foliar diseases combined with early maturity in Egypt. *Internat. Food Legume Research Conference III*, Adelaide, 158 p. (Abstract)
- Saffour K. (1999). La cuscute: Un parasite qui menace l'agriculture marocaine en silence. *Proceedings Journée Nationale sur les Plantes Parasites*, A.M.M, Meknès, pp. 47-53.
- Saffour K. (1997) La cuscute (*cuscuta spp.*) dans le Sais et le pré rif: importance et ennemis naturels. *Rapport d'achèvement projet- INRA/GTZ*, 27 p.
- Saffour K. (2003) Utilisation des herbicides et des sous-produits d'olive (grignon et margines) dans le contrôle de l'orobanche sur fève. *Doctorat National en Biologie*, Université sidi Mohamed ben Abdellah, faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fès, 179 p.
- Saffour K., Bouhache M. & Bouya D. (1999) Evolution de l'infestation des champs par l'orobanche et pertes de rendement de la fève au Maroc. 2ème Symposium Régional sur les Maladies des Céréales et des Légumineuses Alimentaires. PNUD, Tunis, pp. 123-133.

- Saghir A.R. (1986) Dormancy and germination of *Orobanche* seeds in relation to control methods. In: Biology and control of *Orobanche*, Ter Borg S.J. (ed), pp. 25-34, Proceedings of a workshop, Wageningen, The Netherlands.
- Saghir A.R. (1993). *Cuscuta* control in small farms. Near East Working Group for improved Weed Management Newsletter (14), Nicosia, Cyprus, 9 p.
- Sallé G. (2018) La cuscute, un vampire à prendre au sérieux, Jardins de France, no 650.
- Sanchez J., Jurado-Exposito M., Lopez-Granados F., Castejon-Munoz M. & Garcia-Torres L. (2003) Pronamide applied to sunflower seeds for *Orobanche cumana* control. Weed Techn., 17: 314-319.
- Sauerborn J. (1991a) Parasitic Flowering Plants. Ecology and Management. Josef Mrgraf Verlag. Weikershim, Germany, 127 p.
- Sauerborn J. (1991b) The economic importance of the phytoparasites *Orobanche* and *Striga*. Proceedings of the 5th Internat. Symp. On Parasitic Weeds, Nairobi, CIMMYT, pp. 137-143.
- Saxena M. & Meyer A. (1989) Broomrape control in faba bean (*Vicia faba* L.) with glyphosate and imazaquin. Weed Res., 29: 97-102.
- Sauerborn J. & Saxena M.C. (1986) A review on agronomy in relation to *Orobanche* problems in Faba bean (*Vicia faba* L.). Proc. of a workshop on biology and control of *Orobanche*. Wageningen, The Netherlands, pp. 160-165.
- Schmitt M., Schlüter K. & Boorsma P.A. (1978) Lutte chimique contre *Orobanche crenata* sur fève: Réalisation d'une technique efficace, pratique et économique. Bull. de Prot. des cult. Maroc, 5:3-9.
- Sirwan B., Hassan A., Mohammad R.J., Hamid R.M. & Mehdi M.M. (2010) Management of *Phelipanche aegyptiaca* Pomel. using trap crops in rotation with tomato (*Solanum lycopersicom* L.). Australian Journal of Crop Sciences, 4(6): 437-442.
- Stefanovic S., Krueger L. & Olmstead R.G. (2002) Monophyly of the *Convolvulaceae* and circumscription of their major lineages based on DNA sequences of multiple chloroplast loci. Amer. J. Bot., 89: 1510-1522.
- Strelnikov E., Antonova T., Gorlova L. & Trubina V. (2020) The environmentally safe method of control of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) parasitizing on sunflower. XI International Scientific and Practical Conference "Biological Plant Protection is the Basis of Agroecosystems Stabilization", 6 p.
- Tanji A. (2021) Désherbage des légumineuses alimentaires. Agriculture du Maghreb, 139 (Novembre): 42-44.
- Tanji A. & Boulet C. (1984) Inventaire phytoécologique des adventices de la betterave sucrière dans le Gharb (Maroc). Weed Research, 24: 391-399.
- Vertue J., Graham F. & Tom M. (2003) Seed bank reduction field trial – fumigants and chemical stimulants, in PIRSA. Compendium of branched broomrape research Section 8. Control-fumigation a compilation of research reports from the branched broomrape eradication program, South Australia. May 2014: 8-12
- Vertue J. (2002) Methyl bromide alternatives for branched broomrape control in PIRSA. Compendium of branched broomrape research Control - fumigation a compilation of research reports from the branched broomrape eradication program, South Australia: 4-7.
- Zemrag A. (1994) Impact de l'*Orobanche crenata* Forsk) sur la culture de la fève (*Vicia faba* L.). 5th EWRS Mediterranean symposium weed control in sustainable agriculture in the Mediterranean area, Perugia, pp. 201.
- Zemrag A. (1998) Critical threshold of *Orobanche crenata* Forsk.) in faba bean (*Vicia faba* L.) 4th International Workshop on *Orobanche* Research, Albena, Bulgarie.
- Zemrag A. (1999) Bull transfert de Technologie en Agriculture. MADRPM/DERD. N°63. Dec.1999.
- Zermane N. & al. (1999) Contribution à l'étude des phanérogames parasites de l'Algérie: Inventaire, répartition géographique, plantes hôte, dégâts et quelques méthodes de lutte. Thèse Magister, INA, 219 p.

Page laissée vierge

Gestions des adventices vivaces

Noureddine RSAISSI

1. Introduction

Avec un cortège floristique de plus 4200 espèces et sous espèces, le Maroc possède l'une des flores spontanées les plus riches et les plus diversifiées des pays du bassin méditerranéen. Environ 20% de cette flore, soit 838 espèces constituent la flore adventice du Maroc (Boulet & *al.*, 1989). En général, ces espèces adventices font parties de trois groupes: les adventices annuelles dont le cycle s'achève en moins d'une année et se terminent par la mort de tous les organes sauf les semences, les adventices bisannuelles qui bouclent leur cycle vital sur deux années successives et les adventices pérennes qui vivent entre trois et plusieurs années en passant par une succession d'états végétatifs et reproductifs qui assurent leur pérennité.

Ces adventices pérennes représentent deux sous-groupes: les pérennes simples (pluriannuelles) qui se multiplient principalement par semences, mais elles peuvent se reproduire végétativement lorsque ses racines ou ses tiges sont coupés et dispersées par les travaux du sol; les pérennes rampantes ou les adventices vivaces qui peuvent se reproduire végétativement ou par semences (Bouhache, 2021). Par leur potentiel grainier, leur pouvoir de régénération végétative, leur nuisibilité accrue; certaines adventices vivaces constituent l'une des principales préoccupations des agriculteurs marocains. Partout où elles dominent, elles occasionnent des pertes considérables aussi bien pour les cultures en réduisant la qualité et la quantité des productions que pour l'élevage en causant des intoxications du bétail. En plus des cultures, certaines vivaces (cas du jujubier et morelle jaune) colonisent les séguias, les parcours, les bordures des parcelles et des routes, les chemins de fer et les jardins publics.

Les adventices pérennes en général et les vivaces en particulier sont considérées par les agriculteurs comme des espèces redoutables et difficiles à contrôler. L'agressivité de cette catégorie d'adventices s'explique par sa diversité d'organes végétatifs et leur capacité de régénération en plus de sa reproduction par les graines pour certaines d'entre elles. La régénération végétative est une stratégie d'adaptation des vivaces aux différentes perturbations naturelles ou accidentelles (Bouhache, 2021).

2. Caractérisation de la flore adventice vivace

D'après la synthèse d'environ 2360 relevés floristiques réalisés par différents chercheurs dans les différentes régions du Maroc, 230 espèces adventices vivaces ont été recensées, soit 27,4% de l'effectif total des espèces adventices marocaines. Ces espèces appartiennent à 53 familles botaniques dont sept (*Fabaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Liliaceae*, *Lamiaceae*, *Solanaceae* et *Apiaceae*) contribuent à elles seules à 54,5% de l'effectif total, soit 125 espèces. D'un point de vue systématique, avec 74,4% les dicotylédones sont largement dominantes (Tahri & *al.*, 2005). D'après ce dernier, le classement des espèces de la flore adventice vivace marocaine selon les critères de nuisibilité et les répercussions économiques, constatées sur le terrain par plusieurs chercheurs, révèle l'existence de quatre principaux groupes:

Groupe 1: Il comprend 12 espèces qui constituent un danger réel localement ou dans l'ensemble des régions marocaines prospectées se traduisant souvent par des fortes baisses de rendements pour certaines cultures. Il s'agit des espèces géophytes très redoutées dans le monde agricole: *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, *Convolvulus arvensis*, *Sorghum halepense*, *Cardia draba*, *Arisarium simorrhinum*, *Gladiolus italicus*, *Paspalum paspalodes*, *Solanum elaeagnifolium*; de l'hémicryptophyte *Ziziphus lotus*; de l'hydrophyte *Typha latifolia* et de l'hémi-parasite *Viscum cruciatum*.

Groupe 2: Il contient 12 espèces fréquemment très présentes dans la plupart des régions prospectées et qui exercent essentiellement une nuisibilité de cumul souvent très forte en particulier vis-à-vis des cultures annuelles, avec une dominance de 8 espèces géophytes:

Panicum repens, *Narcissus papyraceus*, *Asphodelus ramosus*, *Bryonia cretica*, *Convolvulus althaeoides*, *Oxalis pes-caprae*, *Silene vulgaris* et *Potentilla reptans*; suivi de deux espèces chaméphytes: *Plantago major* et *Rumex pulcher* et deux espèces hémicryptophytes: *Dittrichia viscosa* et *Muscari comosum*.

Groupe 3: Il renferme au moins neuf espèces, moins fréquentes que celles des deux groupes précédents, mais leurs nuisibilités de cumul restent également assez fortes. On les rencontre cependant dans la plupart des régions. Ces espèces sont dominées par les hémicryptophytes (six espèces): *Anchusa azurea*, *Plantago lanceolata*, *Ferula communis*, *Mandragora autumnalis*, *Thapsia garganica*, *Trifolium repens*, suivi par les chaméphytes: *Rumex crispus*, *Lactuca serriola* et la géophyte *Drimys maritima*.

Groupe 4: Il regroupe des espèces qui ont une nuisibilité de cumul beaucoup plus faible que les précédentes avec des fréquences relatives souvent inférieures à 16%. Les espèces représentantes de ce groupe sont les géophytes (cinq espèces): *Allium nigrum*, *Amaranthus deflexus*, *Elaeocarpus asclepium*, *Paronychia argentea* et *Ranunculus ficaria*; les hémicryptophytes (cinq espèces): *Erygium tricuspidatum*, *Aster squamatus*, *Diplotaxis tenuifolia*, *Mantisalca salmantica* et *Rubia peregrina*; la chaméphyte *Rubus ulmifolius* et l'hydropyhte *Alisma plantago-aquatica*.

Généralement, sur le plan agronomique, avec l'évolution qu'a connue la flore adventice marocaine depuis l'année 2005 suite aux modifications des agroécosystèmes, actuellement 10 espèces sont considérées les plus nuisibles et causent à elles seules, localement ou sur l'ensemble du pays, de sérieux problèmes qui nécessitent des actions urgentes pour limiter leurs dégâts dans les milieux infestés (Tableau 1). A titre d'exemples, beaucoup d'agriculteurs dans différentes régions du Maroc ont des difficultés à se débarrasser des infestations de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*), du chiendent (*Cynodon dactylon*), du souchet à tubercules (*Cyperus rotundus*), du liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) et du jujubier (*Ziziphus lotus*).

Tableau 1: Principales adventices vivaces préoccupantes au Maroc (Bouhache, 2021).

Espèces	Classe botanique	Milieus touchés
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Dicotylédone	Cultures, vergers
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Monocotylédone	Cultures, Vergers
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Monocotylédone	Cultures, Vergers
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Dicotylédone	Cultures, vergers
<i>Scirpus maritimus</i> L.	Monocotylédone	Riz
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Dicotylédone	Cultures, vergers
<i>Typha latifolia</i> L.	Monocotylédone	Drains
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	Dicotylédone	Cultures
<i>Panicum repens</i> L.	Monocotylédone	Canne à sucre, vergers, seguias et drains
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx) Scribn	Monocotylédone	Cultures, seguias et drains

3. Nuisibilité des adventices vivaces

3.1. Nuisibilité directe

Par le phénomène de concurrence, ces adventices occupent une partie importante du sol au détriment des cultures, utilisent une grande proportion d'eau et des éléments nutritifs disponibles aux cultures et interceptent le maximum de lumière. En plus, certaines espèces ont un effet allélopathique réduisant

ainsi, la germination des semences et/ou la croissance des cultures, et par conséquent, la baisse de la quantité et de la qualité des produits récoltés. Une étude de l'impact du jujubier (*Ziziphus lotus*) sur les cultures de la Chaouia réalisée par Rsaissi & al. (2012a) a permis de montrer que les touffes de cette adventice arrivent à couvrir en moyenne 19% de la surface agricole de cette région. Les pertes directes en production annuelle dues à cet arbuste, qui se comporte comme adventice vis-à-vis des cultures (céréales, légumineuses alimentaires, cultures maraîchères), ont été évaluées à 19,11 Millions de Dhs (l'équivalent de la valeur de 1,4% de la production totale de la région). Ces pertes observées sont en fait l'équivalent de la production des surfaces occupées par les touffes du jujubier.

Les résultats des travaux sur la lutte contre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) dans les céréales ont montré que le gain de rendement dans les parcelles du blé traitées en Australie peut atteindre jusqu'à 70% (Lemerle et Leys, 1991). Au Tadla, sur maïs, les pertes de rendement grain dans les parcelles non désherbées peuvent atteindre 47% (Mahfoud, 1988). Dans cette même région, un essai de l'effet de compétition entre la morelle jaune et le maïs a montré que tous les paramètres de croissance de cette culture sont affectés et les pertes de rendement peuvent atteindre 64% et la période critique de compétition est située entre le stade floraison et le stade grain laiteux avancé (Baye et Bouhache, 2002). Le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) a tendance à être envahissante. Les exsudats racinaires de cette vivace ont été démontré réduire la germination des semences de certaines cultures (Swan, 1980). Ainsi, dans le cas de fortes infestations, les rendements des cultures sont réduits de 50 à 60% (Callihan & al., 1990).

L'oxalide (*Oxalis pes-caprae*) possédant un système racinaire rhizomateux plus développé avec de nombreuses bulbilles peut exploiter les couches arables des champs de céréales d'une façon préoccupante. Elle est aussi, capable de se développer en population très dense avec un feuillage étouffant et interceptant le maximum de lumière (Rsaissi et Bouhache, 2005a). Aussi, son effet allélopathique a été montré dans une étude en condition de laboratoire par Bouhache et Ghammarte (2002) sur céréales (blé tendre, blé dur et orge): l'ajout des extraits de l'adventice à différentes concentrations à l'eau d'irrigation a réduit la germination des semences et la croissance des céréales jusqu'à 63,3 et 83%, respectivement. Ghammarte (1999) a trouvé que les résidus de l'oxalide (*Oxalis pes-caprae*) sont allélopathiques vis-à-vis du blé tendre, blé dur et orge (Tableau 2). C'est pour cela que les pertes de rendement des céréales d'hiver dues à l'infestation par cette vivace sont très élevées. Dans la région de la Chaouia ces pertes pourraient atteindre 42% sur blé (Rsaissi 1994); ce qui dépassent de loin celles (39,6%) occasionnées par l'ensemble des adventices sur cette culture en milieu aride et semi-aride (Zmdahl et Brahli, 1992).

Tableau 2: Effet des résidus de la partie aérienne d'*Oxalis pes-caprae*, ajoutés au sol, sur la germination et la la croissance de trois variétés des céréales (Ghammarte, 1999).

Céréale (Variété)	Résidus secs (g/kg du sol)	Germination (%)*	Longueur moyenne des plantules (cm)**		Poids sec total des plantules (g)**	
			Coléoptile	Racine	Coléoptile	Racine
Orge (Tiddas)	0	95	33	16	0,40	0,05
	36	55	27	5	0,29	0,02
Blé tendre (Marchouch)	0	95	34	23	0,43	0,07
	36	35	22	3	0,19	0,01
Blé dur (Karim)	0	95	28	11	0,31	0,04
	36	35	19	7	0,12	0,02

* une semaine après semis, ** un mois après semis.

Parmi les espèces ayant un effet allélopathique approuvé sur différentes cultures (Qasem et Foy 2001), on trouve les vivaces les plus fréquentes et les plus redoutables des milieux cultivés au Maroc: *Convolvulus arvensis* (allélopathique vis à vis du Blé), *Cynodon dactylon* (orge, agrumes, pêcher), *Cyperus rotundus* (orge, riz, soja), *Rumex crispus* (blé, maïs), *Sorghum halepense* (plusieurs cultures)

et *Solanum elaeagnifolium* (coton, concombre) (Bouhache, 2021). Sous l'effet de la compétition et de l'allélopathie, le rendement de l'arachide a été réduit de 25% par une infestation de 68 plantes de *Cyperus rotundus* /m² (Johnson, 2001).

3.2. Nuisibilité indirecte

Les adventices vivaces constituent fréquemment des refuges de certains ennemis des cultures et peuvent accentuer le problème de maladies et/ou favoriser les pullulations de certains ravageurs en leur servant d'hôtes intermédiaires et foyers réservoirs. L'étude réalisée dans la région de la Chaouia a montré que les touffes du jujubier hébergent et abritent plusieurs ennemis naturels (Planche 1) qui peuvent être dommageables pour les cultures de cette région à savoir (Rsaissi, 2013):

Les adventices: trente neuf espèces d'adventices sont protégées par les touffes du jujubier dans les différentes parcelles des céréales, ce qui représente 6,34% de la flore associée aux céréales dans la région estimée à 315 taxons environ (Taleb et Maillet., 1994). En effet, les touffes du jujubier protègent ces adventices contre les traitements herbicides appliqués par les agriculteurs sur les cultures et contre le pâturage après récoltes de ces cultures, ce qui constitue une source de réinfestation des champs.

Les insectes ravageurs: *Clytra* sp (clytre): coléoptère ravageur sur les feuillus, ses dégâts peuvent être infligés à la végétation en cas de forte pullulation; *Stenopterus rufus*, coléoptère polyphage, sa larve vit dans le bois de nombreux feuillus (Sama, 1988; Sparacio, 1999); *Variimorda vilosa* (mordelle fasciée): coléoptère saproxylique du pin sur arbres très affaiblies (Antoine, 2008); *Phyllocnitis citrella* (mineuse des agrumes): ravageur des agrumes qui attaque aussi les légumineuses et la mouche des fruits (Anonyme, 1995b); *Ceratitis capitata* (mouche des fruits) qui attaque plus de 353 espèces cultivées (Liquidó & al., 1991). Ce diptère causait d'importants dégâts sur les fruits de nombreux arbres fruitiers (pêches, abricots et poires surtout). Lorsque tous les fruits des arbres fruitiers sont récoltés, les fruits du jujubier servent comme hôtes refuges. Ce ravageur est considéré comme étant un grand défi pour les chercheurs et les agriculteurs. C'est un ravageur de quarantaine dans plusieurs pays parmi lesquels figurent des clients importants pour écouler la production agricole marocaine comme les Etats-Unis, l'Europe et le Japon (Smite & al., 1992; Livingston, 2007); *Ephestia elutella* (Hübner) (Pyrale du cacao): les chenilles de ce déprédateur se nourrissent de matières végétales sèches telles que les céréales, amandes de cacao, produits chocolatés, tabac, produits d'herboristerie et fruits secs (Anonyme, 1977); *Plodia interpunctella* (Hübner) (pyrale des fruits secs): on la trouve dans les entrepôts, silos, moulins, fabriques de denrées alimentaires et foyers domestiques où elle attaque un grand nombre de matières végétales sèches telles que les fruits secs, arachides, amandes, différentes semences, et produits d'herboristerie (Anonyme, 1977; Bonnemaïson, 1962; Laraichi, 1985).

Les rongeurs: leurs terriers minent véritablement le sol sous les touffes du jujubier. Ils sont représentés par deux espèces à savoir: *Meriones Shawi*: considéré comme le plus redoutable au Maroc et ce en raison des dégâts sévères, qu'il cause particulièrement aux cultures telles que les céréales; les légumineuses; les cultures maraîchères et arbres fruitiers (Anonyme, 1995a), en plus de son importance en santé publique « transmission de maladie de leishmanioses » (Ameur, 2000); *Lemniscomys barbarus*: s'attaque aux cultures maraîchères.

Les mollusques: durant la période défavorable (plein automne et plein été), on les trouve regroupés en très grands nombres sur les touffes du jujubier. On distingue deux espèces à savoir: *Theba pesana* et *Helix aspera*. Ces deux espèces d'escargots sont très nuisibles aux cultures dans la région en particulier l'artichaut, la luzerne, la betterave rouge et la vigne. Les résultats d'une étude sur la gestion phytosanitaire de ces mollusques, sur des vergers d'agrumes dans la région du Gharb, ont mis en évidence la nécessité de la lutte contre les adventices principaux réservoirs de ces ennemis dans les vergers (Anonyme, 2007).

Les moineaux: *Passer hispaniolensis* (moineaux espagnols): qui trouvent dans les touffes du jujubier à proximité des cultures céréalières toutes les conditions pour s'installer.

Les bactéries: *Agrobacterium tumefaciens*: responsable des tumeurs sur un grand nombre de plantes. Toutes les espèces fruitières sont sensibles excepté le fraisier (Viennot, 1968).

Les cuscutes: ce sont des phanérogames parasites appartenant à la famille des *Convolvulaceae* (Jahandiez et Maire, 1931-34). Deux espèces ont été identifiées sur jujubier à savoir: *Cuscuta epithymum*: parasite de diverses plantes annuelles ou vivaces, herbacées ou ligneuses (Sauvage et Vindt, 1954); *Cuscuta australis*: parasite signalé dans la région sur la luzerne. Cette espèce a été introduite au Maroc avec des cultures infestées (Sauvage et Vindt, 1954).

En plus, lors des traitements, ses ennemis restent protégés par les touffes du jujubier ce qui diminue de manière sensible l'efficacité du traitement et peuvent réinfester immédiatement les cultures. La nuisibilité indirecte des adventices vivaces se traduit, aussi par la toxicité de certaines espèces vis-à-vis de l'homme et certains bétails. A titre d'exemple, *Solanum elaeagnifolium* a été signalée responsable d'une maladie dénommée « Byssinosis » affectant l'appareil respiratoire des ouvriers qui travaillent dans les usines d'égrenage du coton aux USA. Et ce, suite à l'inhalation chronique lors de l'égrenage de la poussière issue de différents organes de cette adventice présents dans le coton récolté mécaniquement des champs infestés (Morey, 1978). Cette plante a été signalée, aussi toxique pour le bétail dans le même pays (Northan et Orr, 1982), en Australie et en Argentine (Anonyme, 1980). Chez les bovins, suite à la consommation des plantes vertes et fruits, cette intoxication se manifeste sous forme de symptômes caractéristiques (écoulement nasal, salivation, incoordination des mouvements causant dans la plupart des cas la mort de l'animal (Buck & al., 1960; Dollahite et Allen, 1960). La nuisibilité indirecte de certaines adventices vivaces se traduit aussi, par le gène de l'exécution des travaux agricoles: le liseron (*Convolvulus arvensis*) avec son port de croissance volubile peut entraîner souvent la verse de la culture et interfère avec les opérations de récolte (Weaver et Riley, 1982). Dans les champs infestés, le jujubier gêne les travaux du sol, les opérations de désherbage et la récolte (Rsaissi, 2013).

4. Eléments biologiques clés des adventices vivaces

4.1. Mode de reproduction

Les adventices vivaces poussent en solitaire ou en colonies généralement agrégatives. Elles peuvent se reproduire par graines et/ou végétativement. La reproduction végétative assure principalement leur pérennité tandis que la reproduction sexuée assure leur dissémination. En effet, au fur et à mesure que les individus fils s'établissent, ils se détachent, se trouvent éloignés ou s'éloignent activement de la plante mère, repoussent chaque année et sont généralement difficiles à détruire (Montégut, 1983). En effet, la majorité des adventices vivaces utilisent les deux modes ou voies de reproduction. La reproduction végétative leur permet de produire des individus qui se développent rapidement pour maintenir la population localement (dissémination locale). Alors que la reproduction sexuée leur permet de produire des semences très diversifiées capables de coloniser d'autres environnements ou sites différents et parfois loin du lieu de leur production (dissémination sur longue distance) (Bouhache, 2021).

La reproduction végétative est plus rapide et à moindre coût énergétique. Comparativement à la reproduction sexuée, elle n'a pas besoin de passer par de longues durées pour mettre en place les fleurs, la pollinisation, les graines et enfin la germination. La capacité des adventices vivaces de se reproduire végétativement rend ces espèces plus compétitives et difficiles à contrôler ou à gérer. Par exemple, la morelle jaune qui possède les deux voies de reproduction, l'infestation des cultures annuelles et des vergers, dans trois territoires différents au périmètre du Tadla, est faite par les rejets qui est presque trois fois (71%) plus importante que celle des plantules issues de graines (Baye, 2004).



Nids des moineaux espagnols
sur touffe du jujubier



Terrier de la Mérieone de Shaw
protégé par le jujubier



Dégâts et larves de la mouche des
fruits



Cuscute sur jujubier



Mineuse sur feuilles du jujubier



Clytra sp. sur jujubier



Variimorda vilosa



Stenopterus rufus



Escargots sur jujubier



Tumeurs au niveau
du collet du jujubier



Pyrale des fruits secs (*Plodia interpunctella*)
Larve à gauche et adulte à droite

Pyrale du cacao (*Ephesia elutellana*)
Larve à gauche et adulte à droite

Planche 1: Ennemis et pathogènes abrités par le jujubier dans la Chaouia (Rsaissi, 2013).

Pour les adventices qui se multiplient uniquement par voie végétative au Maroc telles que le chiendent, l'oxalide et le souchet à tubercule; la totalité des infestations sont fournies par la régénération végétative (Bouhache, 2021). La multiplication végétative chez les vivaces est une forme de reproduction dans laquelle une partie de l'appareil végétatif, feuille, tige ou racine est susceptible de redonner naissance à une plante fille entière. La plante obtenue est un clone qui est génétiquement identique à la plante mère (Bouhache, 2021). Elle peut se faire de trois façons à partir:

d'organes non spécialisés. Dans ce cas, une simple fragmentation d'un organe végétal peut aboutir à de nouvelles plantes. La fragmentation peut être naturelle ou artificielle: *Ziziphus lotus* se régénère à partir des fragments de racines, des souches et des boutures de tiges (Tableau 3). De même, *Solanum elaeagnifolium* se régénère à partir de la tige, du collet et de fragments de racines souterraines verticales et latérales (Tahri & al., 1988). Cependant, le système racinaire donne une régénération végétative élevée et plus de 45% des racines sont situées dans les 30 premiers cm. Des fragments de racines de *S. elaeagnifolium* aussi petits que 0,5 cm de long et aussi profonds que 20 cm de profondeur peuvent se régénérer. Enfouis dans le sol, les fragments de racines de *S. elaeagnifolium* peuvent conserver leur viabilité jusqu'à 15 mois. De plus, les plantules âgées de 5 à 10 jours atteignent le statut pérenne et peuvent se régénérer (Bouhache, 2010).

Tableau 3: Taux de régénération (%) du jujubier par différents organes végétatifs (Rsaissi & al., 2013a).

Type d'organe*	Taux de régénération	Type d'organe	Taux de régénération
Racines horizontales	90	Morceaux de souches	29
Racines verticales	54	Plantules séparées de la plante mère	50
Souches entières	71	Boutures (tiges)	17

*: Essai conduit en pots sur organes prélevés d'une grande touffe de la région de Settat.

de plantules ou bulbilles comme chez *Poa bulbosa* subsp. *Vivipare* (Planche 2). Dans ce cas, la germination des graines se produit alors qu'elles sont encore dans le fruit accroché à la plante-mère (viviparité). Les plantules produites se détachent de la plante mère, tombent sur le sol et s'enracinent pour donner de nouvelles plantes.

des organes spécialisés (propagules végétatives). Ce mode de reproduction végétative reste le plus important et le plus fréquent chez les adventices vivaces. Ces plantes ont de nombreux organes comme les tubercules, les bulbes, les cormes, les rhizomes et les stolons qui assurent la reproduction asexuée à côté de la possibilité de multiplication sexuée (par graines). Ces propagules végétatives ne sont en réalité que des tiges, feuilles ou racines modifiées et qui ont aussi le rôle d'accumuler les réserves nutritives (Bouhache, 2021). La multiplication s'effectue grâce à des bourgeons situés sur ces organes végétatifs. Il existe différents types de propagules végétatives, en fonction des espèces: certaines sont aériens comme les drageons ou les stolons et d'autres sont souterrains comme les rhizomes (Planche 2).

Les espèces qui se multiplient par ces différents types de propagules sont les géophytes, elles représentent 34,4% des espèces vivaces recensées au Maroc avec 79 espèces. Ces géophytes sont connues par leur pouvoir accru de régénération, leur adaptation remarquable aux différentes situations et leur comportement souvent colonisateur des terres agricoles qui ne cesse d'étonner les agriculteurs. Ainsi, une fois elles accèdent à un nouveau territoire agricole, elles peuvent l'envahir rapidement. Ces géophytes sont classées en fonction de leurs propagules végétatives qui jouent un rôle très important dans leur conservation et leur pérennité (Tableau 4). La colonisation des terres cultivées est souvent amplifiée par leur comportement envahissant ce qui leur donne le maximum de chance de s'introduire et de s'acclimater en tant qu'adventices vivaces.

Tableau 4: Classification des géophytes recensées au Maroc selon leurs propagules végétatives de conservation (Tahri & *al.*, 2005).

Types éthologique	Nbre d'espèces	Contribution
Géophytes à rhizomes	37	46,8%
Géophytes à bulbes	21	26,6%
Géophytes à racines tubérisées	8	10,1%
Géophytes à tubercules	7	8,9%
Géophytes à drageons	4	5,1%
Géophytes à stolons	2	2,5%
Total	79	100%



Plante *Poa bulbosa* subsp. *Vivipara* : base de sa tige est renflée en bulbe (à gauche); ses graines germent souvent dans l'inflorescence (à droite).



Rhizome de *Sorghum halepense* (Wikimedia Commons, 2021)



Stolon chez *Cynodon dactylon*



Drageons chez *Solanum elaeagnifolium* (Pattison et al., 2019)



Tubercules chez *Cyperus rotundus* (CIRAD, 2020)



Bulbes sur racine de l'*Oxalis pes-caprae* (Wikimedia Commons, 2021)



Corme chez *Ranunculus bulbosus* (Weed Herbarium, 2021)



Racine tubérisée chez *Rumex obtusifolius* (Arvalis, 2012)

Planche 2: Exemples de différents organes de multiplication végétative chez les plantes vivaces.

4.2. Dominance apicale

C'est un phénomène typique et connu chez les pérennes et qui consiste à l'inhibition d'un bourgeon par un autre. Dans ce cas les bourgeons axillaires sont inhibés par celui ou ceux de l'apex de la plante. Ce phénomène est aussi observé même au sein d'un organe végétatif qui porte plus d'un bourgeon végétatif comme un tubercule. La dominance apicale (ou inhibition corrélative) est considérée comme un mécanisme préventif développé par les vivaces pour échapper à toute perturbation qui conduit à leur destruction partielle ou totale. En outre, le maintien de beaucoup de bourgeons dans un état dormant permet à la plante de faire des économies des réserves stockées en contrôlant leur flux et les utiliser pour la reprise et/ou la continuation de son cycle biologique. La dominance apicale peut être partielle ou totale. Généralement, elle est perdue avec l'âge de la plante. De même, plus un bourgeon axillaire est distant du bourgeon terminal moins il est dominé (Bouhache, 2021). Dans un essai comparatif de tubercules du *Cyperus rotundus* avec et sans apex, il a été démontré que la présence de l'apex inhibe la régénération des bourgeons latéraux avec une repousse/tubercule issue uniquement du bourgeon apical. En absence de l'apex, un bourgeon latéral donne trois repousses/tubercule (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009).

4.3. Type d'organes végétatifs

La régénération et la levée des bourgeons végétatifs dépendent du type d'organes qui les porte. Bien que plusieurs organes aient la capacité de régénérer végétativement, les adventices vivaces privilégient un organe qui donne le maximum de repousses selon les conditions du milieu et l'intensité de la perturbation (Bouhache, 2021). Tahri (1987) dans son étude sur la capacité régénérative de la morelle jaune a montré expérimentalement que cette adventice est capable d'émettre des repousses végétatives à partir du collet dans les milieux non cultivés (bordures et terrains incultes) et des fragments du système racinaire et des tiges dans les parcelles cultivées. Ce chercheur a également montré que la morelle jaune a pu se régénérer à partir d'un seul bourgeon prélevé avec un morceau de l'écorce. Baye (2004) a rapporté que les fragments issus du système racinaire vertical de cette adventice régénèrent mieux et rapidement que ceux originaires du système racinaire horizontal. De même, le jujubier peut se régénérer à partir des racines horizontales, des racines verticales, des souches entières, des morceaux de souches et des boutures de tiges. Cependant, le maximum de régénération (90%) est obtenu avec les fragments des racines horizontales contre 17% pour les boutures de tiges (Tableau 3) (Rsaissi & al., 2013a).

4.4. Taille d'organes végétatifs

La taille des organes porteurs des bourgeons végétatifs détermine le nombre de régénérations et le taux de leur levée ou émergence. Cette dernière est liée étroitement à la quantité des réserves nutritives stockées par ces organes. Un essai où trois tailles des fragments de racines horizontales, des racines verticales et des souches du jujubier ont été plantées à différentes profondeurs du sol a permis de supporter ce constat (Rsaissi & al., 2013a). En général, plus la taille de l'organe végétatif est grande plus le nombre de rejets est important. De même, les organes de grande taille arrivent à lever à des horizons profonds. Aucune levée au-delà d'une profondeur de 20 cm n'a été observée pour les trois tailles des organes étudiés (Tableau 5). Aussi, Il a été montré expérimentalement que le nombre de repousses à partir des fragments du système racinaire horizontal de la morelle jaune est proportionnel à leurs longueurs avec 6, 10, 17, 24 et 30 rejets/5 fragments, respectivement pour les fragments de 0,5; 1; 2; 4; 8 et 16 cm de longueur (Tahri, 1987).

Dans une autre étude il a été mis en évidence que généralement la taille des tubercules du *Cyperus rotundus* plantés à deux profondeurs n'a pas beaucoup d'effet sur leur régénération, mais elle affecte essentiellement le taux de leur émergence (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009). Les tubercules ayant la plus petite taille ont des difficultés à émerger même à 2 cm de profondeur. Tandis que les gros tubercules arrivent à émerger à la surface du sol à partir de 40 cm de profondeur (Tableau 6). Cependant, un effet inverse a été noté chez certaines espèces, c'est le cas chez *Sorghum halepense* et d'*Agropyron repens* dont la régénération des rhizomes est inversement proportionnelle à la longueur

de ces rhizomes c'est-à-dire le petit fragment de rhizome donne plus de rejets que le grand fragment. Ceci pourrait être expliqué par le fait que l'effet de la dominance apicale diminue avec la réduction de la taille des rhizomes (Aldrich, 1984).

Tableau 5: Effet de la taille d'organe végétatif du jujubier et de la profondeur d'enfouissement sur le taux de régénération (%) (Rsaissi & al., 2013a).

Organe	Taille (cm)	Profondeur de plantation (cm)			
		1,5	5	10	20
Racines horizontales	4	50	20	0	0
	8	60	60	40	0
	16	20	80	50	0
Racines verticales	4	20	20	0	0
	8	40	60	0	0
	16	40	40	20	0
Souches	Souche/3	0	10	0	0
	Souche/2	15	20	0	0
	Entière	35	50	20	0

Tableau 6: Effet de la taille des tubercules du *Cyperus rotundus* sur leur régénération et levée (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009).

Poids du tubercule (g)	Profondeur de plantation			
	2 cm		40 cm	
	Régénération	Levée	Régénération	Levée
0,02	5,3	48,3	-	-
0,05	-	-	91,3	50,2
0,50	90,5	85,5	96,4	60,8
1,00	96,4	92,7	95,2	92,4
1,50	99,5	98,9	98,6	95,2

Chez l'oxalide (*Oxalis pes-caprae*), la taille des bulbilles joue un rôle important dans la croissance et le développement des plantules de cette vivace. En effet, les bulbilles assurent la nutrition des jeunes plantules dès la germination grâce aux réserves qu'elles contiennent. Les plantules issues des bulbilles de grande taille sont les plus développées et produisent plus de feuillages que celles issues des bulbilles de taille moyenne ou petite (Lane, 1984). Dans un essai expérimental, l'émergence des plantules de cette vivace issue des bulbilles plantées à une profondeur de 20 cm a été retardée de 10 et 15 jours respectivement pour les bulbilles de grande et de petite taille, comparée à celles plantées à 5 cm. Aussi, la plantation profonde des bulbilles a réduit l'émergence de 43,5 et 53,5%, respectivement, des plantules issues des bulbilles de grande et de petite taille. Les bulbilles placées sur la surface du sol ont germé mais n'ont pas pu s'établir (Lane, 1984).

4.5. Longévité des propagules végétatives

La durée de vie des propagules végétatives ainsi que les facteurs actifs sur leur persistance dans le sol est un aspect extrêmement important pour une gestion réussie des adventices vivaces. Les études conduites sur cet aspect touchaient beaucoup les tubercules, les rhizomes et dans une certaine mesure les bulbes. En général, ces propagules pourraient rester viables dans un sol non perturbé pendant 2 à 5 ans. Les propagules végétatives sont maintenues viables grâce à la dominance apicale et la dormance de leurs bourgeons. Cependant, cette longévité varie d'une espèce à l'autre et pour une même espèce d'un milieu à l'autre (Bouhache, 2021). Explicitement, Ross et Lembi (1985) ont rapporté que les bulbes d'*Allium vineale* peuvent demeurer viables dans le sol pendant 5 ans et les rhizomes du *Sorghum halepense* ont une longévité de 1- 2 ans et ceux d'*Agropyron repens* plusieurs années. Quant

aux tubercules de *Cyperus esculentus*, ils peuvent rester viables dans un sol pendant 3 à 5 ans (Mulligan et Junkins, 1976).

En effet, la longévité des propagules végétatives des adventices est relativement faible par rapport à celle des semences et dépend de plusieurs facteurs. Ces facteurs peuvent agir individuellement ou avoir un effet combiné. Plusieurs études ont montré une relation directe entre cette longévité et la profondeur d'enfouissement dans le sol et la fréquence de perturbation de ce dernier. Plus la profondeur d'enfouissement est grande plus la longévité des propagules est grande (Bouhache, 2021). Enfouis dans le sol, les fragments de racines de *S. elaeagnifolium* peuvent conserver leur viabilité jusqu'à 15 mois (Bouhache, 2010). Par contre, plus le sol est travaillé, plus cette longévité est réduite (Aldrich, 1984). Par exemple, uniquement 5 à 20% des rhizomes du *Sorghum halepense* enfouis à une profondeur du sol de 6 cm qui sont viables contre 86% pour les rhizomes enfouis à 25 cm (Hartzler & al., 1991). Les propagules végétatives sont très sensibles à la dessiccation et le froid extrême. Les tubercules de *Cyperus rotundus* perdent leur viabilité une fois leur humidité est réduite à 15% (Riemens & al., 2008). Quant aux rhizomes de *S. halepense*, ils sont complètement détruits lorsqu'ils perdent 40% de leur humidité initiale (85%) (Aldrich, 1984). En outre, la longévité des tubercules de *C. esculentus* et de *C. rotundus* est réduite de 50% lorsqu'ils sont exposés (pendant quatre heures) aux températures de -6,5 ° et -2 C°, respectivement (Riemens & al., 2008). De même, les rhizomes du *S. halepense* ne résistent pas aux températures de -3 à -5C° pendant plusieurs heures (McWhorter, 1972). La taille des propagules végétatives, qui implique les réserves qui y sont stockés, est un autre facteur non négligeable qui a un effet sur leur longévité. Une relation étroite entre le poids des tubercules de *C. esculentus* et leur viabilité a été indiquée par Thullen et Keeley (1975). Ces derniers ont démontré que la durée de vie des tubercules augmente avec l'augmentation de leurs poids.

4.6. Réserves nutritives

Les adventices vivaces sont caractérisées par le stockage des réserves nutritives sous forme d'hydrates de carbone dans les organes porteurs de bourgeons végétatifs, ce qui leur permet de survivre plusieurs années. La capacité régénérative d'une plante dépend étroitement du niveau de ces réserves. Plus les réserves sont importantes plus la régénération est importante (Bouhache, 2021). La quantité de ces réserves stockées dépend de l'organe et de l'espèce et varie d'une saison à l'autre (Figures 1 et 2).

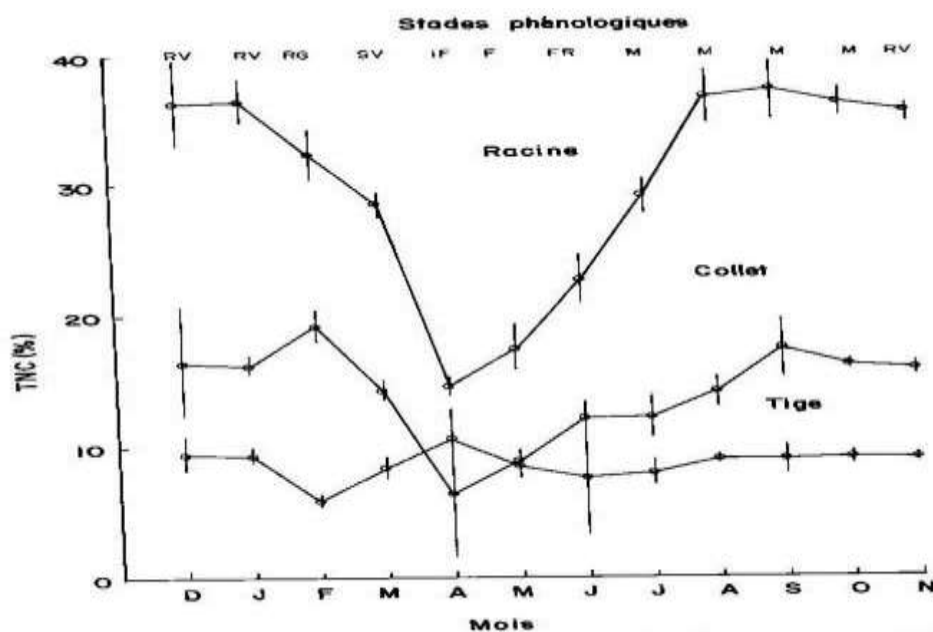


Figure 1: Evolution des hydrates de carbones non structuraux de *Solanum elaeagnifolium* dans un champ de cotonnier (Bouhache & al., 1993).

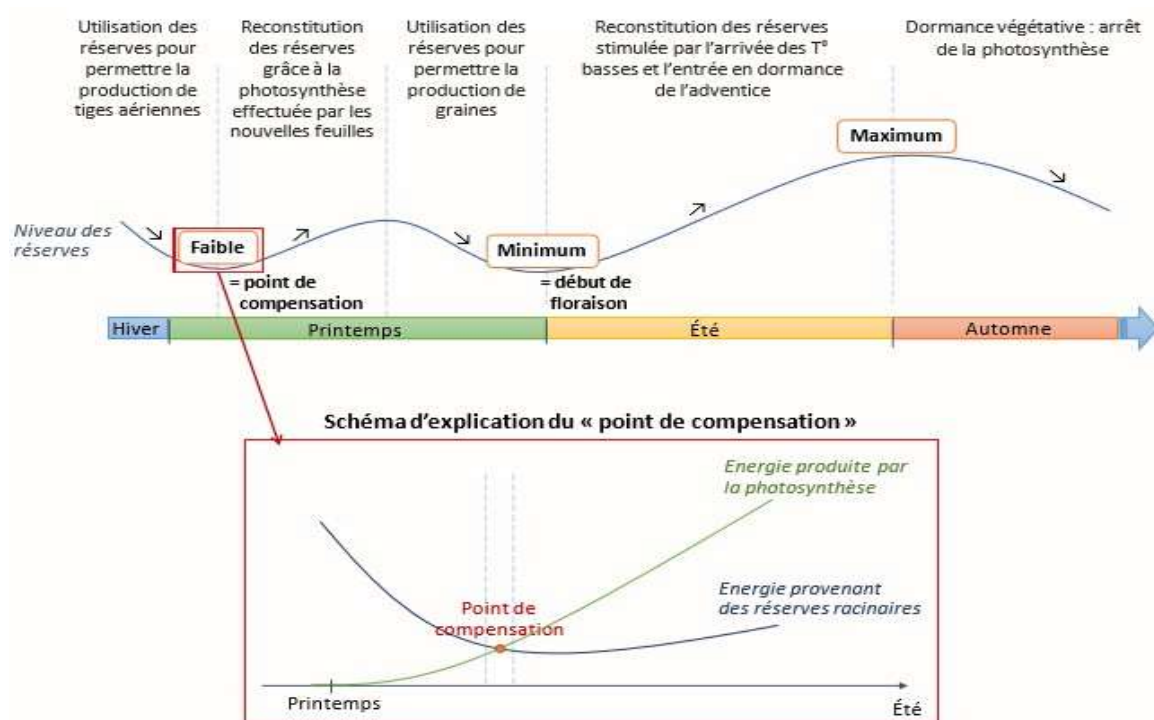


Figure 2: Tendence d'évolution des réserves racinaires des adventices vivaces au cours de l'année (Nkurunziza, 2010).

L'évolution saisonnière du stock de ces réserves passe par un niveau maximal et un niveau minimal. Ainsi, on parle du point de compensation qui correspond à un stade pendant lequel l'énergie produite par la photosynthèse compense la quantité de réserves racinaires utilisée pour la respiration et la croissance des tiges (Nkurunziza, 2010). En effet, à partir du point de compensation, les adventices se développent grâce à l'énergie de la photosynthèse et deviennent plus concurrentielles. Les adventices commencent également à former de nouveaux organes végétatifs, ce qui augmente leur capacité à se régénérer. Ce point varie d'une espèce à l'autre et revêt un grand intérêt dans la maîtrise de la régénération d'une vivace. A ce point, la plante est affaiblie et produit moins de rejets. Les réserves glucidiques maximales des organes végétatifs des vivaces, étudiées au Maroc, varient de 33 à 69% de leurs biomasses sèches (Tableau 7). Ces niveaux de réserves sont généralement observés durant la période de repos végétatif qui précède celle de la régénération. Contrairement aux réserves des graines qui sont utilisées uniquement pour la croissance de l'embryon, les réserves accumulées dans les organes porteurs de bourgeons végétatifs sont utilisées pour la régénération de ces bourgeons, la maintenance des organes eux-mêmes et parfois pour le support de la plante-mère (Bouhache, 2021).

4.7. Types de dissémination chez les adventices vivaces

La connaissance des types de dissémination des plantes en général et des adventices vivaces en particulier est très importante car elle permet de comprendre le processus de leur évolution et d'expliquer leur aire de distribution actuelle et enfin de prédire les changements futurs. Ainsi, la dissémination est considérée comme un facteur biologique qui affecte la lutte contre les adventices et qui devrait être pris en considération dans un programme ou une stratégie de leur gestion (Bouhache, 2021). Les moyens de dissémination des espèces vivaces les plus fréquentes et les plus nuisibles, sont certainement prépondérantes pour la colonisation des champs cultivés. En général, on distingue cinq principaux moyens de dissémination permettant aux espèces vivaces de la flore marocaine d'utiliser une ou plusieurs voies de dissémination (Tableau 8). Les unes à multiplication végétative exclusive sont anthropochores et leur dissémination est liée aux différentes activités agricoles assurées par l'homme et ses outils de travail, c'est le cas de *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, *Arisarum simorrhinum* et *Oxalis pes-caprae*. Les autres à multiplication végétative et à reproduction sexuée sont

anthropochores, zoochores, hydrochores, anémachores et barochores (Tahri & *al.*, 2005). Les modes de dissémination à longue distance les plus courants chez les adventices vivaces sont les semences, les effluents d'élevage et l'introduction à partir des bordures des champs (Anonyme, 2014).

Tableau 7: Réserves glucidiques et points de compensation des organes végétatifs de quelques adventices vivaces du Maroc.

Espèces	Organe	% des réserves glucidiques accumulées	Point de compensation (Niveau des réserves faible)	Références
<i>Cynodon dactylon</i>	Rhizome	47	Début floraison (avril-Juin)	Bouhache & <i>al.</i> (2005)
<i>Cyperus rotundus</i>	Tubercule	69	Début stade végétatif (Mai)	Berrichi & <i>al.</i> (2007)
<i>Panicum repens</i>	Rhizome	58	Début floraison (Juin)	Bouhache & <i>al.</i> (2005)
<i>Paspalum paspalodes</i>	Rhizome	55	Floraison (Juillet)	Bouhache & <i>al.</i> (2005)
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Racine	33	Initiation florale (Avril)	Bouhache & <i>al.</i> (1993)
<i>Ziziphus lotus</i>	Racine	69	Stade végétatif complet (Avril)	Rsaissi & <i>al.</i> (2012b)

Tableau 8: Types de dissémination et organes de propagation des espèces vivaces les plus fréquentes et les plus nuisibles au Maroc (Tahri & *al.*, 2005).

Espèces	Anthropochorie	Zoochorie	Hydrochorie	Anémachorie Barochorie
<i>Amaranthus deflexus</i> L.		Graine		Graine
<i>Arisarum simorrhium</i> Durieu	Tubercule			
<i>Bryonia cretica</i> L.	Tubercule		Graine	Graine
<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv.	Rhizome	Graine		
<i>Convolvulus althaeoides</i> L.	Rhizome	Graine		Graine
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Rhizome - Graine	Graine		Graine
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Rhizome			
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tubercule			
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) W. Greuter	Tubercule		Graine	Graine
<i>Gladiolus italicus</i> Mill.	Tubercule			Graine
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Bulbe			
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx.) Scribn.	Rhizome			Graine
<i>Plantago lanceolata</i> L.		Graine	Graine	Graine
<i>Plantago major</i> L.		Graine	Graine	Graine
<i>Rumex pulcher</i> L.		Graine	Graine	Graine
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke.	Rhizome	Graine		Graine
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Rhizome	Graine	Graine	Graine
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Rhizome	Graine		Graine
<i>Typha latifolia</i> L.	Rhizome		Graine	Graine
<i>Viscum cruciatum</i> Sieber ex Boiss		Graine		
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam *	Souche- racine- graine *	Graine*	Graine*	Graine

(*) mise à jour d'après l'étude réalisée par Rsaissi & *al.* (2013a).

5. Gestion des adventices vivaces

Pour une gestion efficace et durable des adventices vivaces, il est nécessaire de mettre en place des moyens de contrôle sur le long terme. Il existe différentes méthodes de contrôle qui peuvent être intégrées dans les systèmes de culture. L'efficacité de ces méthodes et leurs modalités de mise en œuvre varient en fonction des espèces et du niveau d'infestation. C'est pourquoi il est conseillé d'intervenir dès les premières observations d'adventices vivaces dans une parcelle. Ces méthodes de contrôle sont groupées en deux groupes: les méthodes préventives et les méthodes curatives.

5.1. Méthodes préventives

La prévention constitue la première ligne de défense, proposant le meilleur rapport coût/efficacité, contre la propagation et l'envahissement des adventices vivaces. Elle consiste à l'utilisation de tous les moyens nécessaires à éviter l'introduction, l'établissement et/ou la dissémination et la prolifération de ces plantes dans les agroécosystèmes. Il est donc très important de connaître les activités qui favorisent l'entrée de ces vivaces dans un champ et de lutter contre toutes les nouvelles espèces nuisibles dès leur apparition. En effet, les moyens de lutte préventifs sont communs à toutes les adventices vivaces, même si leur importance et leur effet peuvent varier en fonction de l'espèce visée.

5.1.1. Identification des espèces envahissantes et leurs voies d'introduction et de propagation

La reconnaissance des espèces vivaces envahissantes ainsi que leurs voies d'introduction et de propagation est une étape très importante sinon la plus déterminante pour éviter l'introduction et/ou la dissémination de ces plantes dans les territoires agricoles. Bien que plusieurs ouvrages dédiés à l'identification des adventices à tous les stades soient disponibles, seule la pratique sur le terrain d'exercices de reconnaissance permettrait de mémoriser les espèces. Il ne faut pas se fier aux photos, noms vernaculaires ou noms communs d'espèces car les confusions sont possibles entre les espèces qui sont proches morphologiquement mais dont le comportement vis-à-vis des moyens de contrôle pourrait être totalement différent. A titre d'exemple, le nom marocain «Hoummida» désigne plusieurs espèces appartenant à deux familles (*Polygonaceae* et *Oxalidaceae*) et à trois genres différents (*Emex*, *Rumex* et *Oxalis*). Ainsi, seul le nom scientifique reste le plus valable et le plus précis à tout moment et à tout endroit. En outre, l'intégration de leviers agronomiques dans une stratégie de désherbage exige la connaissance de la biologie et l'écologie des espèces à contrôler. Ainsi, leur identification constitue la clef de voûte pour l'accès à cette information (Bouhache, 2021).

5.1.2. Réglementation

Le transport et en particulier le commerce du matériel végétal ont pour conséquence l'introduction, par inadvertance, d'espèces nuisibles. Par conséquent, il est logique d'agir à titre préventif et d'empêcher l'introduction de ces espèces ou tout du moins, à en endiguer la dissémination. La réglementation nationale sur la police sanitaire des végétaux et produits végétaux fixe les mesures à entreprendre pour éviter autant que possible la dissémination des organismes nuisibles en établissant une liste d'organismes contre lesquels des mesures de prévention et de lutte s'imposent. Etant donné le coût élevé des mesures préventives et leur impact négatif sur le commerce, seuls les plus importants sont pris en considération (ONSSA). Cette réglementation est mise en application par les services techniques de l'ONSSA et a pour objectif d'éviter l'introduction sur le territoire national de nouveaux organismes potentiellement dangereux et à limiter leur propagation d'une zone à une autre, par la vérification au niveau des postes frontières, de l'état phytosanitaire des végétaux et de produits végétaux importés et par la surveillance sanitaire des cultures à l'intérieur du pays.

5.1.3. Evitement ou réduction de la dissémination

Par les semences, les sous-produits et les plants en mottes: des graines et/ou des fragments de propagules végétatives d'adventices vivaces peuvent être introduites dans une parcelle par l'intermédiaire de semences contaminées, des sous-produits comme la paille et des plants (en mottes) d'agrumes, d'olivier, d'arbres fruitiers ou d'autres espèces issues des pépinières infestées. Ce mode d'introduction est relativement courant pour le chiendent, la morelle jaune, le souchet à tubercule et l'oxalide. Pour éviter ce mode de dissémination, il est nécessaire

d'utiliser des semences et plants certifiées bien contrôlés. Les semences doivent être bien criblées, en particulier celles de céréales qui peuvent être facilement contaminées par le chardon dont les graines, rassemblées en capitules, sont récoltées en même temps que la céréale (Weill, 2018).

Par les animaux d'élevage et/ou leurs effluents: le risque est que des graines d'adventices vivaces (cas de la morelle jaune) soient ingérées par les animaux d'élevage et peuvent se trouver dans leur fumier organique et ensuite introduites dans les champs lors de l'épandage de leurs effluents. Elles peuvent aussi être introduites d'une façon passive en s'accrochant à la toison de ces animaux ou par le dépôt direct des crottes dans les champs ou sur les bordures des routes. L'étude réalisée par Mahfoud (1988) a révélé que les ovins contribuent dans les premières infestations de la morelle jaune dans la région de Tadla avec un taux de 52,2%. Pour éviter à ce type de dissémination il faut éviter le passage des animaux d'un champ à l'autre et procéder au compostage des effluents d'élevage. La technique de compostage a fait ses preuves, mais son efficacité dépend de la durée de fermentation qui doit être suffisamment longue et de la température qui doit être suffisamment élevée. Par exemple, le fumier doit être maintenu à une température de 45-50°C pendant 3 à 4 semaines pour que les graines de *Rumex* perdent leur capacité de germination (Pötsch et Krautzer, 2000).

Par le vent: la dissémination peut se faire à partir de parcelles proches hébergeant des espèces dont les graines sont adaptées au transport par le vent, comme le chardon des champs (*Cirsium arvense*) (Weill, 2018). Dans le Tadla, les vents du sud et du sud-est provoquent de mai à octobre des bourrasques et des tourbillons souvent violents pouvant entraîner les fragments, les fruits et les graines de *Solanum elaeagnifolium* à des distances plus au moins grandes (Tahri, 1987; Essadini, 1988). Pour éviter ce type de dissémination, il faut surveiller les zones alentours, faucher les adventices au ras du sol aux stades jeunes avant la floraison et implanter des haies (Weill, 2018).

Par l'eau: il est également utile de tenir les abords des étangs, des bassins et des canaux d'irrigation aussi propres que possible et d'utiliser les filtres ou les grillages appropriés pour empêcher les graines de mauvaises herbes de passer par le système d'irrigation. Essadini (1988) avait capturé, avec 6 pièges installés pendant 8 h au niveau de l'entrée de l'eau du canal dans une parcelle irriguée, 134 graines de *Solanum elaeagnifolium* ayant un taux de viabilité de 69,5%.

Par des machines agricoles: des semences et des propagules végétatives entières ou/et leur fragments adhèrent fréquemment aux roues des machines agricoles ou aux outils de travail du sol. De cette manière, ce matériel agricole peut, par conséquent, être à l'origine de la dissémination de certaines espèces d'adventices vivaces d'une parcelle à l'autre voir même d'une région à l'autre. En effet, l'examen de vingt échantillons de sol collé aux machines agricoles a permis d'isoler 592 graines de *Solanum elaeagnifolium* dont 308 (52%) étaient viables (Essadini, 1988). Aussi, des graines d'adventices restent dans le batteur des moissonneuses batteuses et contaminent les parcelles récoltées ensuite. Au niveau parcellaire, le cover-crop est un moyen de multiplication et de dissémination des diaspores végétatives des vivaces telles que la morelle jaune, le chiendent, le liseron des champs etc. Une parcelle de 5 ha à l'ex. ferme d'application de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan au Tadla a été infestée par une tache de liseron (*Convolvulus arvensis*). Au bout de cinq ans, cette parcelle a été complètement infestée par le liseron suite à l'utilisation du cover-crop comme moyen de travail du sol (Bouhache, 2021). Pour éviter ces disséminations, les agriculteurs doivent être attentif au nettoyage du matériel après son utilisation dans une parcelle à problématique de vivaces et limiter l'utilisation du cover-crop comme matériel de labour dans les champs infestés. Il faut aussi, avant chaque opération de moisson, commencer la récolte par les parcelles les moins infestées et desserrer les contre-batteurs à la récolte des parcelles infestées pour limiter la chute de graines d'adventices sur le sol (Weill, 2018). Il s'agit d'une importante mesure sanitaire à prendre en considération et un problème particulier avec tout équipement agricole.

5.2. Méthodes curatives

5.2.1. Méthodes culturales

Si l'introduction d'adventices vivaces n'a pas pu être évitée, des méthodes culturales appropriées peuvent être adoptées pour augmenter la compétitivité des cultures et réduire celle des adventices vivaces:

Choix des cultures concurrentielles: l'implantation d'espèces concurrentielles permet d'augmenter l'efficacité d'une stratégie de gestion des adventices vivaces dans un système de culture. Il faut choisir des cultures capables de concurrencer les adventices pour l'accès à l'eau et aux éléments nutritifs ou pour l'accès à la lumière, c'est-à-dire des cultures à enracinement profond ou à couvert dense. Les espèces à départ précoce au printemps sont également à favoriser, car elles vont couvrir le sol avant que les adventices ne soient développées et les concurrencer pour l'accès à la lumière. Ainsi, les adventices auront plus de difficultés à faire de la photosynthèse et leur développement sera limité. Dans le cas du jujubier, Rsaissi & al. (2013 b) ont montré que le figuier de barbarie a une action allélopathique sur cet arbust et peut être plantée comme culture fourragère alternative dans les terrains de parcours, vu l'importance et l'intérêt de ce cactus aussi bien en alimentation animal qu'humaine. Ainsi, sans défrichements, les touffes du jujubier, se trouvent enclavées par les plants du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*), ralentissent leur activité biologique et croissance et pourraient avec le temps être éliminées définitivement par étouffement. Dans le cas de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*), les cultures fourragères comme la luzerne et la menthe contribuent à l'affaiblissement de cette vivace à cause de fort recouvrement ainsi qu'aux coupes répétées (Tanji & al., 1984; Zaki et El Jad, 1999); en plus de l'effet allélopathique de la luzerne sur la germination et la régénération de cette adventice (Bouhache et Assali, 1995; Bensellam, 2017). La luzerne en plus de son pouvoir de compétition directe, est dotée d'un effet allélopathique sur une autre espèce vivace le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*). Ceci a été confirmé par les résultats de l'étude de Bensellam et Bouhache (2005) qui ont trouvé que les extraits des parties aériennes et racinaires ont inhibé la régénération et la croissance des plantules de cette adventice. Ces deux chercheurs ont conclu que l'utilisation de la luzerne comme culture intercalaire avec les agrumes pourrait être exploitée comme alternative pour contrôler cette adventice dans les vergers d'agrumes au Maroc réputés très infestés par le souchet.

Rotation: la rotation est une pratique efficace pour lutter contre les adventices. Elle constitue l'un des fondements de la stratégie de désherbage durable. L'introduction d'une nouvelle culture dans la rotation permet aussi de repenser le désherbage chimique en introduisant des familles chimiques avec des modes d'action différents susceptibles de limiter le risque de résistances. En effet, pour lutter contre les vivaces en agriculture biologique, la rotation des cultures avec l'insertion de cultures « nettoyantes » reste le principal levier agronomique d'action. A titre d'exemple, l'introduction d'une luzerne pendant deux ans constitue un moyen de lutte efficace contre le chardon des champs. En effet, les fauches successives épuisent les organes souterrains de la vivace. Cependant, la luzerne ne joue pleinement son rôle de tête de rotation nettoyante que si elle est bien implantée (Arvalis, 2012).

Pour le cas de la morelle jaune, Ameur (1993) dans son étude sur la dynamique de levée de cette adventice a montré que les parcelles de la betterave dans la région de Tadla présentant un niveau faible d'infestation ont comme précédent cultural une fois sur trois ans une culture d'automne ou une jachère et ont tendance à avoir à partir de février une fréquence faible d'irrigation (4 à 5 fois) et de sarclage (0 à 1 fois). Dans la même région de Tadla, l'infestation de la morelle jaune dans les parcelles ayant comme précédent cultural une luzernière est toujours faible. Il a été démontré expérimentalement que la luzerne contient des substances allélopathiques qui inhibent la germination, la régénération et la croissance de la morelle jaune (Bouhache et Assali, 1995; Bensellam, 2003).

Engrais vert: dans les périmètres irrigués l'implantation d'engrais verts très compétitifs après une culture permet de limiter le développement de certaines espèces vivaces (cas de laiteron et chardon). Selon Weill (2018), Il y a deux possibilités: l'implantation des mélanges à croissance rapide comme le mélange avoine/pois fourrager avec une dose de semis renforcée après la récolte de céréale et l'implantation de trèfle avec la céréale: intervenir au besoin si la densité de trèfle est trop faible après la récolte de la céréale (déchaumer et semer le mélange fourrager avoine/pois ou faire un semis direct de pois dans le trèfle); le trèfle doit être fauché juste après la récolte de la céréale.

5.2.2. Gestion mécanique

5.2.2.1. Stratégies

Pour la gestion mécanique des adventices vivaces à l'inter-culture, il existe deux types de stratégies (Anonyme, 2014.):

Stratégie d'épuisement: elle consiste à épuiser progressivement les réserves racinaires des vivaces par des destructions répétées des parties aériennes (fauche ou travail du sol) et ou par fragmentation des racines à des périodes cibles durant le cycle de l'adventice. Cependant, la fragmentation des racines permet un épuisement des réserves plus rapide que la destruction des parties aériennes.

Stratégie d'extraction: la stratégie d'extraction consiste à fragmenter et à sortir les propagules végétatives (rhizomes, stolons, tubercules, etc.) du sol, puis à les exporter ou les laisser sécher. Cette extraction est à réaliser en conditions sèches pour favoriser le dessèchement, en particulier si les fragments ne sont pas exportés. Pour exporter les fragments, il est possible d'utiliser une herse étrille. Ce type de stratégie peut permettre de limiter grandement le nombre d'interventions, mais il existe un risque d'échec si le temps n'est pas suffisamment sec pendant les jours qui suivent l'intervention.

Le type de stratégie est choisi en fonction de l'adventice visée, car son efficacité dépend des caractéristiques biologiques de l'adventice. La stratégie d'extraction s'applique généralement à des espèces dont les bourgeons végétatifs (organes de propagation) sont situés en surface, car les bourgeons sont accessibles aux outils de travail du sol et peuvent être extraits assez facilement. Au contraire, la stratégie d'épuisement est préférée pour les adventices possédant des bourgeons végétatifs situés en profondeur, parce que les bourgeons végétatifs sont trop profonds pour être extraits. Sur ces espèces, la stratégie d'épuisement permet de toucher l'ensemble du système racinaire, et par conséquent, plus efficace que la stratégie d'extraction (Anonyme. 2014). Pour certaines espèces, les deux stratégies peuvent être combinées. Le tableau 9 montre la stratégie qui pourrait être appliqué pour quelques espèces les plus nuisibles. En effet, les deux stratégies sont à employer avec prudence, car il faut veiller à ne pas fragmenter les racines et les rhizomes.

5.2.2.2. Période d'intervention

Les adventices vivaces sont plus sensibles à une perturbation quand les réserves racinaires sont faibles, car la capacité de régénération des adventices est limitée. Contrairement aux annuelles qui sont éliminées une fois détruites au ras du sol, les espèces vivaces, ayant développé les propagules végétatives, régénèrent bien au tant de fois détruites (vivacité). Pour une efficacité optimale, les interventions doivent être réalisées avant que les adventices aient atteint leur point de compensation, car elles commencent à reconstituer leurs réserves racinaires à partir de ce stade. En pratique, des destructions répétées dans le même cycle et/ou pendant plusieurs saisons au stade correspondant au point de compensation arrivent à empêcher le renouvellement des stocks par la plante, à épuiser toutes les réserves de la plante et finissent par arrêter sa régénération. Les stades d'intervention pour quelques vivaces préoccupantes sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 9: Stratégie de gestion mécanique à appliquer pour quelques espèces vivaces les plus nuisibles.

Espèce	Organe de propagation végétatif	Extraction	Epuisement
Chardon des champs (<i>Cirsium arvense</i>)	Racine	Non	Oui
Chiendent (<i>Cynodon dactylon</i>)	Rhizome (Stolon)	Oui	Oui
Jujubier (<i>Ziziphus lotus</i>)	Souche, racine horizontale	Oui	Oui
L'oxalide (<i>Oxalis pes-caprae</i>)	Bulbe	Non	Oui
Laiteron (<i>Sonchus arvense</i>)	Rhizome	Non	Oui
Morelle jaune (<i>Solanum elaeagnifolium</i>)	Rhizome	Non	Oui
Panic rampant (<i>Panicum repens</i>)	Rhizome	Oui	Oui
Paspale distique (<i>Paspalum paspalodes</i>)	Rhizome (stolon)	Oui	Oui
Rumex (<i>Rumex crispus</i> et <i>Rumex obtusifolius</i>)	Racine	Oui	Oui
Sorgho d'Alep (<i>Sorghum halepense</i>)	Rhizome	Oui	Oui
Souchet à tubercules (<i>Cyperus rotundus</i>)	Tubercule	Non	Oui
Liseron des champs (<i>Convolvulus arvensis</i>)	Rhizome	Non	Oui

Tableau 10: Stades d'intervention mécanique pour la destruction de quelques vivaces préoccupantes.

Adventice vivace	Stades où les réserves sont au minimum (point de compensation)	Références
Laiteron (<i>Sonchus arvense</i>)	Stade rosette (4-8 feuilles)	Weill (2005); Weill (2018)
Chardon des champs (<i>Cirsium arvense</i>)	Avant le début de l'élongation de la tige (4-8 feuilles)	Weill (2005); Leblanc, (2016); Graglia et al. (2005)
Chiendent (<i>Cynodon dactylon</i>)	Début floraison (Juin)	Bouhache & al. (2005)
Souchet à tubercules (<i>Cyperus rotundus</i>)	Début stade végétatif (Mai)	Berrichi & al. (2005)
Panic rampant (<i>Panicum repens</i>)	Début floraison (Juin).	Bouhache & al. (2005)
Paspale distique (<i>Paspalum paspalodes</i>)	Floraison (Juillet).	Bouhache & al. (2005)
Morelle jaune (<i>Solanum elaeagnifolium</i>)	Initiation florale (Avril).	Bouhache & al. (1993)
Jujubier (<i>Ziziphus lotus</i>)	Stade végétatif complet (Avril).	Rsaissi & al. (2012b)
L'oxalide (<i>Oxalis pes-caprae</i>)	Stade végétatif complet (15 à	Chawdry et Sagar (1974)

Le nombre d'interventions mécaniques peut être adapté en fonction du type de stratégie mise en place, de l'adventice visée et du niveau d'infestation. Aussi, la détermination de l'intervalle de temps entre deux passages de destruction est essentielle pour assurer l'efficacité d'une stratégie d'épuisement. Les interventions doivent être suffisamment espacées pour laisser aux adventices le temps de produire de nouvelles pousses, mais suffisamment rapprochées pour empêcher la reconstitution des réserves. L'intervalle optimal entre deux passages serait de 2 à 4 semaines (Anonyme, 2014). Expérimentalement, le fauchage répété de la morelle jaune au stade initiation florale, pendant trois années d'essai, a permis de réduire l'infestation de cette adventice vivace dans le Tadla (Ameur & al., 2004). Aussi, l'épuisement des réserves de cette adventice après des coupes intensives par le Sweep (outil équipé de lames en V) effectuées plus d'une seule fois au cours de la même saison et répétées pendant plusieurs années peut être une méthode de lutte prometteuse. Pour *Cyperus rotundus*, l'utilisation d'un outil à dent pour travailler le sol permettrait de casser les liens entre les tubercules (chaîne de tubercules) d'une plante de cette espèce. Ceci favorise la régénération et la levée de tous les tubercules d'un seul coup, ce qui facilite relativement leur contrôle comparativement aux levées échelonnées (Bouhache,

2021). Ceci a été démontré expérimentalement par Omezine et Harzallah-Skhiri (2009). Selon ces derniers, dix rhizomes d'un, deux, trois et quatre tubercules de cette espèce chacun ont été plantés pour étudier l'effet du nombre de tubercules d'un rhizome (chaîne de tubercules) sur leur régénération. Ainsi, tous les 15 jours, les tubercules ayant régénéré et les repousses émergées ont été comptés et éliminés jusqu'à la régénération du dernier tubercule de la chaîne. Dans le cas des rhizomes ayant un seul tubercule, tous les tubercules ont régénéré sans problème. Dans le cas des rhizomes à plus d'un tubercule, la régénération d'un contingent de tubercules empêche celle des autres tubercules. La suppression des bourgeons régénérés permet de lever cette dominance apicale (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009).

5.2.3. Gestion chimique

Chez les adventices vivaces, un herbicide foliaire systémique devrait avoir une bonne efficacité si son application est faite au stade où la translocation des réserves glucidiques vers le système racinaire (propagules végétatifs) est intensive. En effet à ce stade (fragile), la plante commence à fournir un important effort métabolique pour reconstituer ses réserves. Un herbicide phloème mobile, tel que le glyphosate, lorsqu'il est appliqué à ce moment, suit le mouvement des glucides dans la plante en se déplaçant des sites de production des sucres, qui sont les feuilles (sources) vers les sites d'utilisation (puits). Il serait accumulé avec ces hydrates de carbones dans le système racinaire et exporté l'année suivante vers les méristèmes. Ces réserves fournissent l'énergie aux cellules méristématiques, qui servent à la genèse des bourgeons l'année suivante. Elle en résulte l'inhibition des bourgeons, et par conséquent, l'éradication des plantes issues de la régénération végétative. Ce principe pour la destruction des plantes vivaces a été confirmé par les travaux de plusieurs chercheurs sur plusieurs adventices vivaces (Stubblefield et Sosabee, 1985; Bank & al., 1977; Severin et Tissot, 1991; Bouhache & al., 1993; Bouhache et Ameer, 1994; Rsaissi & al., 2012b). Le tableau 11 présente les stades propices de traitement avec ce type d'herbicide pour certaines adventices vivaces étudiées au Maroc.

Tableau 11: Stade de migration intensive des TNC vers les organes de stockage chez quelques adventices vivaces du Maroc.

Espèces	Organe stockage des réserves	Stade de migration intensive des TNC vers les organes de stockage	Références
<i>Cynodon dactylon</i>	Rhizome	Post Floraison (juillet)	Bouhache & al. (2005)
<i>Cyperus rotundus</i>	Tubercule	Floraison (mai-juin)	Berrichi & al. (2007)
<i>Panicum repens</i>	Rhizome	Formation des graines (Aout-sept)	Bouhache & al. 2005)
<i>Paspalum paspalodes</i>	Rhizome	Fructification (juillet-Aout)	Bouhache & al. (2005)
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Racine	Fructification (baies vertes) (juin-juillet)	Bouhache & al. (1993)
<i>Ziziphus lotus</i>	Racine	Début de formation des fruits-	Rsaissi & al. (2012b)

Cependant, l'activité de cet herbicide n'est pas stable. Les conditions climatiques, la qualité d'eau de bouille, le dépôt de poussière sur les feuilles, l'état végétative de l'adventice et le stress hydrique, en plus de la compétence de l'opérateur de traitement, ont été rapportés par plusieurs chercheurs d'avoir un effet sur l'efficacité du glyphosate (Diskson & al., 1990; Bouhache et Ameer, 1994; Rsaissi et Bouhache, 2005b). A noter que cet herbicide ne doit être appliqué que dans une culture semée en ligne avec un grand écartement qui permet d'utiliser les caches buses, une jachère ou dans des vergers tout en assurant une protection de la frondaison des arbres pour qu'elle ne soit pas touchée par le traitement.

Pour contrôler l'oxalide (*Oxalis pes-caprae*) chimiquement, Rsaissi et Bouhache (2005c) ont montré qu'il est possible de détruire complètement cette espèce vivace en utilisant un herbicide à base de la matière active le tribénuron-méthyle 75% (sélectif du blé) au stade jeune (5 à 8 feuilles) dans le blé stade 3 feuilles) à la dose de 11,25 g.m.a/ha. Ce traitement a permis de réduire de 93% le nombre de

nouvelles bulbilles formées de l'adventice. D'autre adventices vivaces dicotylédones comme le laiteron, le chardon peuvent être contrôlés en utilisant un herbicide à base de clopyralid (100 g/l) à la dose 2l p.c./ha dans la culture de betterave à sucre au stade post levée (Index phytosanitaire en ligne de l'ONSSA). Le meilleur moment d'application est donné lorsque les chardons ont atteint une hauteur de 20 à 40 cm. Aussi, Nicosulfuron (150 g/l) + Dicamba (600 g/l) à la dose de 250 g p.c./ha dans une culture de maïs au stade post-levée précoce de la culture (2-4 feuilles) peut contrôler quelques vivaces dicotylédones et graminées associées à cette culture (Index phytosanitaire en ligne de l'ONSSA). Dans les champs du blé, l'application des herbicides auxiniques à base de 2,4D, le MCPA, le Dicamba et leur associations au stade plein tallage donne des bons contrôles contre le liseron des champs (Baye, 2016). Pour le contrôle chimique des adventices graminées vivaces plusieurs herbicides homologués à cette fin sont disponibles sur le marché national (Tableau 12).

Tableau 12: Herbicides homologués pour la lutte contre les adventices graminées vivaces (Index phytosanitaire en ligne de l'ONSSA).

Produits	Matière active	Dose/ha	Cultures
BOOM EFEKT	Glyphosate –sel d'isopropylamine (360 g/l)	6 L	Agrumes
BOOM SUPER	Glyphosate –sel d'isopropylamine (360 g/l)	6 L	Agrumes
DEVIN	Cycloxydime (100 g/l)	4 L	Vigne
FOCUS ULTRA	Cycloxydime (100 g/l)	4 L	Agrumes, Arbres fruitiers, Colza
		4-6 L	Haricot vert
FUSILADE FORTE	Fluazifop-P-butyl (150 g/l)	2,5 L	Ail, Artichaut, Asperge, Céleri, Chou, Épinard, Laitue
GLYFO TDI	Glyphosate (360 g/l)	6 L	Agrumes
GLYSTER FORT	Glyphosate –sel d'isopropylamine (360 g/l)	6 L	Agrumes
KALTOR	Nicosulfuron (150 g/l) / Dicamba (600 g/l)	250 g	Maïs
SYSTEMIC	Glyphosate –sel d'isopropylamine (360 g/l)	6 L	Agrumes

6. Conclusion

Les adventices vivaces sont considérées par les agriculteurs comme des espèces redoutables et difficiles à contrôler. L'agressivité de cette catégorie d'adventices s'explique par sa diversité d'organes végétatifs et leur capacité de régénération en plus de sa reproduction par les graines pour certaines d'entre elles. Partout où elles dominent, elles occasionnent des pertes considérables aux cultures en réduisant la qualité et la quantité des productions. Etant donné que ces vivaces sont difficiles à contrôler, seule une gestion intégrée combinant plusieurs méthodes de lutte peut maîtriser ses populations au niveau d'une parcelle donnée à savoir: les méthodes préventives (éviter l'introduction et/ou la réduction de la dissémination), les techniques culturales (implantation des cultures concurrentielles, rotation, engrais vert ...), le contrôle mécanique à l'interculture basé sur l'épuisement progressive des réserves racinaires par destructions répétées des parties aériennes (par fauche ou travail du sol) et/ou l'extraction des propagules végétatives (rhizomes, stolons...) du sol (les exporter ou les laisser sécher) et qui doit être réalisé avant que les adventices aient atteint leur point de compensation (niveau des réserves racinaires faible), et un contrôle chimique qui consiste en général à l'application d'herbicide foliaire systémique au stade (fragile) ou la translocation des réserves glucidiques vers le système racinaire (propagules végétatifs) est intensive. Sachant qu'aucune de ces mesures de lutte ne permette à elle seule une maîtrise suffisante et parfaite de ces adventices vivaces.

Références

- Aldrich R.J. (1984) Weed-crop ecology: Principles in weed management. Breton Pub., N. Scituate, MA., pp. 5-6.
- Ameur A. (1993) Dynamique de la levée de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) dans la betterave à sucre au Tadla. Mémoire 3ème cycle, IAV Hassan II, Rabat, 226 p.

- Ameur A., Baye Y., Dfif W. & Belfakih M. (2004) Effet de certains facteurs sur la germination et la régénération de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). Proceedings du XII^{ème} Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, France.
- Ameur B. (2000) Importance des rongeurs en santé publique. Proceeding du séminaire national sur la surveillance et la lutte contre les rongeurs, Marrakech, Ministère de la Santé/D.E.L.C.M. I, pp. 11-14.
- Ampong Nyarko K. & De Datta S.K. (1991) A Handbook for Weed Control in Rice. International Rice Research Institute, Manila, Phillipines, 113 p.
- Anonyme (1977) Principaux insectes déprédateurs des denrées stockées. Illustration Grassman/Irlor. Imprimé par Erasmusdruck en R.F.d' Allemagne.
- Anonyme (1980) Report of silverleaf nightshade research. Keih Turnbull Research Institute-Victoria-Australia. Departement of grown lands and survey. Pamphlet n°79.
- Anonyme (1995a) La Mérie de Shaw (*Merines shawi* (drv.)). Fiche technique protection des végétaux n°1, DPVCTRF, Rabat.
- Anonyme (1995 b) La mineuse de l'oranger (*Phyllocnistis citrella* (St.)). Fiche technique protection des végétaux n°3, DPVCTRF, Rabat.
- Anonyme. (2007) Etude sur la gestion phytosanitaire des escargots sur des vergers d'agrumes dans la région de Gharb. Rapport INRA.
- Anonyme (2014) Moyens curatifs: comment mettre en place une stratégie mécanique de gestion des adventices vivaces ? Document issu du projet Agri-bio: de la connaissance à la performance, Agro-Transfert, 2 p.
- Antoine B. (2008) Le bois mort et les Coléoptères associés dans les plantations de pin maritime (*Pinus pinaster* L.). Implications possibles pour la gestion durable des forêts et l'élaboration d'indicateurs de biodiversité. Thèse de Doctorat, Univ. Bordeaux1, France.
- Arvalis (2012) Connaître la biologie des vivaces pour mieux les gérer. <https://www.arvalis-infos.fr/conna-tre-la-biologie-des-vivaces-pour-mieux-les-gerer-@/view-11956-arvarticle.html>.
- Bank P.A., Kirby M.A.. & Santelmann P.W. (1977) influence of Post emergence and subsurface layered herbicides on horsenettle and peanuts. Weed Science, 25: 5-8.
- Baye Y. (2004) La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) au Tadla: Nature de l'infestation et possibilité de contrôle. Mémoire pour le grade d'Ingénieur en Chef, I.N.R.A., Rabat, 77 p.
- Baye Y. & Bouhache M. (2002) Etude de la compétition entre la morelle jaune et le maïs. Proc. 5^{ème} Congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 41-50.
- Baye Y. (2016) Le liseron des champs (*Convolvulus arvensis* L.): étude de quelques aspects biologiques et possibilités de contrôle dans une culture de blé dans le périmètre irrigué de Tadla. Proc. 10^{ème} Congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 409-421.
- Bensellam E.H. & Bouhache M. (2005) Effet de différentes méthodes de désherbage sur le chiendent et le cyperus dans le verger d'agrumes. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 91-103.
- Bensellam E.H., Bouhache M., Moutiq R. & Owenm D. (2017) Allelopathic effect of alfalfa (*Medicago sativa* L.) extracts on Purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) and bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Revue Marocaine de Protection des Plantes, 11: 1-15.
- Bensellam E.M. (2003) Etude de l'effet allélopathique de la luzerne (*Medicago sativa*) sur la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.): mise en évidence, isolement et identification des substances allélopathiques. Mémoire d'accès au grade d'ingénieur en chef, INRA, Rabat.
- Berrichi A., Bouhache M. & Reda Tazi M. (2007) Etude quantitative des hydrates de carbones non structuraux dans les tubercules et les rhizomes du souchet à tubercule (*Cyperus rotundus* L.). Al Awamia, 121/122: 35-50.
- Bonnemaison L. (1962) Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Edition Sep, Paris.
- Bouhache M. (2010) *Solanum elaeagnifolium* Cav.: a threat to agriculture and environment in mediterranean region. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 1: 1-9.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Première édition, Dar Al qalam, Rabat, 374 p.
- Bouhache M. & Ameur A. (1994) Synthèse des travaux effectués au Maroc. Projet morelle jaune, IAV/DERD/INRA, 140 p.

- Bouhache M. & Assali F. (1995) Effet allélopathique de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur la germination des graines de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). Proceeding du 2ème Congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 171-178.
- Bouhache M. & Ghammarte A. (2002) Effet allélopathique de l'oxalide sur la germination et la croissance des céréales. Proc. 5ème Congrès de l'AMM, Rabat, pp. 51-60.
- Bouhache M., Alaoui S.B., Taleb A., Chakir S. & Atbib M. (2005) Variation saisonnière des réserves glucidiques des rhizomes de trois graminées vivaces associées à la canne à sucre au Loukkos. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 35-43.
- Bouhache M., Boulet C. & Karakhi F. (1993) Evolution des hydrates de carbone non structuraux chez La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). Weed research, 33: 291-298.
- Boulet C., Tanji A. & Taleb A. (1989) Index synonymique des taxons présents dans les milieux cultivés ou artificialisés du Maroc occidental et central. Actes de l'Inst. Agron. Vét., Vol 9 (3-4): 65-94.
- Buck W.B., Dollahite J.W. & Allen T.J. (1960) Silver-leafed nightshade, poisoning in livestock. Journal of the American Veterinary Medical Association, 137(6): 348-351.
- Callihan R.H., Eberlein C.V., McCaffrey J.P. & Thill D.C. (1990) Field bindweed: Biology and management. University of Idaho, Cooperative Extension System, College of Agriculture Research Center, Bulletin, 719.
- Cirad (2020) *Cyperus rotundus* L.-CYPERACEAE–Monocotylédone. http://idao.cirad.fr/content/oswald/species/c/cypro/cypro_06_fr.html
- Chawdry M.A. & Sarag G.R. (1974) Control of *Oxalis latifolia* H.B.K and *O.pes caprae* L. defoliation. Weed Res., 14: 293-299.
- Dollahite J.W. & Allen T.J. (1960) Silver-leafed nightshade, poisoning in livestock. Progress Report n° 2146, Texas Agricultural Experiment Station, the Texas A & M college system. 7 p.
- Essadine A. (1988) Contribution à la lutte contre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) dans les vergers d'agrumes et étude des moyens préférentiels de dissémination de l'espèce. Mémoire d'Ingénieur Phytiate, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 86 p.
- Ghammarte A. (1999) Effets allélopathiques de l'oxalide (*Oxalis pes-caprae* L.) sur la germination et la croissance des céréales d'automne. Mémoire de 3ème cycle, option protection des végétaux, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Graglia E., Melander B. & Jensen R.K. (2006) Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. Weed Res., 46: 304–312.
- Hartzler R.G., Gover A. & Stellingwerf J. (1991) Factors Affecting Winter Survival of johnsongrass (*Sorghum halepense*) rhizomes. Weed Technology, 5(1): 108-110.
- Jahandiez E. & Maire R. (1931-34) Catalogue des plantes au Maroc. Edition Le Chevalier, tome 1 à 4, 1181 p.
- Johnson W.C. (2001) Using narrow row patterns and premium herbicides for cost effective weed control in peanut. Weed Science Society of America. Abstracts, 41: 7.
- Lane D. (1984) Factors affecting the development of population of *Oxalis pes-caprae* L. Weed Res., 24: 219-225.
- Laraichi M. (1985) Les ravageurs des denrées stockées: espèces signalées au Maroc, Biologie et Méthodes de lutte. ENA, Meknes, 92 p.
- Leblanc M. (2016) Les envahisseurs: le chardon et le laitron. Journée grande culture de St-Rémi. <https://www.agrireseau.net/documents/93977/les-envahisseurs-le-chardon-et-le-laitron>
- Lemerle D. & Leys A.R. (1991) Control of silverleaf nightshade *Solanum elaeagnifolium* Cav. Increases the grain yield of wheat. Australain J. Exp. Agric., 31: 233-236.
- Liquido Nj., Shinoda L.A. & Cunningham R.T. (1991) Host plant of the Mediterranean fruit fly (Diptera, Terphritidae) and annotated world review- USA Misc.Publ. N°77. 52 p.
- Livingston M J. (2007) The Mediterranean fruit fly and the United States: Is the Probit 9 Level of Quarantine Security Efficient. Canadian journal of agricultural economics. 2007 Dec., 55(4):515-526.
- Mahfoud A. (1988) Etude autécologique de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) et possibilité de lutte dans une culture du maïs au Tadla. Mém. 3ème Cycle, IAV. Hassan II, Rabat.

- Mcwhorter C.G. (1972) Factors affecting johnsongrass rhizome production and germination. *Weed Science*, 20(1): 41-45.
- Montégut J. (1983) *Pérennes et vivaces nuisibles en agriculture*. Monsonto, 480 p.
- Morey P.R. (1978) Weed particles in raw cottons: a potential source of cotton dust. Meeting of weed. Soc. of Amerc., Abstracts, p. 4.
- Mulligan G.H. & Junkins B.E. (1976) The biology of Canadian weeds. 17. *Cyperus esculentus* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 56: 339-50.
- Nkurunziza L. (2010) Phenology and source sink dynamics of carbohydrates in relation to management of perennial weeds *Cirsium arvense* and *Tussilago farfara*. Thèse de Doctorat, University of Copenhagen, Agriculture and Ecology.
- Northan P.E. & Orr C.C. (1982) Effects of a nematode on biomass and density of silverleaf nightshade. *Journal of Range Mangment*, 35(4): 536-537.
- Omezine A. & Harzallah-Skhini F. (2009) Biological behavior of *Cyperus rotundus* in relation to agro-ecological conditions and imposed human factors. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3 (1): 63-69.
- Pattison A.L., Burgess L.W., Bell T.L. & Ryder M.H. (2019) Vegetative reproduction and root anatomy of *Solanum centrale* J.M. Black (Australian bush tomato). *The Rangeland Journal* 41(4): 345-354. <https://doi.org/10.1071/RJ19011>.
- Poetsch E.M. & Krautzer B. (2000) Keimfähigkeit von Ampfersamen sowie Möglichkeiten und Effizienz der Ampferbekämpfung. *Österr. Pflanzenschutztag 2000*, Tulln, S 30.
- Qasem J.R. & Foy C. (2001) Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects: a review. In: *allelopathy in agroecosystems*, Kohli R. K., Pahdi H. P. & Batish D. R. (eds), pp. 43-119, Food Products Press, N.Y., USA.
- Riemens M.M., Weide V.D. & Runia W.T. (2008) Nutsedge: biology and control of *Cyperus rotundus* and *Cyperus esculentus*, review of literature survey. *Plant Research International B.V.*, Wageningen, The Netherlands, 35 p.
- Ross M.A. & Lembi C.A. (1985) *Applied weed science*. Burgess publishing Company, Minneapolis, Minnesota, USA, 340 p.
- Rsaissi N. (1994) Chemical control of buttercup (*Oxalis pes-caprae* L.) in wheat (*Triticum durum* Desf.). Fifth Arab Congress of Plant Protection, Fez, Morocco.
- Rsaissi N. (2013) Le jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Desf.) dans la Chaouia: importance, impact agro-économique, biologie, activité antimicrobienne et stratégie de mise en valeur des terres agricoles infestées. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan 1er, Settat, 176 p.
- Rsaissi N. & Bouhache M. (2005a) Oxalide (*Oxalis pes-caprae* L.): biologie, impact agro-économique et moyen de lutte. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 145-153.
- Rsaissi N. & Bouhache M. (2005b) Facteurs affectant l'efficacité du glyphosate sur le jujubier (*Ziziphus lotus*). Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp.127-138.
- Rsaissi N., Bouhache M. & Bencharki B. (2012a) Importance et Impact agro-économique du jujubier (*Ziziphus lotus*) dans la Chaouia. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 3: 13-27.
- Rsaissi N., Bouhache M. & Bencharki B. (2012b) The evolution of non-structural carbohydrates in the wild jujube « *Ziziphus lotus* (L.) Desf. » and chemical control strategy. *IRACST-Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, Vol. 2 (6): 998-1001.
- Rsaissi N., Bencharki B. & Bouhache M. (2013a) Study of some elements of biology of wild jujube « *Ziziphus lotus* (L.) Desf.». *Global Journal of Biology, Agriculture & Health Sciences*, 2(4): 82-89.
- Rsaissi N., Bouhache M. & Bencharki B. (2013b) Allelopathic potentiel of Barbary fig « *Optunia ficus-indica* (L.) Mill. » on germination and growth of wild jujube « *Ziziphus lotus* (L.) Desf. ». *International journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 3, N°1: 205-214.
- Sama G. (1988) Fauna d'Italia, 26. *Coleoptera Cerambycidae*. Catalogo topografico e sinonimico. Calderini, Bologna, 216 p.

- Sauvage CH. & Vindt J. (1954) Flore du Maroc, Analytique, description et illustrée. Spermatophytes. Fascicule II. Edit Intern. Tanger, Série Botanique n°3: 1-15.
- Severin F. & Tissot M. (1991) Principes de l'utilisation des herbicides. In: les herbicides mode d'action et principes d'utilisation, Scallia R. (éd), pp. 281-332, INRA, Paris.
- Smite I.M., Mcnamara D.G., Scott P.R. & Harris K.M. (1992) Fiche information sur les organismes de quarantaine. *Ceratitis* spp. Organismes de quarantaine pour l'Europe, OEPP, Paris, pp. 95-103.
- Sparacio I. (1999) Coleotteri di Sicilia (vol. III). L'Epos editore. Palermo, 192 p.
- Stubblefield R.E. & Sosabee R.E. (1985) Herbicidal control of silverleaf nightshade. Proc. Wes.Soc.Weed Sci, 38: pp. 126.
- Swan D.G. (1980) Field bindweed, *Convolvulus arvensis* L. Washington State University, College of Agriculture Research Center, Bulletin 0888.
- Tahri M. (1987) La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.): contribution à l'étude de la biologie et du désherbage chimique dans le périmètre irrigué du Tadla. Mémoire 3ème cycle Agron., Opt. Malherbologie. Inst. Agron. Vét. Hassan II, Rabat.
- Tahri M., Bouhache M. & Taleb A. (2005) Diversité systématique des adventices vivaces des principales cultures des régions agricoles du Maroc central et occidental. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp.1-21.
- Taleb A. & Maillat J. (1994) Mauvaises herbes des céréales de la Chaouia (Maroc) I. Aspect floristique. Weed Research, 34: 345-352.
- Tanji A., Boulet C. & Hammoumi M. (1984) Contribution à l'étude de la biologie de *Solanum elaeagnifolium* Cav. (Solanacées), adventice des cultures dans le périmètre irrigué du Tadla (Maroc). Weed Res., 24: 401-409.
- Thullen R.J. & Keeley P.E. (1975) Yellow nutsedge sprouting and resprouting potential. Weed Science, 23(4): 333-337.
- Viennot B.G. (1968) Les bactéries et les viroses des arbres fruitiers. Tome III. Atlas des maladies des plantes cultivées. Edition Ponsol, Paris.
- Weaver S.A. & Riley W.R. (1982) The biology of Canadian weeds.53. *Convolvulus arvensis* L. Canadian Journal of Plant science, 62: 461-472.
- Weed Herbarium. (2021) *Ranunculus bulbosus*. Identification Notes. University of Massachusetts Amherst. Umass. Extension. <https://extension.umass.edu/landscape/weeds/ranunculus-bulbosus>.
- Weill A. (2005) Moyens de lutte au chardon des champs en agriculture biologique. Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, 15 p.
- Weill A. (2005) Moyens de lutte au laitron. Club Bio-Action. <https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Laitron%20med.pdf>
- Weill A. (2018) Répression du laitron des champs, du chardon des champs et du tussilage. Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+) du Cégep de Victoriaville. No ISBN 978-2-9817312-0-3.
- Wikimedia Commons (2021) File: *Oxalis pes-caprae* root. JPG. the free media repository. <https://commons.wikimedia.org/>
- Wikimedia Commons. (2021) File: *Sorghum halepense* stolons 2 (7412712596).jpg. the free media repository. <https://commons.wikimedia.org/>
- Zaki N. & El Jadd L. (1999) Effet de la luzerne sur le développement et la croissance de La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) in: synthèse des résultats de recherches obtenues au périmètre de Tadla. Convention INRA/DPV, vol. IV (Provisoire), pp. 24-129.
- Zimdahl R.L. & Brahli A. (1992) Pertes occasionnées par les mauvaises herbes sur les céréales en zone semi-aride du Maroc occidental. Al Awamia, 75: 53-61.

Gestion des Plantes Exotiques Envahissantes

Salmane BEN-GHABRIT

1. Définition et concepts

1.1. Définition

Une plante exotique envahissante peut être définie comme toute plante capable de produire des propagules qui vont survivre pendant la phase du transport (de l'aire d'origine à l'aire envahie) et donner naissance à des individus capables de s'établir dans la nouvelle aire envahie et de se reproduire naturellement sans avoir besoin de l'intervention de l'homme, afin de proliférer et de se propager par la suite, tout en causant des dégâts biologiques, écologiques et économiques, notamment dans le secteur agricole (Figure 1). Cette définition englobe plusieurs concepts et phénomènes (introduction, naturalisation, invasion et impacts).

1.1.1. Introduction

Une plante introduite est définie comme étant un taxon non indigène libéré intentionnellement ou accidentellement par l'homme dans un nouveau territoire où il était absent (Thévenot, 2013). En revanche, dans le cas des plantes exotiques envahissantes, l'introduction qui résulte de l'extension de l'aire de répartition naturelle de l'espèce avec ou sans l'intervention de l'homme, ne serait pas prise en considération (Thévenot, 2013). Il est donc nécessaire que ces taxons surmontent des barrières géographiques telles qu'une série de montagnes, de mers ou d'océans pour correspondre à cette définition (Figure 1). Historiquement, l'introduction des espèces végétales a été tracée jusqu'à 2500 avant J.C. Cependant et en règle générale, il suffit que la présence de l'espèce ait été documentée avant 1492, date de la découverte de l'Amérique, pour qu'elle soit considérée comme autochtone (Pyšek & *al.*, 2009). Néanmoins, cette date de référence n'est pas universelle. En Australie par exemple, la distinction se fait par rapport à la date de la colonisation européenne du continent (Richardson & *al.*, 2000). Etant donné qu'il est difficile dans certains cas de préciser la date exacte d'introduction, il est souvent admis de se référer au temps de résidence minimal «Minimum Residence Time » basé sur la date de la première signalisation de l'espèce dans sa nouvelle aire (Pyšek & *al.*, 2009).

1.1.2. Naturalisation

Environ 90% des espèces introduites ne seront pas capables de s'adapter et de maintenir une population qui se reproduit sans intervention de l'homme (Williamson & Fitter, 1996). Ces espèces sont appelées des espèces occasionnelles ou acclimatées (Richardson & *al.*, 2000). A l'inverse, les 10% restantes sont capables de se reproduire, aussi bien dans les milieux naturels que semi-naturels, sans intervention de l'homme, sont appelées des espèces naturalisées ou établies (Thévenot, 2013).

1.1.3. Invasion

L'invasion implique une phase de prolifération et d'expansion. La prolifération signifie que l'espèce en question aura une multiplication rapide du nombre initial d'individus et deviendra prédominante dans son nouveau territoire (Thévenot, 2013). L'expansion correspond à la dispersion et la conquête de nouveaux territoires, grâce aux caractéristiques biologiques de l'espèce et/ou à cause des activités humaines (Thévenot, 2013). L'application de la règle des dix signifie que 10% des espèces naturalisées auront la capacité de devenir des plantes invasives et seule 1% des espèces introduites pourraient devenir envahissantes (Williamson & Fitter, 1996).

1.1.4. Impact

Selon Richardson & *al.* (2000), l'impact des plantes envahissantes varie de la nuisibilité connue chez les mauvaises herbes à l'effet des espèces transformatrices. Thévenot (2013) a défini les espèces transformatrices comme espèces exotiques envahissantes qui modifient l'intégrité des écosystèmes au niveau du biotope (environnement) et de la biocénose (communautés vivantes) en modifiant les cycles biogéochimiques et en modifiant la chaîne alimentaire.

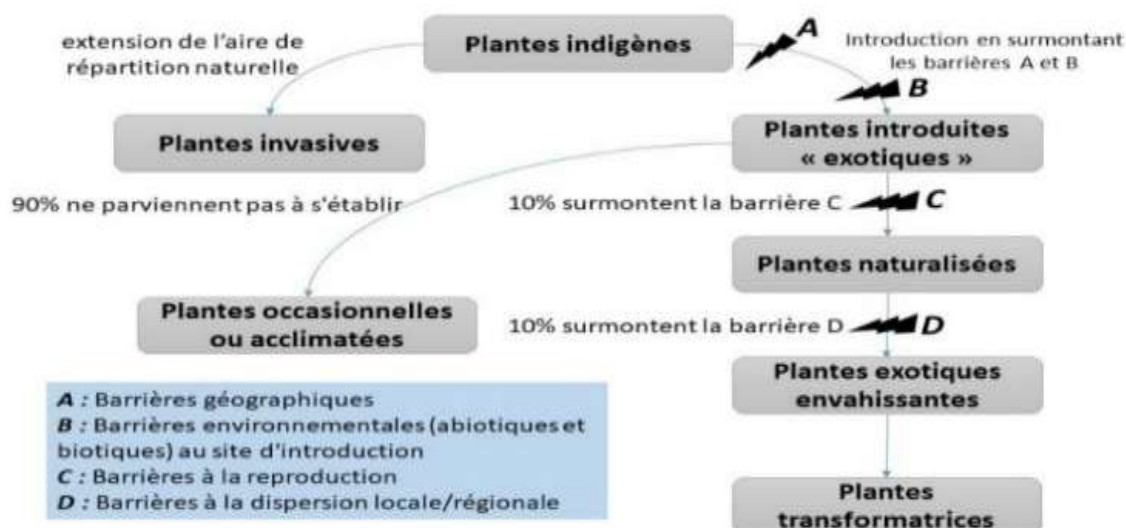


Figure 1: Les phases et les barrières liées à l'invasion des plantes exotiques envahissantes (Ben-Ghabrit, 2019).

2. Plantes exotiques envahissantes du Maroc

Avec 4200 espèces et sous-espèces, la flore marocaine est l'une des plus riches et des plus diversifiées du bassin méditerranéen (cité par Chafik & *al.*, 2013). Environ 25% de cette flore est endémique (cité par Chafik & *al.*, 2013) et environ 20% des espèces sont reconnues comme des mauvaises herbes (Taleb & Bouhache, 2006) et moins de 3% sont considérées comme des mauvaises herbes redoutables (Bouhache & Taleb, 2012). Tanji & Taleb (1997) ont donné une liste de 12 espèces « récemment introduites au Maroc », sans donner une indication sur leur statut invasif. Taleb & Bouhache (2006) ont confirmé le statut de plante exotique envahissante de ces 12 espèces tout en rajoutant deux espèces comme plantes récemment introduites au Maroc et trois autres comme des néophytes invasives. Une mise à jour de cette liste a été effectuée par les mêmes auteurs en rajoutant cinq espèces nouvellement introduites au Maroc et sept néophytes qui ont le statut d'invasives (Bouhache & Taleb, 2012). Les auteurs ont également donné les dates d'introduction de ces espèces et les ont classées selon une échelle de 1 à 4 selon leur niveau d'invasion. Dans une récente mise à jour, Bouhache (2021) a ajouté deux espèces à cette liste. Ces deux espèces sont bien connues pour leur invasion des milieux aquatiques naturels et artificiels. L'une de ces deux espèces (la laitue d'eau) a déjà envahi Oued Fès, ce qui constitue une menace majeure notamment pour les barrages de cette zone (Tableau 1).

Tableau 1: Liste des plantes exotiques envahissantes au Maroc (Bouhache, 2021).

Espèces	Familles botaniques	Date d'introduction	Indice d'invasion
Milieus aquatiques naturels et artificiels			
<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pontederiaceae</i>	1980	4
<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Araceae</i>	1980	4
Milieus terrestres y compris les cultures			
<i>Bromus rigidus</i>	<i>Poaceae</i>	Néophyte	4
<i>Oxalis pes-caprae</i>	<i>Oxalidaceae</i>	Néophyte	4
<i>Dittrichia crithimoides</i>	<i>Asteraceae</i>	Néophyte	3
<i>Dittrichia viscosa</i>	<i>Asteraceae</i>	Néophyte	3
<i>Nicotiana glauca</i>	<i>Solanaceae</i>	Néophyte	3
<i>Ricinus communis</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Néophyte	3
<i>Atriplex semibaccata</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Néophyte	2
<i>Dittrichia graveolens</i>	<i>Asteraceae</i>	Néophyte	2
<i>Kochia scoparia</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Néophyte	2
<i>Atriplex suberecta</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Néophyte	1
<i>Ailanthus altissima</i>	<i>Simaroubaceae</i>	1930	4
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	<i>Solanaceae</i>	1949	4
<i>Acacia mollissima</i>	<i>Fabaceae</i>	1950	4
<i>Cyperus difformis</i>	<i>Cyperaceae</i>	1980	4
<i>Echinochloa phyllopogon</i>	<i>Poaceae</i>	1980	4
<i>Verbesina encelioides</i>	<i>Asteraceae</i>	1997	4
<i>Salpichroa origanifolia</i>	<i>Solanaceae</i>	1949	3
<i>Ammania coccinea</i>	<i>Lythraceae</i>	1980	3
<i>Dactyloctenium aegyptiacum</i>	<i>Poaceae</i>	1980	3
<i>Arctotheca calendulae</i>	<i>Asteraceae</i>	1990	3
<i>Oryza spp.</i>	<i>Poaceae</i>	2000	3
<i>Brachiaria eruciformis</i>	<i>Poaceae</i>	1970	1
<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Malvaceae</i>	1980	1
<i>Euphorbia heterophylla</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	1980	1
<i>Solanum cornutum</i>	<i>Solanaceae</i>	1986	1
<i>Corchorus olitorius</i>	<i>Tiliaceae</i>	1990	1
<i>Panicum capillare</i>	<i>Poaceae</i>	1990	1
<i>Ambrosia coronopifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	1990	1
<i>Suaeda aegyptiaca</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	2000	1
1: le moins invasif; 4: le plus invasif			

Quant aux espèces terrestres, seules 34,5% d'entre elles sont néophytes, 17,2% ont été introduites entre les années 1930 et 1970, alors qu'environ la moitié de ces espèces ont été introduites entre 1980 et 2000 (Bouhache & Taleb, 2012). Bien que les origines des introductions soient diversifiées, 31,1% des plantes exotiques envahissantes du Maroc proviennent des Etats-Unis, environ 38% du bassin méditerranéen ou de l'Afrique et les 31% restants sont réparties entre l'Europe, l'Asie et l'Australie (Bouhache & Taleb, 2012). Environ la moitié des plantes exotiques envahissantes au Maroc ont envahi les champs cultivés, alors que 27,6% ont été trouvées dans les terrains non cultivés et le reste a envahi les deux types de milieux (Bouhache & Taleb, 2012). Dans la liste de 2006, trois espèces ont été considérées comme les plus invasives: *Solanum elaeagnifolium*, *Verbesina encelioides* et *Oxalis pes-caprae* (Taleb & Bouhache, 2006), alors que dans la liste de 2012, huit espèces sont classées comme les plus invasives (Bouhache & Taleb, 2012). Cinq espèces (*Solanum elaeagnifolium*, *Verbesina encelioides*, *Bromus rigidus*, *Echinochloa phyllopogon* et *Oxalis pes-caprae*) ont reçu l'attention des chercheurs au Maroc et de nombreuses études leur ont été consacrées.

3. Impacts des plantes exotiques envahissantes

Suite aux écrits d'Elton en 1958 (son livre intitulé: l'écologie des invasions par les animaux et les plantes), la communauté scientifique a pris conscience de l'impact écologique et socioéconomique des plantes exotiques envahissantes. L'examen de cet impact a connu beaucoup d'évolution au cours de ces dernières décennies, passant par de simples rapports anecdotiques au développement des méthodes d'analyses quantitatives.

L'impact des plantes exotiques envahissantes est déterminé par trois facteurs résumés dans cette équation: $I = R \times A \times E$ (Parker & *al.*, 1999; Richardson & Van Wilgen, 2004). L'impact global (I) est le produit de la superficie occupée par l'espèce envahissante (R), la densité de plantes par unité de surface (A) et l'effet individuel d'un plant de l'espèce envahissante (E). Les deux premiers facteurs de cette équation étant faciles à définir et à mesurer, la difficulté réside donc dans la définition de l'effet individuel de l'espèce et dans la mesure de cet effet. De ce fait, de nombreuses études ont été consacrées à chercher les effets individuels de différentes plantes exotiques envahissantes. Certaines de ces études ont été consacrées à l'illustration des effets individuels biologiques et écologiques de ces plantes. Par contre, l'étude de l'impact économique a été basée essentiellement sur la quantification des pertes causées par ces espèces et le coût de leur contrôle. L'application de la notion des services écosystémiques aux plantes exotiques envahissantes a permis de quantifier l'impact biologique et écologique de ces plantes sur les différentes catégories des services écosystémiques.

3.1. Impacts biologiques et écologiques

3.1.1. Hybridation

L'hybridation entre les espèces exotiques et indigènes est l'un des principales causes de ces impacts (Reaser & *al.*, 2007 et Hulme, 2007). L'hybridation entre une espèce envahissante et une espèce indigène peut conduire à la production d'une descendance stérile, ou fertile. Si cette descendance est plus performante que le parent indigène, cela signifie que l'hybride prédomine dans l'aire envahie. Dans les deux cas, une déclinaison dans l'intensité de présence de l'espèce indigène peut se produire (Hulme, 2007).

3.1.2. Apparition de nouveaux ennemis de cultures

Une plante exotique envahissante peut être l'hôte d'un ou de plusieurs microorganisme(s) pathogène(s). Dans son aire d'origine, du fait de la coévolution avec ces microorganismes, elle a développé des mécanismes de défense contre ces microorganismes. Dans l'aire envahie, ces microorganismes pourront attaquer les plantes indigènes et même les plantes cultivées, qui n'ayant jamais été au contact de ces pathogènes et n'ont pas développé de mécanismes de défense. Cela résulte d'une part en une déclinaison d'abondance chez les espèces indigènes et d'autre part en une apparition de nouveaux ennemis de culture qui menacent l'agriculture (Hulme, 2007).

3.1.3. Compétition sur les ressources

L'effet des plantes exotiques envahissantes a été largement décrit en termes de compétition sur les ressources. Richardson & *al.* (2000) ont donné des exemples de plantes exotiques envahissantes qui utilisent excessivement les ressources en eau, ou en lumière, ou en oxygène, voir même les trois à la fois. Dassonville & *al.* (2008) ont montré que les plantes exotiques envahissantes ont une plus grande capacité à assimiler les nutriments que les indigènes. Morales & Traveset (2009) ont mis en évidence que les plantes exotiques envahissantes attirent plus les pollinisateurs que les indigènes, réduisant la fréquence de leurs visites chez les plantes indigènes et diminuant leur taux de reproduction par voie sexuée.

3.1.4. Effets sur la biodiversité

L'hybridation, l'introduction des nouveaux ennemis de culture, la compétition vis-à-vis des ressources et l'attraction des pollinisateurs, sont autant de mécanismes qui réduisent la richesse de la diversité dans les écosystèmes envahis. Ce fait a été prouvé par Hejda & *al.* (2009) qui ont montré que l'invasion des écosystèmes par des plantes exotiques a été accompagnée par une remarquable diminution dans la richesse de plantes dans ces écosystèmes. Certains scientifiques ont même parlé de l'extinction de certaines espèces à cause de l'invasion des plantes exotiques. Cependant, aucune preuve n'a pu confirmer ces réclamations.

3.1.5. Autres impacts

Parmi les autres impacts écologiques dus aux plantes exotiques envahissantes, nous pouvons citer l'érosion des sols (Richardson & Van Wilgen, 2004) et l'augmentation des feux (Brooks & *al.*, 2004). Les plantes exotiques envahissantes facilitent l'invasion d'autres espèces exotiques et rendent le milieu plus vulnérable à toute nouvelle invasion biologique (Simberloff & Von Holle, 1999). Les plantes exotiques envahissantes peuvent avoir un impact sur la santé humaine, par la production des pollens allergéniques (Belmonte & Vilà, 2004; Pinar, 2018).

3.2. Impacts économiques

L'étude de l'impact économique des plantes exotiques envahissantes a été basée essentiellement sur la quantification de pertes causées par ces espèces et le coût de leur contrôle. Une étude réalisée à l'échelle internationale incluant six pays (Etats-Unis, Royaume-Uni, Afrique du Sud, Australie, Inde et Brésil) a estimé les pertes économiques annuelles causées par les plantes exotiques envahissantes à 87,4 billions de dollars dans le secteur agricole; 7,52 billions de dollars dans le secteur pastorale et 0,178 billions de dollars dans le secteur environnemental (Pimentel & *al.*, 2001).

Aux Etats-Unis, les pertes de fourrage et le contrôle de la salicaire coûte 45 millions de dollars par année (Pimentel & *al.*, 2000). La Floride dépense environ 14,5 millions de dollars chaque année pour la lutte contre les hydrillas (Center & *al.*, 1997). Les pertes causées par les plantes exotiques envahissantes dans le secteur agricole des Etats-Unis ont été estimées à 23,4 billions de dollars et le coût du contrôle à 3 billions de dollars (Pimentel & *al.*, 2000; Pimentel & *al.*, 2005). Entre 2002 et 2003, l'Afrique du Sud a dépensé 354,850 millions de Rands (environ 259 millions de dollars) pour lutter contre les espèces exotiques envahissantes (Marais & *al.*, 2004). Au Royaume-Uni, les coûts des traitements chimiques contre 30 plantes exotiques envahissantes ont été estimés à 150 millions d'euros par an (Vilà & *al.*, 2010). En Australie, les pertes économiques annuelles causées par ces plantes ont été estimées à 4 billions de dollars dans le secteur agricole (Sinden & *al.* 2004).

3.3. Impact sur les services écosystémiques

Les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices fournis à la vie humaine par les écosystèmes naturels et semi naturels. Ces services sont classés en quatre catégories (Vilà & *al.*, 2010):

Les services d'approvisionnement: comprennent les produits alimentaires, l'eau douce, les fibres, les ressources génétiques, etc.;

Les services de régulation: comprennent la régulation de la qualité de l'air, du climat et de l'eau, ainsi que la lutte contre l'érosion;

Les services culturels: comprennent les valeurs esthétiques, touristiques, spirituelles, scientifiques;

Les services de soutien: produits sur de grandes périodes de l'année. Ils comprennent la photosynthèse, la production primaire, le cycle des éléments nutritifs, le cycle de l'eau, la formation et le maintien de la fertilité des sols, ainsi que la composition de l'atmosphère.

L'approche des services écosystémiques attribue des valeurs aux processus ou aux services écosystémiques. En définissant l'impact des plantes exotiques envahissantes sur chacun de ces services, nous pouvons quantifier les services qui sont les plus menacés et les espèces qui ont le plus d'effets, ce qui permet de classer les différentes espèces et à prioriser les procédures de gestion (Vilà & *al.*, 2010). A notre connaissance, les deux premières publications reliant l'impact écologique des espèces exotiques envahissantes à la notion des services écosystémiques sont celles de Binimelis & *al.* (2008) et de Charles & Dukes (2008). Depuis, peu d'études ont été réalisées. Pejchar & Mooney (2009) ont quantifié les coûts économiques de six plantes envahissantes en Afrique du Sud sur 12 services écosystémiques appartenant aux trois catégories (approvisionnement, régulation et culturels). Ces auteurs ont montré que les pertes annuelles varient de 14 millions de dollars à 1,4 billions de dollars selon le service écosystémique. Vilà & *al.* (2010) ont classé 100 espèces exotiques envahissantes selon leurs impacts sur les quatre catégories de services écosystémiques pour l'ensemble du continent européen. Ils ont trouvé que les plantes terrestres sont l'un des deux groupes taxonomiques ayant le plus d'espèces causant des impacts. Dans la même étude, ils ont identifié les plantes exotiques envahissantes ayant le plus d'impacts et les écosystèmes les plus affectés. Tout cela, permet de prioriser les procédures de gestion.

3.4. Exemple d'impacts causés par la morelle jaune

La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) est l'une des plantes exotiques envahissantes les plus étudiées au Maroc. Ses dégâts sur le secteur agricole s'expriment sur deux niveaux: augmentation des coûts de production et réduction des rendements en termes de quantité et de qualité. D'une façon générale, toutes les cultures qui ont un cycle qui coïncide totalement ou partiellement avec celui de la morelle jaune sont susceptibles d'être infestées et subissent des dégâts (Uludag & *al.*, 2016). Les cultures les plus infestées diffèrent d'une région à l'autre, mais d'une façon générale ce sont les cultures de coton, de maïs, de sésame, des oliviers et des agrumes qui sont fortement touchées (Photo 1). D'autres cultures sont aussi infestées mais dans un moindre degré, il s'agit des cultures fourragères, de la betterave à sucre, des légumineuses alimentaires, des cultures maraîchères et des céréales (Tanji & *al.*, 1985; Tanji, 2000). Baye et Bouhache (2007) ont montré que les pertes du rendement causées par la morelle jaune dans un champ de maïs non désherbé ont atteint 64%. En Australie, la présence de cette espèce dans les champs de céréales cause une réduction de rendement de l'ordre de 70% (Yaroshenko & Pylypenko, 2013).



Photo 1: Un champ fortement infesté par la morelle jaune dans la région de Beni Mellal au Maroc (Photo Taleb).

La morelle jaune agit sur les plantes cultivées soit par la compétition pour l'eau, la lumière et les nutriments, soit par la sécrétion des substances à effets allélopathiques. Elle peut aussi agir indirectement en se comportant comme hôte intermédiaire de plusieurs pathogènes. En Californie, *S. elaeagnifolium* a été trouvée comme hôte intermédiaire d'un phytovirus: *Lettuce chlorosis Virus* «LCV» (McLain & *al.*, 1998). Elle a été aussi trouvée comme hôte des insectes ravageurs:

Leptinotarsa decemlineata (Hare, 1990), *Myzus persicae*, *Aphis fabae* (Boukhris-Bouhachem & *al.*, 2007), *Leptinotarsa defecta* et *Leptinotarsa texana* (Cuda & *al.*, 2002).

La morelle jaune gêne également certaines pratiques culturales. Lors de l'arrachage de la betterave à sucre, les ouvriers sont obligés en premier lieu d'éliminer la morelle jaune (Tahri, 1987). La moisson des céréales est aussi gênée, car à cette période, la morelle jaune est encore verte (Bouhache & Ameur, 1994). De plus, les graines de céréales récoltées seront mal stockées à cause de l'augmentation de l'humidité causée par les débris verts de la plante (Bouache & Ameur, 1994). Les parcelles fortement infestées par l'espèce sont souvent abandonnées et leur valeur vénale et locative est très réduite (EPPO, 2007).

La morelle jaune n'infeste pas uniquement les champs cultivés, elle envahit aussi les espaces verts, les bords des routes et d'autres milieux incultes (Photos 2) (Ben-Ghabrit & *al.*, 2016). En Grèce, elle était la seule espèce exotique à pousser après une restauration forestière (Ganatsas & *al.*, 2012). Tscheulin & *al.* (2009) ont trouvé que la présence de la morelle jaune dans un nouveau biotope cause une diminution de l'ordre de 61,5% en nombre de visites des pollinisateurs aux plantes indigènes. La morelle jaune peut ainsi causer un déséquilibre écologique en remplaçant les espèces indigènes.



Photos 2: Invasion de la morelle jaune dans les espaces verts, les bords de route et les rives des canaux d'irrigation au Maroc.

La morelle jaune contient des alcaloïdes qui, en se combinant avec les sucres du système digestif des animaux, forment des glyco-alcaloïdes toxiques tels que la solanine et la solasonine (Uludag & *al.*, 2016). Des chevaux sont morts en mangeant cette plante (Uludag & *al.*, 2016) et les bovins qui ont consommé des baies mûres équivalant à 0,1 à 0,3% de leur poids ont développé des symptômes d'intoxication modérée (Boyd & *al.*, 1984). En Australie, les pertes des producteurs de viande et de laine causées par la morelle jaune sont estimées à 10 AUD \$ par hectare par année (Stanton & *al.*, 2012). L'écrasement des différentes parties de la plante provoque l'émission de la poussière qui peut aboutir à des troubles respiratoires en cas d'inhalation par l'homme (Bouache & Ameur, 1994).

4. Processus d'invasion

La compréhension des mécanismes et des facteurs impliqués dans le processus de l'invasion biologique est indispensable pour le développement des stratégies de gestion des espèces exotiques envahissantes. Le succès de l'invasion ou le potentiel invasif d'une plante est le résultat de trois facteurs et de leurs interactions: les traits de la plante, les voies de transport et l'invasibilité du milieu récepteur (Ben-Ghabrit, 2019) (Figure 2).



Figure 2: Les facteurs déterminant le succès de l'invasion des plantes exotiques envahissantes (Ben-Ghabrit, 2019).

4.1. Invasibilité du milieu réceptaire

4.1.1. Correspondance entre l'espèce exotique et le milieu réceptaire

Le succès de l'invasion des plantes exotiques nécessite entre autres une correspondance entre l'espèce et l'écosystème de l'aire envahie. Cette correspondance peut être vue via le concept des niches écologiques. Grinnell (1928) présente la niche écologique comme l'ensemble des composantes et des conditions environnementales nécessaires à l'existence d'une espèce. Hutchinson (1957) a rajouté à ce concept l'interaction avec les autres organismes vivant de l'écosystème. La correspondance peut être vue alors selon deux niveaux: une correspondance entre l'espèce introduite et l'ensemble des composantes et des conditions environnementales et une correspondance entre l'espèce introduite et les autres organismes existants dans le nouvel écosystème.

Panetta & Mitchell (1991) ont établi une carte de distribution potentielle de quelques espèces envahissantes en Nouvelle-Zélande, en cherchant une correspondance entre les conditions climatiques dans lesquelles ces espèces existent dans l'aire d'origine et les conditions climatiques des différentes régions de la Nouvelle-Zélande. Kühn & Klotz (2008) ont expliqué que ce genre de correspondance ne peut présenter que la niche fondamentale dans laquelle l'espèce envahissante peut s'établir, alors que la niche réalisée dépend aussi du positionnement de l'espèce introduite dans la biocénose du nouvel écosystème et les différentes interactions qui vont s'y'établir.

L'étude de la relation entre la richesse d'un écosystème et l'invasibilité peut être utilisée pour présenter la niche réalisée. Pour Elton (1958), plus un écosystème est riche en termes de diversité, moins il est sensible à l'invasion. Des essais ont confirmé cette hypothèse (Levine & D'antonio, 1999). Alors que d'autres études ont rapporté que les écosystèmes les plus sensibles à l'invasion sont les plus riches en termes de diversité (Kühn & Klotz, 2008). La richesse signifie qu'un milieu est favorable et adaptable aux différentes espèces végétales, contrairement à un milieu subissant des facteurs de stress (sécheresse, salinité, etc.) où le faible taux de richesse sera accompagné par un faible taux d'invasion. Toutefois, il est logique de dire que plus il y a d'espèces et d'individus moins il y a de ressources disponibles pour la nouvelle espèce. En plus, une communauté plus diversifiée est plus susceptible d'avoir davantage de prédateurs et d'ennemis naturels. En termes de probabilité, plus il y a d'espèces, plus il est probable de trouver une espèce possédant un impact négatif sur l'espèce envahissante. Il est donc possible de conclure que pour un écosystème connu par sa richesse en termes de biodiversité, il est susceptible

d'être envahi par les PEE. Cependant, le succès de l'invasion dépendra toujours de la nature des sites de cet écosystème. Une forêt riche en espèces est moins susceptible qu'un champ cultivé.

4.1.2. Facteurs favorisant la correspondance entre l'espèce exotique et le milieu récepteur

La correspondance entre l'espèce envahissante et le milieu récepteur n'est pas toujours préexistante. Dans certains cas, l'espèce introduite ne passe au statut invasif qu'après un changement qui touche le milieu récepteur le rendant plus sensible à l'invasion.

Pratiques humaines

Les pratiques humaines de gestion du territoire sont parmi les principaux facteurs de ce changement (Brooks, 2008). Cet auteur a résumé les activités humaines liées à la gestion du territoire et favorisant l'invasion des plantes exotiques en quatre catégories: conservation (réserves naturelles), utilisation (pastoralisme), suppression (urbanisation) et remplacement (agriculture). Les espèces européennes ont été plus adaptées aux milieux agricoles et ont pu envahir rapidement les régions où l'agriculture a été récemment introduite (Hufbauer & Torchin, 2008).

Changement climatique

Le changement climatique est l'un des moteurs des changements des niches écologiques. Thuiller & *al.* (2008) ont résumé les mécanismes à travers lesquels le changement climatique peut promouvoir l'invasion biologique: l'augmentation de taux de CO₂, le réchauffement de la planète, la perturbation des précipitations, augmentation de la fréquence des périodes de sécheresse et aggravation des événements extrêmes comme les inondations, les tempêtes et les incendies. L'effet du changement climatique sur l'expansion de l'aire de répartition des plantes exotiques envahissantes a été bien illustré en Australie (Kriticos & *al.*, 2010). En plus de l'expansion de l'aire de répartition des espèces exotiques envahissantes comme résultats de l'effet du changement climatique, l'établissement des nouvelles espèces est un effet prévu (Hellmann & *al.*, 2008). Selon Clements & Ditommaso (2011), les effets prévus du changement climatique sur l'invasion biologique seront encore plus graves si la capacité d'évolution et d'adaptation des espèces exotiques envahissantes est ajoutée aux modèles de prédiction.

Invasion biologique

Un autre mécanisme qui peut modifier considérablement le milieu récepteur et le rendre plus sensible à l'invasion est l'invasion elle-même. Par exemple, Scherer-Lorenzen & *al.* (2008) ont expliqué que l'invasion d'un milieu par une plante fixatrice d'azote peut enrichir ce milieu en azote ce qui le rend plus favorable à l'invasion.

4.2. Voies de transport

L'extension naturelle de l'aire de répartition des plantes est aussi ancienne que leur existence. Cependant, elle a été toujours limitée par un certain nombre de barrières, comme les barrières géographiques. L'invention de l'agriculture a permis la migration des plantes en dehors de leur aire de répartition naturelle. Si la fréquence de ces introductions avait déjà bien augmenté après la découverte de l'Amérique (Kowarik & Von der Lippe, 2008), la globalisation et l'augmentation du commerce international du XX^{ème} siècle ont accéléré et amplifié le processus (Nentwig, 2007). Les études du processus d'introduction des plantes a permis d'identifier des voies de transport des plantes invasives. Carlton & Ruiz (2005) ont proposé un plan cadre, autrement appelé « Framework for vector science » pour l'étude des voies de transport des plantes. Ils ont découpé le processus d'introduction en six éléments (la cause, le chemin, la nature du vecteur, les caractéristiques du vecteur, l'amplitude du vecteur et les propagules).

4.2.1. Cause

La cause (premier élément) peut être résumée en deux principales catégories: introduction intentionnelle et non-intentionnelle (Carlton & Ruiz, 2005). L'homme a introduit des plantes pour les cultiver/utiliser comme source d'aliments, plantes fourragères, ornementales et/ou médicinales, ou encore pour, soit-disant, enrichir la biodiversité. Environ 52% des plantes exotiques envahissantes ont été introduites intentionnellement en république Tchèque (Kowarik & Von der Lippe, 2008). A Montpellier au sud de la France, 57% des plantes naturalisées ont été introduites intentionnellement (Kowarik & Von der Lippe, 2008). L'introduction intentionnelle des plantes est l'une des principales causes de l'introduction non intentionnelle via les contaminations des semences (Kowarik & Von der Lippe, 2008). En fait, la contamination des marchandises est l'un des deux principaux modes d'introduction non intentionnelle, étant donné que l'attachement des propagules aux vecteurs du transport en est le deuxième (Kowarik & Von der Lippe, 2008).

4.2.2. Chemin

Carlton et Ruiz (2005) ont défini le chemin (deuxième élément) comme le trajet de la plante entre la source d'introduction et la nouvelle aire envahie. Il est important de noter que la source d'introduction ne correspond pas obligatoirement à l'aire d'origine. Un trajet est caractérisé par sa nature et sa distance. La distance du trajet exprime l'échelle de l'invasion et détermine par conséquent la nature du trajet. Trois échelles peuvent être définies: continentale, régionale et locale (Pauchard & Shea, 2006). La dissémination des plantes à l'échelle continentale se fait essentiellement par l'intermédiaire de l'homme (Pauchard & Shea, 2006). A cette échelle, les ports constituent en général des points de départ de l'invasion (Kowarik & Von der Lippe, 2008). L'homme continue à être le principal facteur de dissémination à l'échelle régionale, bien que les mécanismes utilisés diffèrent significativement de ceux utilisés à l'échelle continentale (Pauchard & Shea, 2006). A l'échelle régionale les mouvements de propagules tendent à suivre les routes et les rivières (Hodkinson & Thompson, 1997; Parendes & Jones, 2000). Cela se traduit par la présence des populations des bords des routes, qui constituent à leur tour des points de départs de l'invasion (Kowarik & Von der Lippe, 2008). A l'échelle locale, l'homme n'est plus le principal facteur de dissémination (Pauchard & Shea, 2006). D'autres facteurs impliqués à cette échelle seront détaillés par la suite.

4.2.3. Nature, caractéristiques et amplitude du vecteur

Les troisième, quatrième et cinquième éléments établis par Carlton et Ruiz (2005) concernent les vecteurs ou les moyens de transport. La contamination des sacs de semences par les propagules des mauvaises herbes est l'un des moyens de transport les plus fréquents. Ce moyen permet la dissémination à l'échelle continentale. Par ce moyen, ce ne sont pas uniquement les champs qui vont être infestés, mais ce sont aussi les ports, les endroits de stockages et tous autres endroits où il y aura un changement des conteneurs qui seront probablement infestés (Hodkinson & Thompson, 1997; Kowarik, 2003; Kowarik & Von der Lippe, 2008). Les trains ont été signalés comme moyen de transport favorable à la dissémination à l'échelle régionale (Arnold, 1981). Les véhicules en général sont parmi les principaux moyens de transport à la fois aux échelles locale et régionales (Kowarik & Von der Lippe, 2008). Les véhicules roulant en milieux ruraux sont plus susceptibles de transporter les semences que les véhicules des milieux urbains (Kowarik & Von der Lippe, 2008). Les machines agricoles favorisent la dissémination à l'échelle locale (McCanny & Cavers, 1988). Cependant, les animaux jouent un rôle plus important à l'échelle locale que l'homme (Hodkinson & Thompson, 1997). Les propagules peuvent être transportés par les animaux soit en s'accrochant à l'animal soit à travers son appareil digestif (Kowarik & Von der Lippe, 2008). D'ailleurs, la laine a été trouvée comme un facteur important dans le transport des propagules des plantes introduites (Kowarik & Von der Lippe, 2008). Si l'on considère qu'environ 30 gigatonnes de sol sont transportées par l'homme chaque année (Hodkinson & Thompson, 1997) et que le sol est un réservoir de graines de nombreuses espèces végétales, on peut admettre que le sol constitue un très bon moyen de dissémination des plantes exotiques envahissantes (Hodkinson & Thompson, 1997). L'amplitude du vecteur exprimé par le nombre des introductions assurées par un type de vecteur

pour une période déterminée est le cinquième élément. Il permet d'identifier et de quantifier les voies et les vecteurs qui présentent le plus de risque.

4.2.4. Propagules

Concernant les propagules (dernier élément), Carlton et Ruiz (2005) ont défini trois aspects de propagules à prendre en considération:

La diversité des propagules transportées par un vecteur. Pour ce faire, ils proposent l'utilisation des techniques de biologie moléculaire qui facilitent l'identification des différentes propagules dans l'état dans lequel elles se trouvent;

La densité de chaque espèce de propagule (quantité par unité de surface ou de volume), étant donné que ce facteur est considéré comme déterminant dans le succès de l'invasion;

L'état physiologique des propagules: en étudiant la viabilité des propagules, leur contenu en lipides et l'expression des protéines de stress. Cela peut aider à identifier les traits des espèces envahissantes et de développer des modèles de prédiction de l'invasion biologique.

4.2.5. Nombre d'introductions

Le nombre d'introductions d'une espèce peut être aussi ajouté comme un septième élément. L'effet d'entonnoir est exprimé par une diminution de la diversité génétique comme résultat de la diminution de la taille de population dans l'aire envahie (Wilson & *al.*, 2009). L'introduction secondaire d'une espèce, permet donc de surmonter la contrainte de cet effet d'entonnoir ou même d'exercer un effet inverse, en assurant la possibilité de croisement entre des individus de différentes origines (Wilson & *al.*, 2009). L'introduction secondaire assure aussi l'apparition de plusieurs foyers qui contribuent parallèlement au développement de l'invasion (Kowarik, 2003; Kowarik & Von der Lippe, 2008).

4.3. Traits biologiques des plantes envahissantes

L'invasion des plantes exotiques passe par plusieurs phases (Figure 1). Dans chaque phase seul un petit nombre (environ 10% des espèces) réussit à passer à la phase suivante (Williamson & Fitter, 1996). Cela implique que les traits de la plante sont un facteur essentiel pour accomplir chaque phase du processus de l'invasion. De nombreuses recherches ont été menées pour déterminer les traits associés au potentiel invasif d'une plante. Des tendances qui lient certains traits avec l'invasion biologique ont pu être signalées par plusieurs chercheurs et qui ont été résumées par Pyšek & Richardson (2008). Cependant, les résultats issus de ce genre d'études ne permettent pas une généralisation sur toutes les espèces envahissantes. Néanmoins, ces études prouvent que les plantes exotiques envahissantes diffèrent pour certains traits biologiques des autres plantes. Pour la majorité des études réalisées, ces traits concernent le type biologique de la plante, les traits morphologiques (e.g. hauteur de la plante, nombre et surface des feuilles), les traits phénologiques (e.g. âge de la plante pendant la floraison, période de floraison), les traits liés à la reproduction (e.g. mode de reproduction, les caractéristiques des graines).

Callaway & Ridenour (2004) ont suggéré que les plantes exotiques envahissantes possèdent un arsenal de composés biochimiques agissant comme des substances allélopathiques et/ou des médiateurs des nouvelles interactions entre la plante et le sol. Contrairement aux plantes qui ont co-évolué avec les espèces envahissantes dans leurs aires d'origines et qui ont par conséquent développé une résistance aux substances à effet allélopathique, les plantes des nouvelles aires envahies n'avaient pas l'opportunité de développer cette résistance. Au Maroc, 65.5% des plantes exotiques ont des effets allélopathiques (Bouhache & Taleb, 2012). Aussi, les caractéristiques biochimiques doivent-elle être ajoutées à la liste des traits liés au potentiel invasif des plantes exotiques envahissantes.

La plasticité phénotypique et la variabilité génétique chez les plantes exotiques envahissantes sont des facteurs importants qui leur permettent de s'adapter à des nouveaux environnements (adaptation à

l'échelle locale) et d'étendre l'aire envahie (adaptation à l'échelle régionale) (Zhu & *al.*, 2017). En outre, les plantes exotiques envahissantes ont prouvé une capacité d'évolution rapide qui leur permet davantage d'élargir l'extension de l'aire envahie (Whitney & Gabler, 2008). Cette évolution touche les différents traits mentionnés plus haut et qui peut se réaliser dans une échelle de temps très réduit (moins de 10 ans) (Whitney & Gabler, 2008). Ben-Ghabrit & *al.* (2019) ont trouvé qu'après quelques dizaines d'années de l'invasion de *S. elaeagnifolium* du Maroc, un nouveau morphotype est apparu et est plus adapté aux conditions écologiques de la région du Gharb, qui est une région nouvellement envahie dans le pays. En conclusion, la plasticité phénotypique, la variabilité génétique et le potentiel d'évolution sont autant de facteurs à prendre en considération lors de l'étude du potentiel invasif des plantes exotiques (Whitney & Gabler, 2008).

5. Gestion des plantes exotiques envahissantes

L'Homme a été l'artisan de l'extinction de nombreuses espèces, soit des zones géographiques localisées, soit à l'échelle de la planète. Le potentiel technique et le savoir-faire nécessaires pour éradiquer toutes les espèces exotiques envahissantes d'une zone géographique ne sont pas des facteurs limitants comme en témoignent les nombreuses campagnes d'éradication. Cependant, l'éradication n'est pas toujours la solution la plus efficace. En fait, la gestion des plantes exotiques envahissantes peut se faire selon trois niveaux: prévention, éradication et contrôle (Rejmánek, 2000). Le choix du niveau et des méthodes d'intervention dépend essentiellement des facteurs économiques (Figure 3). Cette dernière montre que le rendement du capital investi varie considérablement entre les différents niveaux de gestion. Ainsi, la valeur de ce rendement varie de 100 \$ pour chaque dollar investi en prévention, à 1-5 \$ pour une gestion à une phase tardive de l'invasion.

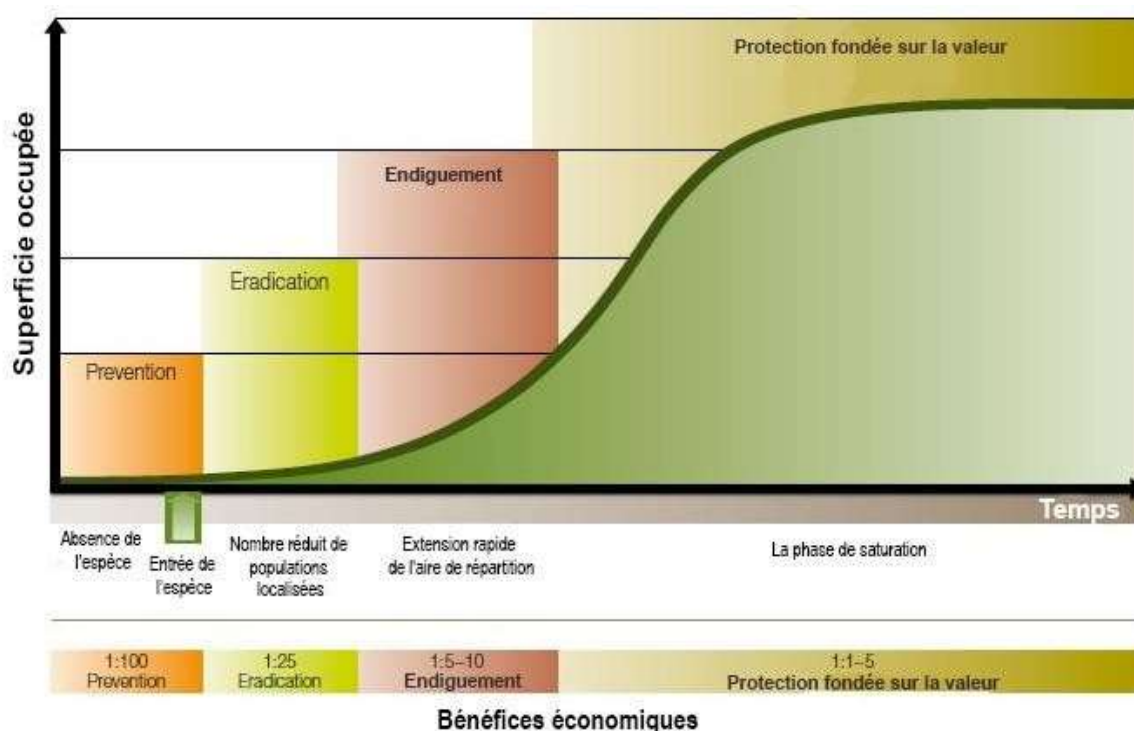


Figure 3: Coût et bénéfice selon les différents niveaux d'intervention (Victoria, 2010).

5.1. Prévention

5.1.1. Mesures économiques

Etant donné que l'introduction des plantes exotiques envahissantes est en grande partie liée à l'activité économique, la gestion peut être basée sur des solutions économiques. Touza & *al.* (2008) ont analysé 16 études réalisées sur la gestion économique des plantes exotiques envahissantes. Ces études ont été faites d'une part pour calculer les coûts liés aux différents niveaux et méthodes d'intervention et donner par conséquent la meilleure stratégie de gestion, et d'autre part pour proposer des outils économiques pour la prévention contre l'invasion des plantes exotiques. L'application des tarifs liés aux risques d'introduction des espèces envahissantes liés à l'importation, est l'un des outils économiques proposés (McAusland & Costello, 2004). Cependant, ce genre de solution est limitée par les conventions en relation avec le commerce international (Touza & *al.*, 2008).

Horan & Lupi (2005) ont proposé d'appliquer le système des permis échangeables sur l'introduction des plantes exotiques. Ce système se base sur le principe que toute augmentation des émissions doit être compensée par une diminution équivalente ailleurs, sauf que dans le cas des plantes exotiques envahissantes, la notion d'émission est remplacée par le risque d'introduction (Touza & *al.*, 2008). Cette proposition se trouve face à des contraintes majeures: il est nécessaire de savoir qui sont les espèces potentiellement introduites et leurs impacts potentiels afin d'établir des catégories de permis échangeables (Touza & *al.*, 2008). Knowler & Barbier (2005) ont proposé d'appliquer une taxe liée au risque d'invasion sur le commerce des plantes exotiques. Cette proposition ne prend pas en considération l'invasion qui résulte de l'introduction non intentionnelle et qui est le mode d'introduction d'une grande partie des plantes exotiques envahissantes.

5.1.2. Mesures phytosanitaires

Actuellement, la prévention contre les plantes exotiques envahissantes ne se base pas sur les mesures et outils économiques. Les mesures phytosanitaires sont à la base de la prévention contre l'invasion des plantes exotiques. Les différentes approches d'analyse des risques phytosanitaires existantes actuellement ont permis l'établissement des listes noires ou des listes des espèces de quarantaine. La convention internationale pour la protection des plantes « IPPC » établie en 1952, et la convention sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires « SPS » de 1995, présentent des instruments internationaux pour empêcher l'introduction, l'établissement et la propagation des plantes exotiques envahissantes (Hallman, 2008).

Toutefois, le principal défi dans les mesures phytosanitaires reste de déterminer quelles espèces peuvent être définies comme des plantes exotiques envahissantes et nécessitent d'être ajoutées aux listes noires. L'approche la plus utilisée pour établir cette liste est celle de l'Analyse des Risques Phytosanitaires « Pest Risk Analysis ». Cette approche consiste à répondre à une série de questions pour une espèce donnée. Un groupe d'experts en la matière doit déterminer si l'espèce en question est considérée comme envahissante quelque part dans le monde. Ils doivent également déterminer son potentiel à envahir une zone donnée et l'impact négatif attendu sur cette zone. Les voies d'entrée possibles doivent également être définies par ce groupe d'experts. Tout cela devrait conduire vers la fin à classer l'espèce en question dans l'une des trois classes suivantes: Espèce non dangereuse, espèce à surveiller, espèce à mettre sur liste noire.

Les extrapolations basées sur les invasions précédemment documentées sont extrêmement importantes. Grâce au développement de bases de données mondiales sur les PEE, cette approche devrait permettre d'élaborer des listes noires et orange (prévention) et de prioriser les programmes de gestion des PEE déjà établis. En l'absence d'une telle base de données mondiale sur les PEE, la compréhension de comment et pourquoi certains traits biologiques favorisent le potentiel invasif de certaines espèces reste un outil de prédiction important.

Les travaux essayant de répondre à cette question remontent à 1974 avec l'article de Baker «L'évolution des mauvaises herbes ». Dans les années 2000, les chercheurs sont arrivés à classer ces travaux en trois catégories selon l'approche adoptée. (Hamilton & *al.*, 2005; Pyšek & Richardson, 2008):

La première approche connue sous le nom « native-comparison approach »;

La deuxième approche connue sous le nom « Target-area approach »;

La troisième approche connue sous le nom « Source-area approach ».

Chacune de ces trois approches présente des avantages et des limites. Ben-Ghabrit (2019) a souligné certains de ces avantages et limites et a proposé une méthode d'analyse qui pourra éventuellement surmonter certaines de ces limites. Pour autant, la recherche scientifique est toujours active dans la poursuite d'une approche permettant la prédiction des PEE.

5.2. Eradication

Bien qu'il soit admis que la prévention reste la meilleure solution contre les plantes exotiques envahissantes (Rejmánek, 2000; Touza & *al.*, 2008), il n'est pas réaliste de prévoir qu'une stratégie basée sur la prévention puisse réduire à zéro le risque d'introduction (Touza & *al.*, 2008). Une fois qu'une espèce arrive à surmonter les barrières de prévention, l'éradication devient le premier objectif dans la stratégie de gestion (Figure 3) (Genovesi, 2008). L'éradication signifie l'élimination complète et permanente de toutes les populations sauvages d'une plante exotique envahissante dans une zone définie. L'invasion des plantes exotiques envahissantes est caractérisée par une phase de latence qui précède la phase de propagation exponentielle (Figure 3) (Kowarik, 1995). Cette phase est reconnue comme la plus convenable pour l'éradication de l'espèce (Genovesi, 2008). En règle générale, l'éradication d'une espèce qui infeste moins d'un hectare est possible, car au-delà de cette valeur les coûts de cette opération augmentent remarquablement (Rejmánek & Pitcairn, 2002). La surveillance reste l'élément clé pour la réussite de l'éradication (Genovesi, 2008). L'éradication nécessite également la connaissance de la biologie de l'espèce cible, en particulier sa biologie de reproduction. La structure hiérarchique des différents acteurs concernés doit être aussi claire afin de permettre à un organisme de prendre toutes les mesures nécessaires, cela nécessite l'établissement des lois que ce soit à l'échelle nationale ou régionale (Genovesi, 2008). Les méthodes utilisées pour l'éradication des plantes exotiques sont multiples (mécanique, chimique ou biologique) (Genovesi, 2008).

5.3. Contrôle

La lutte biologique est considérée comme une alternative de l'éradication et entre dans les méthodes de contrôle (Myers & *al.*, 2000). La lutte biologique présente plusieurs avantages écologiques ou économiques, notamment la durabilité de la solution et la réduction de l'utilisation des herbicides (Babendreier, 2008). Cependant, les agents de lutte biologique n'arrivent pas toujours à s'établir dans leur nouvel environnement (Babendreier, 2008) et s'ils s'établissent, il y a toujours un risque que leur effet dépasse l'espèce cible et menace les espèces indigènes. Le contrôle implique aussi toutes les techniques de lutte (traitement chimique, physique, mécanique) qui peuvent être utilisées seules ou combinées selon les principes de la lutte intégrée. La lutte intégrée exige que toute action de gestion de cette catégorie de mauvaises herbes doit prendre en considération les foyers qui se trouvent dans les espaces publics et les régions non agricoles. Ces foyers constituent à leur tour des points de départ de l'invasion. Il ressort de ce qui précède qu'il existe de nombreux mécanismes et outils pour gérer, contrôler et même éviter l'invasion des plantes exotiques. Ce qu'il faut alors c'est une bonne planification, un soutien financier suffisant et une assistance politique et sociale adéquate pour gérer avec succès les plantes exotiques envahissantes (Nentwig, 2007).

5.4. Exemple de la morelle jaune

Toute stratégie qui vise le contrôle de cette plante exotique envahissante doit être basée sur la prévention et la lutte (Bouhache, 2010). La prévention reste limitée par les lois régissant le commerce

international. Cependant, les mesures de prévention proposées s'appliquent, pour plusieurs objectifs (pour empêcher: l'introduction, l'établissement ou la prolifération), dans différentes phases (avant transport dans la zone source d'infestation, au cours du transport et après introduction) et sur différentes échelles (continentale, régionale et locale), ce qui réduit l'impact de cette limite. La création du cadre légal est indispensable dans la prévention. Au Maroc, un arrêté gubernatorial (n° 2.00. 23/9/86) a été promulgué en 1986 dans la région du Tadla. Cet arrêté donne le statut de plante problématique à cette espèce, oblige les parties concernées à lutter contre cette espèce, interdit toute nouvelle introduction et définit les acteurs chargés de l'application de cet arrêté. Cependant, il lui manquait de préciser les mécanismes nécessaires à son application. D'autres types de législation sont appliqués, comme l'exigence de la Russie, l'Ukraine et la Belgique que les semences des plantes cultivées doivent être indemnes des semences de la morelle jaune (Brunel, 2011). En Australie, le statut de la morelle jaune change d'un état à l'autre selon le degré d'infestation, elle est déclarée comme plante interdite dans les états non infestés et cela implique une surveillance permanente et des mesures d'éradication dès qu'un foyer est détecté (Stanton & al., 2009). Les résultats de l'étude de Ben-Ghabrit & al. (2016) ont montré que les degrés d'infestation sont très variables entre les différentes régions du Maroc. Ces différences constituent une fenêtre d'espoir pour garder l'invasion de cette espèce sous contrôle et pour protéger le secteur agricole du Maroc. Étant donné que chacune des régions agricoles est sous la tutelle d'un office régional de mise en valeur agricole ou d'une direction provinciale d'agriculture, chaque office et/ou direction peut définir le statut de la plante selon le degré d'infestation. Les mesures de gestion changeraient alors d'une région à l'autre. Selon la même étude de Ben-Ghabrit & al. (2016), les trois régions classées dans la phase d'adaptation sont des candidates pour une action d'éradication, tout en prenant en considération la réduction des risques de nouvelles introductions en appliquant les recommandations de Taleb & al. (2007) et en assurant une surveillance permanente.

Des campagnes de sensibilisation sont indispensables pour vulgariser les différentes méthodes de lutte proposée par les chercheurs marocains et qui ont été résumées dans les publications de Bouhache & Ameer (1994), Ameer & al. (1999), Ameer & al. (2007), Baye & al. (2007) et Bouhache (2010). Ces méthodes doivent être appliquées dans les régions classées en début de la phase exponentielle et certaines régions au cours de la phase exponentielle afin de réduire progressivement l'invasion. L'élément clé dans la réussite du traitement chimique et même mécanique est le choix du stade d'application (Bouhache & al., 1993). Ces auteurs ont montré que l'application d'un herbicide foliaire systémique au stade fructification (baies vertes) donnera une efficacité maximale. D'autres facteurs doivent être pris en considération lors du choix des techniques de lutte comme la nature de site et le type de culture dans les champs cultivés.

D'une façon générale, les herbicides systémiques (comme ceux à base du glyphosate) semblent être les plus efficaces contre cette espèce, mais nécessitent des conditions d'application particulières et sont conseillés surtout en cas de forte infestation (Baye & al., 2007). Des méthodes de lutte mécanique ont été appliquées également et ont montré leur efficacité: l'utilisation du Sweep (lame sous forme de V) à une profondeur de 20 à 25 cm pendant les stades de floraison et de fructification peut réduire la densité de cette espèce de 80% et la production des fruits de 100%; le fauchage fréquent pendant l'initiation de la floraison et le pâturage dense ont prouvé aussi leur efficacité (Bouhache, 2010). La combinaison des méthodes de lutte mécanique et chimique est aussi utile et efficace dans le contrôle de la morelle jaune (Bouhache, 2010). La luzerne a des effets allélopathiques sur la morelle jaune (Bouhache & Assali, 1995), ce qui implique la possibilité d'utilisation de cette culture comme technique de lutte culturale (Baye & al., 2007).

Les régions fortement infestées, notamment le Tadla, nécessitent le développement d'une approche de gestion innovante (Ben-Ghabrit, 2019). La lutte biologique peut être utilisée dans une approche de lutte intégrée (Bouhache, 2010). Un nématode et 6 insectes ont été listés comme agents potentiels de lutte biologique (Neser & al., 1990). Olckers et Zimmerman (1991) ont publié une autre liste de 15 agents potentiels. Parmi tous ces agents, trois ont montré une spécificité à l'hôte, une adaptation au climat et aucun risque pour les autres espèces de genre *Solanum*: un nématode «*Orrina phyllobia* » et

deux coléoptères « *Leptinotarsa texana* et *Leptinotarsa defecta* » (Bouhache, 2010). *L. texana* semble être la plus adaptée et la plus efficace (Hoffman & al., 1998).

6. Conclusion

Il est admis que l'invasion des plantes exotiques envahissantes est l'un des grands défis face à l'agriculture et à l'environnement en général. En raison de la globalisation, de l'augmentation des échanges commerciaux internationaux et de la perturbation des écosystèmes qui en résultent, le phénomène de l'invasion biologique s'aggrave de plus en plus. Au Maroc, une liste de 31 plantes exotiques envahissantes a été établie. Outre les effets négatifs de l'invasion sur l'environnement, ceux sur le secteur agricole sont énormes, résultant en une augmentation importante des coûts de production et une sévère réduction des rendements en termes de quantité et de qualité. Cela représente une menace sérieuse pour le secteur agricole du pays. Il est donc fortement recommandé de valoriser les nombreux travaux réalisés par les chercheurs marocains sur cette thématique et d'en profiter pour établir un plan d'action visant à protéger le secteur agricole de cette catégorie de mauvaises herbes. Un plan qui s'articule essentiellement autour de deux axes: la gestion des 31 plantes exotiques envahissantes déjà existantes au Maroc et la prévention de nouvelles invasions biologiques. Cela nécessite la création d'un panel national composé de chercheurs (agronomes, biologistes, écologistes, économistes et juristes) et de professionnels du domaine agricole autour de la problématique des plantes exotiques envahissantes. Ce panel aura comme mission de: a) valoriser et synthétiser les travaux réalisés par les chercheurs marocains sur cette thématique, b) définir et développer des projets de recherches nécessaires autour de cette thématique, c) prioriser les procédures de gestion des plantes exotiques envahissantes, d) proposer un cadre législatif pour la gestion de l'invasion des espèces exotiques, e) proposer une organisation administrative pour la mise en application d'un plan d'action contre l'invasion des plantes exotiques et f) établir une liste de plantes de quarantaine pour la prévention de nouvelles invasions biologiques.

Références

- Ameur A., Baye Y., Bensellam E.H., El jadd L. & Zaki N. (1999) Synthèse des résultats de recherches sur la morelle jaune obtenus au périmètre du Tadla. INRA, CRRA du Tadla, Béni-Mellal, Volume IV, 146 p.
- Ameur A., Baye Y., Bouhache M., & Taleb A. (2007) Revue des moyens de lutte contre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) au Maroc. EPPO Bulletin, 37(1): 137-144.
- Arnold R.M. (1981) Population dynamics and seed dispersal of *Chaenorrhinum minus* on railroad cinder ballast. American Midland Naturalist, 106(1): 80-91.
- Babendreier D. (2008). Pros and cons of biological control. In: Biological invasions. Springer (ed), pp. 403-418, Berlin, Heidelberg.
- Baker H.G. (1974) The evolution of weeds. Annual review of ecology and systematics, 5(1): 1-24.
- Baye Y. & Bouhache M. (2007) Etude de la compétition entre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) et le maïs de printemps (*Zea mays* L.). EPPO Bulletin, 37(1): 129-131.
- Baye Y., Ameur A., Bouhache M. & Taleb A. (2007) Stratégie de lutte chimique contre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) au Maroc. EPPO Bulletin, 37(1): 145-152.
- Belmonte J. & Vilà M. (2004) Atmospheric invasion of non-native pollen in the Mediterranean region. American journal of botany, 91(8): 1243-1250.
- Ben-Ghabrit S. (2019) Dynamique et potentiel d'invasion d'une plante exotique envahissante: *Solanum elaeagnifolium* Cav., une solanaceae qui menace le secteur agricole du Maroc. Thèse de Doctorat, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 172 p.
- Ben-Ghabrit S., Bouhache M., Birouk A. & Bon M.C. (2016) Historique et caractérisation de l'invasion de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav. # SOLEL) au Maroc. Revue Marocaine de Protection de Plantes, 10: 37-56.
- Ben-Ghabrit S., Bouhache M., Birouk A. & Bon M.C. (2019) Macromorphological variation of the invasive Silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) and its relation to climate and altitude in Morocco. Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires, 7(2): 243-251.

- Binimelis R., Born W., Monterroso I., & Rodríguez-Labajos B. (2008) Socio-economic impact and assessment of biological invasions. In: Biological invasions, Springer (ed), pp. 331-347, Berlin, Heidelberg.
- Bouhache M. & Assali F. (1995) Effet allélopathique de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur la germination des graines de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). Deuxième congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 171-177.
- Bouhache M. & Taleb A. (2012) New developments on invasive plants species of Morocco. Presentation In: Hands-on training workshop for weed risk assessment and weed risk management. Amman, Jordan 22-26 April.
- Bouhache M. (2010) *Solanum elaeagnifolium* Cav.: a threat to agriculture and environment in Mediterranean region. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 1: 1-9.
- Bouhache M. (2021) Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes. Dar Al Qalam, 1ère édition, Rabat, 375 p.
- Bouhache M. & Ameur A. (1994) Synthèse des travaux effectués au Maroc sur la morelle jaune, Projet morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.), IAV Hassan II/INRA/DERD, Rabat, 130 p.
- Bouhache M., Boulet C. & El Karakhi F. (1993) Evolution des hydrates de carbone non structuraux chez la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). Weed research, 33(4): 291-298.
- Boukhris-Bouhachem S., Hullé M., Rouzé-Jouan J., Glais L. & Kerlan C. (2007) *Solanum elaeagnifolium*, a potential source of Potato virus Y (PVY) propagation. EPPO bulletin, 37(1):125-128.
- Boyd J.W., Murray D.S. & Tyrl R.J. (1984) Silverleaf nightshade, *Solanum elaeagnifolium*, origin, distribution, and relation to man. Economic botany, 38(2): 210-217.
- Brooks M.L. (2008) Effects of land management practices on plant invasions in wildland areas. In: Biological invasions, Springer (ed), pp. 147-162, Berlin, Heidelberg.
- Brooks M.L., D'antonio C. M., Richardson D.M. & al. (2004) Effects of invasive alien plants on fire regimes. AIBS Bulletin, 54(7): 677-688.
- Brunel S. (2011) Pest risk analysis for *Solanum elaeagnifolium* and international management measures proposed. EPPO Bulletin, 41(2): 232-242.
- Callaway R.M. & Ridenour W.M. (2004) Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. Frontiers in Ecology and the Environment, 2(8): 436-443.
- Carlton J.T. & Ruiz G.M. (2005) Vector science and integrated vector management in bioinvasion ecology: conceptual frameworks. In: Invasive Alien Species A new Synthesis, Mooney HA & al. (eds), pp. 37 – 58, Island Press, Washington, USA.
- Center T.D., Frank J.H. & Dray F.A. (1997) Biological Control. In: Strangers in paradise Impact and management of nonindigenous species in Florida, Island Press (ed), pp. 245-266, Washington, USA.
- Chafik Z., Taleb A., Bouhache M. & Berrichi A. (2013) Flore adventice des agrosystèmes du Maroc Oriental: cas du périmètre de la Moulouya. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 4: 27-44.
- Charles H. & Dukes J.S. (2008) Impacts of invasive species on ecosystem services. In: Biological invasions, Springer (ed), pp. 217-237, Berlin, Heidelberg.
- Clements D.R. & Ditommaso A. (2011) Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? Weed Research, 51(3): 227-240.
- Cuda J.P., Parker P.E., Coon B.R., Vasquez F.E. & Harrison J.M. (2002) Evaluation of exotic *Solanum* spp. (*Solanales: Solanaceae*) in Florida as host plants for the leaf beetles *Leptinotarsa defecta* and *L. texana* (*Coleoptera: Chrysomelidae*). Florida Entomologist, 599-610.
- Dassonville N., Vanderhoeven S., Vanparys V., Hayez M., Gruber W. & Meerts P. (2008) Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe. Oecologia, 157(1): 131-140.
- Elton C. (1958) The ecology of invasions by animals and plants. Methuen and Company, 1st Edition, London, 260 p.
- E.P.P.O. (2007) *Solanum elaeagnifolium*. Bulletin EPPO, 37: 236-245.

- Ganatsas P., Tsitsoni T., Tsakalimi M. & Zagas T. (2012) Reforestation of degraded Kermes oak shrublands with planted pines: effects on vegetation cover, species diversity and community structure. *New forests*, 43(1): 1-11.
- Genovesi P. (2008) Limits and potentialities of eradication as a tool for addressing biological invasions. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 385-402, Berlin, Heidelberg.
- Grinnell J. (1928) Presence and absence of animals. *Univ. California Chron.*, 30: 429-450.
- Hallman G.J. (2008) Phytosanitary measures to prevent the introduction of invasive species. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 367-384, Berlin, Heidelberg.
- Hamilton M.A., Murray B.R., Cadotte M.W. & al. (2005) Life-history correlates of plant invasiveness at regional and continental scales. *Ecol Lett*, 8: 1066-1074.
- Hare J.D. (1990) Ecology and management of the Colorado potato beetle. *Annual review of entomology*, 35(1): 81-100.
- Hejda M., Pyšek P. & Jarošík V. (2009) Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of ecology*, 97(3): 393-403.
- Hellmann J.J., Byers J.E., Bierwagen B.G. & Dukes J.S. (2008) Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation biology*, 22(3): 534-543.
- Hodkinson D.J. & Thompson K. (1997) Plant dispersal: the role of man. *Journal of Applied Ecology*, 1484-1496.
- Hoffmann J.H., Moran V.C. & Impson F.A.C. (1998) Promising results from the first biological control programme against a solanaceous weed (*Solanum elaeagnifolium*). *Agriculture, ecosystems & environment*, 70(2): 145-150.
- Horan R.D. & Lupi F. (2005) Tradeable risk permits to prevent future introductions of invasive alien species into the Great Lakes. *Ecological Economics*, 52(3): 289-304.
- Hufbauer R.A. & Torchin M.E. (2008) Integrating ecological and evolutionary theory of biological invasions. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 79-96, Berlin, Heidelberg.
- Hulme P.E. (2007) Biological invasions in Europe: drivers, pressures, states, impacts and responses. *Biodiversity under threat*, 25: 56-80.
- Hutchinson G.E. (1957) Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415-427.
- Knowler D. & Barbier E. (2005) Importing exotic plants and the risk of invasion: are market-based instruments adequate? *Ecological Economics*, 52(3): 341-354.
- Kowarik I. (1995) Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. In: *Plant invasions: general aspects and special problems*, pp. 15-38, Academic publishing, Amsterdam, The Netherlands.
- Kowarik I. (2003) Human agency in biological invasions: secondary releases foster naturalization and population expansion of alien plant species. *Biological invasions*, 5(4): 293-312.
- Kowarik I. & Von der Lippe M. (2008) Pathways in plant invasions. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 29-47, Berlin, Heidelberg.
- Kriticos D.J., Crossman N.D., Ota N. & Scott J.K. (2010) Climate change and invasive plants in South Australia. Report for the South Australian Department of Water, Land and Biodiversity Conservation. CSIRO Climate Adaptation Flagship, Canberra, Australia. 92 p.
- Kühn I. & Klotz S. (2008) From ecosystem invasibility to local, regional and global patterns of invasive species. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 181-196, Berlin, Heidelberg.
- Levine J.M. & D'Antonio C.M. (1999) Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos*, 15-26.
- Marais C., Van Wilgen B.W. & Stevens D. (2004) The clearing of invasive alien plants in South Africa: a preliminary assessment of costs and progress: working for water. *South African Journal of Science*, 100(1-2): 97-103.
- McAusland C. & Costello C. (2004) Avoiding invasives: trade-related policies for controlling unintentional exotic species introductions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(2): 954-977.
- McCanny S. J. & Cavers P. B. (1988) Spread of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) in Ontario, Canada. II. Dispersal by combines. *Weed Research*, 28(2): 67-72.

- McLain J., Castle S., Holmes G. & Creamer R. (1998) Physiochemical characterization and field assessment of Lettuce chlorosis virus. *Plant Disease*, 82(11): 1248-1252.
- Morales C.L. & Traveset A. (2009) A meta-analysis of impacts of alien vs. native plants on pollinator visitation and reproductive success of co-flowering native plants. *Ecology letters*, 12(7): 716-728.
- Myers J.H., Simberloff D., Kuris A.M., & Carey J.R. (2000) Eradication revisited: dealing with exotic species. *Trends in ecology & evolution*, 15(8): 316-320.
- Nentwig W. (2007) *Biological invasions*. Springer, Berlin, Heidelberg, 423 p.
- Neser S., Zimmermann H.G., Erb H.E. & Hoffmann J.H. (1990) Progress and prospects for the biological control of two *Solanum* weeds in South Africa. *Proceedings of the 7th International Symposium on Biological Control of Weeds*, pp. 371-381.
- Olckers T. & Zimmermann H.G. (1991) Biological control of silverleaf nightshade, *Solanum eleagnifolium*, and bugweed, *Solanum mauritanum*, (Solanaceae) in South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 37(1-3): 137-155.
- Panetta F.D. & Mitchell N.D. (1991) Bioclimatic prediction of the potential distributions of some weed species prohibited entry to New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 34(3): 341-350.
- Parendes L.A. & Jones J.A. (2000) Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the HJ Andrews Experimental Forest, Oregon. *Conservation Biology*, 14(1): 64-75.
- Parker I.M., Simberloff D., Lonsdale W.M. & al. (1999) Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. *Biological invasions*, 1(1): 3-19.
- Pauchard A. & She K. (2006) Integrating the study of non-native plant invasions across spatial scales. *Biological invasions*, 8(3): 399-413.
- Pejchar L. & Mooney H.A. (2009) Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in ecology & evolution*, 24(9): 497-504.
- Pimentel D., Lach L., Zuniga R. & Morrison D. (2000) Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience*, 50(1): 53-65.
- Pimentel D., McNair S., Janecka J. & al. (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84(1): 1-20.
- Pimentel D., Zuniga, R. & Morrison D. (2005) Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 52(3): 273-288.
- Pinar N.M. (2018) Urban landscape and pollen allergy. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C: Biology*, 27 (2): 120-125.
- Pyšek P. & Richardson D.M. (2008) Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand? In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 97-125, Berlin, Heidelberg.
- Pyšek P., Hulme P. E. & Nentwig W. (2009) Glossary of the main technical terms used in the handbook. In: *Handbook of alien species in Europe*, Springer (ed), pp. 375-379, Berlin, Heidelberg.
- Reaser J.K., Meyerson L. A., Cronk Q. & al. (2007) Ecological and socioeconomic impacts of invasive alien species in island ecosystems. *Environmental Conservation*, 34(2): 98-111.
- Rejmánek M. (2000) Invasive plants: approaches and predictions. *Austral. ecology*, 25(5): 497-506.
- Rejmánek M. & Pitcairn M.J. (2002) When is eradication of exotic pest plants a realistic goal. In: *Turning the tide: the eradication of invasive species*. IUCN (ed), pp. 249-253. New Zealand.
- Richardson D.M. & Van Wilgen B.W. (2004) Invasive alien plants in South Africa: how well do we understand the ecological impacts?: working for water. *South African Journal of Science*, 100(1-2): 45-52.
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D. & West C.J. (2000) Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions*, 6(2): 93-107.
- Scherer-Lorenzen M., Venterink H.O. & Buschmann H. (2008) Nitrogen enrichment and plant invasions: the importance of nitrogen-fixing plants and anthropogenic eutrophication. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 163-180, Berlin, Heidelberg.

- Simberloff D. & Von Holle B. (1999) Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? *Biological invasions*, 1(1): 21-32.
- Sinden J., Jones R., Hester S. & al. (2004) The economic impact of weeds in Australia. Technical Series n°8. CRC for Australian Weed Management (ed). Australia, 55 p.
- Stanton R.A., Heap J.W., Carter R.J., Wu H. & Panetta F.D. (2009) *Solanum elaeagnifolium* Cav. The biology of Australian weeds, 3: 274-293.
- Stanton R., Wu H. & Lemerle D. (2012) Factors affecting silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium*) germination. *Weed Science*, 60(1): 42-47.
- Tahri M. (1987) La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.): Contribution à l'étude de la biologie et du désherbage chimique dans le périmètre irrigué du Tadla. Mémoire de 3ème cycle Agronomie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat (Maroc).
- Taleb A. & Bouhache M. (2006) Etat actuel de nos connaissances sur les plantes envahissantes au Maroc. In: *Invasive Plants in Mediterranean Type Regions of the World*. Council of Europe Publishing (ed), pp. 99-107, Mèze, France.
- Taleb A., Bouhache M., Ameur A. & Baye Y. (2007) Etat actuel de l'infestation par la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) au Maroc. *EPPO Bulletin*, 37(1): 119-124.
- Tanji A. (2000) Mauvaises herbes du blé et de l'orge dans le périmètre du Tadla. *Al Awamia*, 102: 49-57.
- Tanji A. & Taleb A. (1997) New weed species recently introduced into Morocco. *Weed Research*, 37(1): 27-3.
- Tanji A., Boulet C. & Hammoumi M. (1985) Etat actuel de l'infestation par *Solanum elaeagnifolium* Cav. pour les différentes cultures du périmètre du Tadla (Maroc). *Weed Research*, 25(1): 1-9.
- Thévenot J. (2013) Synthèse et réflexions sur des définitions relatives aux invasions biologiques. Préambule aux actions de la stratégie nationale sur les EEE ayant un impact négatif sur la biodiversité. *Museum national d'Histoire naturelle, Service du Patrimoine naturel* (ed). Paris. 31p.
- Thuiller W., Richardson D.M. & Midgley G.F. (2008) Will climate change promote alien plant invasions? In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 197-211, Berlin, Heidelberg.
- Touza J., Dehnen-Schmutz, K. & Jones G. (2008) Economic analysis of invasive species policies. In: *Biological invasions*, Springer (ed), pp. 353-366, Berlin, Heidelberg.
- Tscheulin T., Petanidou T., Potts S.G. & Settele J. (2009) The impact of *Solanum elaeagnifolium*, an invasive plant in the Mediterranean, on the flower visitation and seed set of the native co-flowering species *Glaucium flavum*. *Plant Ecology*, 205(1): 77-85.
- Uludag A., Gbehounou G., Kashefi J. & al. (2016) Review of the current situation for *Solanum elaeagnifolium* in the Mediterranean Basin. *EPPO Bulletin*, 46(1): 139-147.
- Victoria D.P.I. (2010) Invasive plants and animals policy framework. Department of Primary Industries, Victoria (ed), Melbourne, 29 p.
- Vilà M., Basnou C., Pyšek P. & al., (2010) How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(3): 135-144.
- Whitney K. D. & Gabler C. A. (2008) Rapid evolution in introduced species, 'invasive traits' and recipient communities: challenges for predicting invasive potential. *Diversity and Distributions*, 14(4): 569-580.
- Williamson M. & Fitter A. (1996) The varying success of invaders. *Ecology*, 77(6): 1661-1666.
- Wilson J.R., Dormontt E.E., Prentis P.J., Lowe A.J. & Richardson D.M. (2009) Something in the way you move: dispersal pathways affect invasion success. *Trends in ecology & evolution*, 24(3): 136-144.
- Yaroshenko L.M. & Pylypenko L.A. (2013) Biological characteristics and pest risk analysis of silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* cav.) For Ukraine. *Plant Protection and Quarantine*, 59: 339-348.
- Zhu X., Weston P.A., Skoneczny D. & al. (2017) Ecology and genetics affect relative invasion success of two *Echium* species in southern Australia. *Scientific Reports*, 7: 1-12.

Troisième partie:

Bonnes pratiques de désherbage

Page laissée vierge

Utilisation des herbicides et environnement

Nouredine CHTAINA & Abderrahim HORMATALLAH

1. Bref historique des herbicides

Le désherbage chimique est pratiqué depuis très longtemps. Le contrôle sélectif des mauvaises herbes à feuilles larges dans les champs des céréales a été découvert en France à la fin des années 1800, et cette pratique s'est rapidement répandue dans toute l'Europe. Des sulfates et des nitrates de cuivre et de fer ont été utilisés, et l'acide sulfurique s'est avéré encore plus efficace. Par la suite, l'arsénite de sodium est devenu populaire à la fois comme herbicide et comme stérilisant du sol. Sur des milliers de kilomètres d'emprise ferroviaire et dans les plantations de canne à sucre et de caoutchouc sous les tropiques, cette matière active dangereuse était utilisée en quantités énormes, entraînant souvent l'empoisonnement des animaux et parfois des humains. L'année 1945 a été la clé du développement du désherbage chimique sélectif. En effet, le 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique), le 2,4,5-T (acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique) étaient sélectifs en application foliaire contre les mauvaises herbes à feuilles larges et l'IPC (isopropyl-N-phénylcarbamate) était sélectif contre les espèces de graminées lorsqu'il est appliqué à travers le sol (Stephenson & *al.*, 2001). Les années 50 ont été surtout marquées par le développement de molécules herbicides inhibitrices de la photosynthèse à savoir les urées substituées et les triazines. Durant les années 60, il y avait introduction des dinitroanilines (Parka and Soper, 1977). En 1974, vingt ans après sa découverte, le glyphosate a été commercialisé comme herbicide total. Durant les années 80, il y avait développement d'autres familles chimiques herbicides: les imidazolinones, les sulfonylurées, les pirimidinyloxybenzoates et les triazolopyrimidines.

2. Importance d'utilisation des herbicides au Maroc

2.1. Place des herbicides dans la consommation totale des pesticides au Maroc

Selon les données de Croplife Maroc de 2020, l'agriculture marocaine consomme environ entre 16016 et 25779 tonnes de pesticides (Figure 1). Il en ressort que les insecticides viennent en premier rang avec un pourcentage de 45%, suivi des fongicides avec 44%. La part des herbicides n'est que de 11%. Ceci peut être expliqué en partie par la nature des problèmes phytosanitaires qui se posent aux cultures qui sont à mettre en relation avec les conditions climatiques du Maroc. Mais aussi par le coût de la main d'œuvre qui est relativement faible et qui encourage les agriculteurs à pratiquer le désherbage manuel.

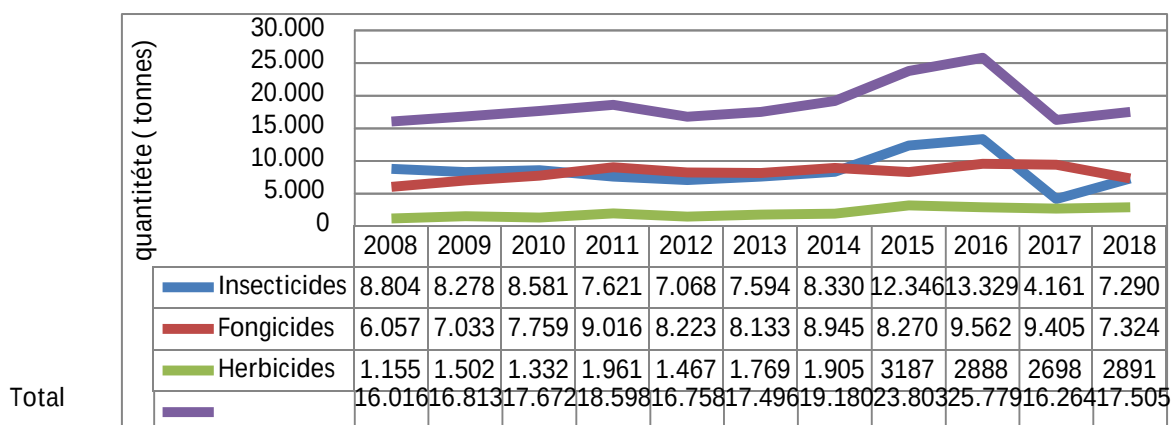


Figure 1: Evolution des quantités en tonnes (T) des pesticides importés au Maroc de 2008 à 2018 (Chtaina et Hormatallah, 2021).

2.2. Importance d'utilisation des herbicides sur les cultures au Maroc

Selon l'index phytosanitaire du Maroc (2022), 239 spécialités commerciales herbicides (sur un total de 1207 produits) sont homologuées sur les cultures pratiquées au Maroc dont plus de 50% sont représentées par les herbicides utilisés ou utilisables sur céréales (Tableau 1). Ces herbicides peuvent être catégorisés selon leur:

Sélectivité (herbicides totaux ou sélectifs),

Spectre d'action (anti graminées annuelles ou vivaces, anti dicotylédones annuelles ou vivaces, efficacité spécifique sur certaines espèces de mauvaises herbes),

Période d'utilisation: de pré semis, de prélevé ou pré-émergence, de post levé ou post émergence.

C'est ainsi que selon la sensibilité de la culture à la présence des mauvaises herbes notamment à certains stades de sa croissance et sur la base d'un inventaire de la flore adventice existante, une stratégie de lutte appropriée est élaborée. Le recours aux herbicides offre des avantages certes en matière de rapidité d'exécution, d'action, d'efficacité et de gain économique, mais depuis plusieurs années cette stratégie se heurte au développement de la résistance parfois multiple de certaines espèces de mauvaises herbes à certains herbicides. D'où la nécessité de gérer de manière rationnelle l'utilisation de ces herbicides afin de préserver leur efficacité (Bouhache, 2017).

Tableau 1: Importance des herbicides utilisés ou utilisables sur certaines cultures pratiquées au Maroc (Index phytosanitaire ONSSA, 2022).

Cultures	Nombre de spécialités commerciales herbicides homologuées (SC)	Principales matières actives entrant dans la composition des SC (utilisées seules ou en association)
Céréales (blés, maïs, triticales)	137	Pinoxaden, Florasulame; Sulfosulfuron; Pyroxsulame; Clodinafop-propargyl; 2,4-D -sel d'amine; 2,4-D - 2-éthylhexyl ester; 2,4-D -sel de diméthylamine; 2,4-D - ester isocytique; 2,4-D -ester butylglycol; 2,4-D; Prosulfocarbe, Diflufenican; Iodosulfuron-méthyl-sodium; Mefenpyr-diethyl; Mesosulfuron-méthyl; Halauxifène-Méthyle, Flufenacet; Flurtamone; Tribénuron-méthyle; Fluroxypyr; Dicamba -sel diméthylamine; Dicamba; Nicosulfuron; Metsulfuron-méthyle; pendiméthaline; Rimsulfuron; Amidosulfuron
Vergers (Agrumes, pommier, olivier, vigne)	30	Glyphosate; Glyphosate -sel d'isopropylamine, Glyphosate -acide; Saflufénacil; Oxyfluorène; Diflufenican; Indaziflame; Oxadiazon; Terbutylazine; Cycloxydime
Betterave à sucre	22	Clopyralid; Lenacile; Ethofumesate; Métamitron; Triflurosulfuron-méthyl; S-métolachlore; Carbétamide; Foramsulfuron; Thiencarbazone -méthyl; Quizalofop-P-Tefuryl; Cycloxydime; Quizalofop-P-éthyl; Propaquizafop; Fluazifop-P-butyl; Cléthodime; Haloxyfop-R-méthyl ester;
Pomme de terre	17	Métribuzine; Metobromuron; Prosulfocarbe; Cléthodime; Quizalofop-P-Tefuryl
Légumineuses (fève, féverole, haricot vert, pois chiche)	10	Pyridate; Clomazone; Pendiméthaline; Cycloxydime; Fluazifop-P-butyl; Bentazone, Imazamox; Aclonifene; Quizalofop-P-Tefuryl; Glyphosate -sel d'isopropylamine (fève/orobanche); Cléthodime

3. Homologation des herbicides

3.1. Procédure d'homologation des pesticides et cadre réglementaire

L'utilisation des pesticides et entre autres les herbicides peut engendrer des risques directs et/ou indirects pour l'homme, les animaux et l'environnement. Ces risques sont en fonction de la nature chimique toxique et écotoxique des produits. De ce fait, leur mise sur le marché est soumise à la réglementation en vigueur et aux procédures d'homologation qui visent d'une part à évaluer les risques liés au produit vis-à-vis de l'homme et de l'environnement et d'autre part à s'assurer de l'efficacité du produit pour l'utilisation envisagée (Chtaina, 2012). L'homologation est donc un processus par lequel les autorités nationales ou régionales compétentes approuvent la vente et l'utilisation d'un pesticide après examen de données scientifiques complètes démontrant que le produit contribue efficacement aux objectifs fixés et qu'il ne présente pas de risques inacceptables pour la santé humaine et animale ou pour l'environnement. Le processus peut donner lieu à une homologation qui peut être provisoire ou finale, avec ou sans restrictions ou conditions, ou à un refus d'homologation. Il est tout aussi important de savoir que l'homologation peut être annulée si de nouvelles informations justifient une telle mesure. La législation devrait prévoir la délivrance, de la part de l'autorité compétente, de permis pour l'utilisation expérimentale ou d'urgence de pesticides (FAO, 2010).

Au Maroc, l'importation, la fabrication, la détention en vue de la vente, la mise en vente ou la distribution même à titre gratuit des produits pesticides à usage agricole est soumise à l'obtention d'une attestation d'homologation ou, à défaut, d'une autorisation de vente délivrée par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime par le biais de l'Office National de Sécurité Sanitaire des produits Alimentaires (ONSSA) dans les conditions prévues par la loi 42-95 et de ses textes d'application. Créé le 1er janvier 2010 par la loi 25-08, l'ONSSA est un établissement public placé sous la tutelle du Ministère chargé de l'Agriculture et qui est doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Cette autorité exerce pour le compte de l'Etat Marocain, les attributions relatives à la protection de la santé du consommateur et à la préservation de la santé des animaux et des végétaux.

La demande et le dépôt du dossier d'homologation d'un pesticide à usage agricole (PUA) ne pourront s'effectuer qu'uniquement par les sociétés agréées pour exercer les activités de fabrication et/ou d'importation et de distribution des produits pesticides à usage agricole. Le dossier d'homologation, en trois exemplaires, constitué selon le référentiel pour la constitution du dossier de la demande d'homologation d'un produit pesticide à usage agricole nommé « REF/HP/05/14 » de l'ONSSA. Le déclarant doit respecter scrupuleusement, l'ordre des parties et des sections tel qu'il figure dans ledit référentiel, faute de quoi les dossiers d'homologation risquent d'être jugés incomplets ou non recevables. Tous les essais et analyses doivent être effectués conformément aux principes des bonnes pratiques de laboratoire (BPL) lorsqu'ils ont pour but de recueillir des données sur les propriétés intéressant la santé humaine et animale ou l'environnement et conformément aux principes des bonnes pratiques d'expérimentation (BPE) lorsqu'ils ont pour but de recueillir des données sur l'efficacité et/ou sélectivité du produit. Après le dépôt et la réception du dossier d'homologation ainsi que tous les documents et les données exigés par l'ONSSA, la Commission des Pesticides à Usage Agricole (CPUA) nommée par le décret n°2-01-1343 du 17 septembre 2001, va statuer sur l'une des décisions suivantes:

Homologation pour une période de 10 ans montrant que la conformité du produit aux exigences de l'efficacité et de l'innocuité. A la demande des requérants, cette période est renouvelable, après réexamen,

Autorisation de vente d'une durée de quatre ans pour la vérification de l'efficacité et/ou l'innocuité,

Maintien en étude sans autorisation de vente,

Refus d'homologation lorsque le produit n'est pas conforme aux exigences de l'efficacité et/ou l'innocuité.

3.2. Herbicides homologués au Maroc

Référence faite à l'index phytosanitaire Marocain de l'ONSSA (2022), les herbicides homologués au Maroc peuvent être classés en fonction des usages sur les cultures, de leur sélectivité (herbicides totaux ou sélectifs), de leur période d'utilisation (herbicides de pré levée ou pré émergence, herbicides de post levée ou post émergence).

A cause d'une utilisation répétée d'herbicides avec les mêmes sites d'action biochimiques (inhibition de la synthèse des acides aminés, inhibition de la synthèse des lipides, inhibition de la photosynthèse, perturbation de l'auxine (hormones), inhibition de la synthèse des pigments, inhibition de la division cellulaire, inhibition de la croissance...etc.), des résistances chez les adventices risquent de se développer. La résistance aux herbicides est une caractéristique héritable qui fait qu'une plante n'est plus contrôlée par un herbicide correctement appliqué. C'est ainsi qu'il a été créé une organisation internationale fondée et gérée par les fabricants d'herbicides qui réfléchit et communique sur la gestion de la résistance des adventices aux herbicides. Cette organisation est connue sous le nom de comité HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). Ce comité classe les herbicides dans des groupes selon leurs sites d'action biochimiques spécifiques avec pour chaque groupe une désignation propre (code HRAC). Cette classification permet de mettre en place des stratégies de prévention contre le développement de résistances spécifiques à chaque site d'action.

4. Evaluation à posteriori des risques des herbicides

Les herbicides qui chutent directement sur la surface du sol ou qui sont incorporés dans le sol peuvent être dégradés ou lessivés en profondeur du sol. Les processus de dégradation comprennent la dégradation biologique par les micro-organismes du sol et les transformations chimiques et photochimiques abiotiques. Le transport des herbicides dans le sol peut se produire vers les horizons inférieurs du sol (lessivage), à travers la surface du sol par de ruissellement des eaux ou dans l'air par volatilisation. On s'accorde très généralement sur le fait que l'impact environnemental d'un pesticide dépend du degré d'exposition des organismes non cibles par les traitements aussi bien terrestres qu' aquatiques résultant de sa dispersion et de sa concentration dans l'environnement (risques éco- toxicologiques) et de ses caractéristiques toxicologiques vis-à-vis des mammifères.

4.1. Dispersion des herbicides dans l'environnement

Dès leur application, les herbicides interagissent avec l'air, le sol et l'eau, où elles subissent des processus de volatisation, photolyse, rétention, dégradation et de transfert comme indiqué dans la figure 2 (Barriuso & *al.*, 1996). La dispersion des pesticides dans l'environnement est très complexe. Les mécanismes qui gouvernent leur devenir peuvent se classer en trois types: rétention, dégradation et transport. Les phénomènes de rétention (i.e. sorption) et de transformation (i.e. dégradation) des pesticides dans les sols sont des réactions qui affectent fortement leur mouvement à travers la zone insaturée du sol vers les eaux souterraines et de surface. Ils sont considérés comme des processus clés dans la compréhension du mouvement des herbicides.

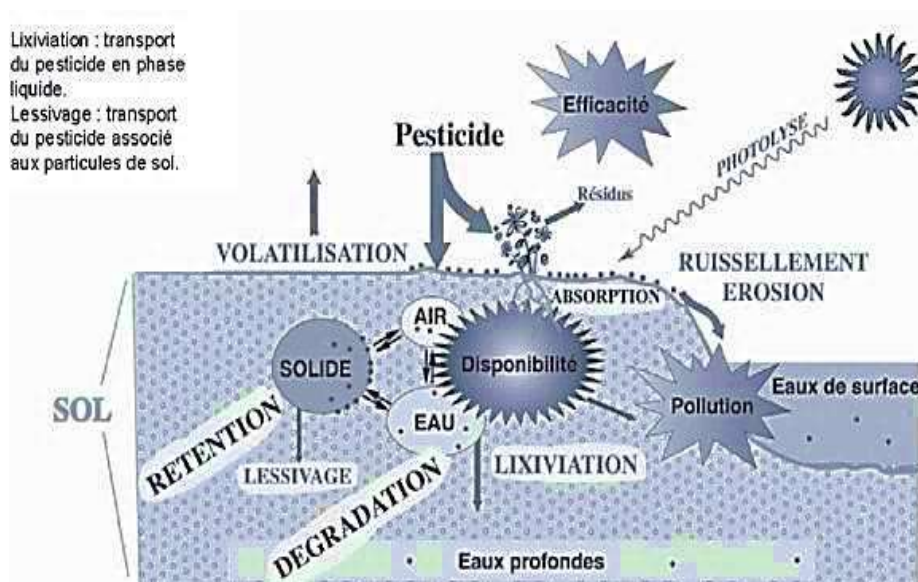


Figure 2: Comportement et dissipation des herbicides dans l'environnement.

4.1.1. Rétention des herbicides dans le sol

La rétention recouvre l'ensemble des phénomènes qui contribuent au passage des molécules de la phase liquide à la phase solide (Barriuso & *al.*, 2000). La rétention est majoritairement caractérisée par la sorption (Boivin, 2003). Par sorption, sont désignés généralement les mécanismes de l'adsorption/désorption dans la phase solide du sol. Selon Calvet (1989), l'adsorption d'un herbicide est définie comme le passage d'un soluté de la phase liquide, à la surface d'un adsorbant solide qui peut être la phase solide du sol et la matière organique dissoute présente dans la solution du sol. C'est un phénomène réversible. La désorption est le processus inverse. L'adsorption/désorption est un processus dynamique qui évolue dans le temps. Avec l'augmentation du temps de résidence, des liaisons se forment entre la matrice et les molécules et entraînent une diminution de la désorption voire l'irréversibilité de l'adsorption, ce qui pourrait entraîner la formation des résidus liés qui restent dans la matrice dans le sol, la plante ou un animal sous la forme originelle ou de métabolite (Gevao & *al.*, 2000; Barriuso & *al.*, 2008). Parmi les facteurs influençant la sorption, on cite:

Les propriétés de la molécule: la structure chimique, la polarité, la solubilité, le pKa et la taille de la molécule influencent la rétention des molécules dans le sol (Yaron, 1989; Bailey & White, 1970).

La nature du sol: la granulométrie et la structure du sol (matière organique, métaux, pH...) conditionnent la sorption des herbicides ainsi que leur mobilité dans le sol. Le degré d'adsorption de la matière active sur les colloïdes du sol (coefficient de partition liquide solide (K_d ml/g)) ou sur la fraction organique (K_{oc} ml/g)) et la fraction minérale (Argile) qui est un phénomène de retardement de la mobilité en profondeur des herbicides (Barriuso & *al.*, 2000; Calvet & *al.*, 2005) sont les principaux facteurs influençant la rétention des pesticides sur la phase solide du sol.

La température et l'humidité du sol: elles pourront influencer le partage des pesticides entre phases solides, liquides et donc l'adsorption-désorption.

4.1.2. Transformation des herbicides dans le sol

Un tel processus résulte des transformations abiotiques (physico-chimiques) ou biotiques (biologique). Ces modifications peuvent être partielles, par l'élimination d'un groupe fonctionnel ou complète

jusqu'à la production de molécules minérales (Calvet & *al.*, 2005). De nombreux microorganismes impliqués dans la dégradation des pesticides, les plus représentés sont les bactéries et les champignons. La dégradation est aussi influencée par différents facteurs associés aux propriétés de la molécule, aux populations de microorganismes et aux conditions du milieu (Navarro & *al.*, 2013). La dégradation chimique et microbiologique détermine la persistance des herbicides dans le sol. Cette persistance est exprimée par le temps de demi-vie en jours (DT50) (Craven et Hoy, 2005). En fonction de la cinétique de dissipation, il y a trois types de persistance à distinguer:

La persistance agronomique qui exprime le temps pendant lequel un herbicide exerce son efficacité et ou la phytotoxicité;

La persistance chimique qui détermine l'effet résiduel de produit;

La persistance environnementale basée sur l'observation d'effets sur les organismes non cibles et le milieu.

4.1.3. Volatilisation des herbicides

La volatilisation est le résultat de tous les processus qui mènent au transfert des pesticides à partir du sol ou des plantes dans la phase gazeuse atmosphérique (Bedos & *al.*, 2002). Elle dépend fortement des caractéristiques physico-chimiques de la molécule et des conditions à la surface du sol. Elle est généralement exprimée par le coefficient de Henry (KH), un coefficient de partage entre la phase vapeur et la phase liquide. KH correspond au rapport de la pression de vapeur sur l'hydrosolubilité du composé (S): $KH = P_{\text{vapeur}}/S$. Plus la valeur du KH est élevée, plus le produit a tendance à se volatiliser: les composés qui ont une constante de Henry supérieure à $10^{-5} \text{ Pa.m}^3/\text{mole}$ sont considérés comme volatils (Marliere, 2001).

4.1.4. Transfert des herbicides

Le transfert des pesticides peut se faire soit par ruissellement, soit par lixiviation en profondeur dans le sol de la zone insaturée vers la zone saturée (Corwin & *al.*, 1999). Le mouvement par lixiviation peut causer la pollution des eaux souterraines. L'importance de cette pollution dépendra entre autres des propriétés du pesticide, de celles du sol, de la vitesse d'infiltration et de l'épaisseur de la zone non saturée. Il est exprimé par l'indice d'ubiquité dans l'eau souterraine appelé « Groundwater Ubiquity Score » (GUS) qui relie la demi-vie des pesticides et le Koc par l'équation suivante (Gustafson, 1989):

GUS = log(DT50) (4-log(K_{oc})) avec:

DT50: en jours

K_{oc}: en litres/Kg

Le GUS a été utilisé pour déterminer quatre classes des produits en fonction de leur potentiel à se déplacer vers les eaux souterraines. Ces classes sont:

- GUS < 0: potentiel très faible
- 0 < GUS < 1,8: potentiel faible
- 1,8 < GUS < 2,8: potentiel moyen
- GUS > 2,8: potentiel élevé

Le tableau 2 décrit les paramètres physicochimiques et environnementaux qui régissent le comportement et le devenir de quelques herbicides dans le sol.

Tableau 2: Paramètres régissant la dispersion de quelques herbicides dans l'environnement (Pesticide Properties Database, 2022).

Matières actives herbicides	Solubilité at 20 °C (mg/l)	Coefficient d'adsorption K_{oc} (L/kg)	Temps de demi vie (typique) En jours	Indice de Gustafson	Pression de vapeur 20 °C (mPa)	Constante de Henry (Pa m ³ / mol)	Observations
2,4-D	24300	39.3	4.4	3.82		4.0×10^{-06}	Non persistant, très mobile dans le sol, volatilité très faible
Aclonifene	1.4	5318 – 10612	117	0.28	0.016	3.03×10^{-03}	Persistant, immobile dans le sol, transport sous forme liée aux particules est élevé, volatilité faible
Bentazone	7112	55.3	20	1.95	0.17	7.20×10^{-05}	Mobile dans le sol, Non persistant, non volatile,
Cléthodime	5450	2.71-43.17	0.55	1.26	2.08×10^{-03}	1.4×10^{-07}	Non persistant, faible lixiviation, volatilité faible
Clodinafop-propargyl	4	252-2364	0.8	-0.08	3.19×10^{-03}	2.79×10^{-04}	Mobilité dans le sol faible, volatilité faible
Cycloxydime	53	59	0.65	1.56	0.01	6.14×10^{-05}	Non persistant, mobilité dans le sol faible, volatilité faible
Cyhalofop butyl	180	186	0.71	-0.39	2.0×10^{-03}	2.41×10^{-09}	Non persistant, mobilité dans le sol moyenne, volatilité faible
Dicamba-sel diméthylamine [DMA]	250000	2.0-23.7	9.62	1.94	1.67	5.06×10^{-05}	Non persistant, très mobile, volatilité faible
Diflufenican	0.05	5504	94.5	1.19	4.25×10^{-03}	1.18×10^{-02}	Immobile dans le sol, persistance moyenne, faible lixiviation, volatilité faible
Ethofumesate	50	48-247	21.6	3.04	0.36	3.72×10^{-03}	Non persistant, lixiviation élevée, volatilité faible
Florasulame	6360	22.0	1.85	2.50	0.01	4.35×10^{-07}	Mobile, non persistant, volatilité faible
Florpyrauxifen-benzyl	0.011	32308	150	-0.76	3.2×10^{-02}	0.94	Immobile dans le sol, persistant dans le sol, lixiviation faible, volatilité faible

Tableau 2 (Suite)

Matières actives herbicides	Solubilité at 20 °C (mg l ⁻¹)	Coefficient d'adsorption Koc (L/kg)	Temps de demi vie (typique) En jours	Indice de Gustafson	Pression de vapeur 20 °C (mPa)	Constante de Henry (K_H) (Pa m ³ mol ⁻¹)	Observations
Fluazifop-P-butyl	1	3000	21	0.61	0.055	2.11×10^{-02}	Immobile, non persistant, volatilité faible
Flufenace ? (Flufenacet)	51	401	19.7	2.49	0.09	1.3×10^{-03}	Mobilité moyenne, non persistant, lixiviation intermédiaire, volatilité faible
Fluroxypyr	6500	51-81	13.1	1.03	0.0000038	1.69×10^{-10}	Mobile dans le sol, non persistant, lixiviation faible volatilité faible
Flurtamone	10.7	225-288	10.7	2.47	7.0×10^{-07}	2.03×10^{-08}	Mobilité moyenne, non persistant, lixiviation moyenne, volatilité faible
Glyphosate -sel d'isopropylamine :	1050000	1031-9615	16.11	0.21	0.007	4.6×10^{-10}	Immobile, non persistant lixiviation faible, volatilité faible
Haloxifène-Méthyle	1830	1417	1.3	1.64	1.5×10^{-06}	1.11×10^{-06}	Immobile dans le sol, non persistant, lixiviation faible, volatilité faible
Imazamox	626000	4.1-66.0	200.2	3.59	0.0133	4.9×10^{-12}	Très mobile, persistant, lixiviation élevée, volatilité faible
Iodosulfuron-méthyl-sodium	25000	50	6	1.79			Mobile dans le sol, non persistant, lixiviation faible
Lenacile	2.9	165	49.7	3.02	1.7×10^{-06}	1.3×10^{-07}	Mobilité moyenne, moyennement persistant lixiviation élevée, volatilité faible
Métamitron	1770	77.7	30	2.16	7.44×10^{-04}	8.95×10^{-08}	Mobilité moyenne, moyennement persistant, lixiviation faible, volatilité faible
Mesosulfuron-méthyl	483	26-345	43.5	3.85	1.10×10^{-06}	3.65×10^{-12}	Mobilité moyenne, moyennement persistant, lixiviation élevée, volatilité faible
Metsulfuron-méthyle	2790	4-207	10	3.28	1.40×10^{-06}	2.87×10^{-06}	Très mobile, non persistant, lixiviation élevée, volatilité faible
Nicosulfuron	7500	30	26	3.44	8.00×10^{-07}	1.48×10^{-11}	Mobile dans le sol, moyennement persistant, lixiviation élevée, Non volatile,
Oxyfluorène	0.116	2891-13711	35	0.23	0.026	0.02382	Immobile, moyennement persistant, lixiviation faible volatilité faible
Oxadiazon	0.57	3200	502	1.97	0.67	3.80×10^{-02}	Immobile, très persistant, lixiviation intermédiaire, Non volatile,
Pendiméthaline	0.33	17491	182.3	- 0.28	3.34	1.27	Persistant, immobile, lixiviation faible volatilité faible
Pinoxaden	200	-0.32	0.5	121-852	2.00×10^{-04}	9.20×10^{-07}	Mobilité moyenne, non persistant, lixiviation faible, volatilité faible

Tableau 2 (Suite)

Matières actives herbicides	Solubilité at 20 °C (mg/l)	Coefficient d'adsorption Koc (L/kg)	Temps de demi vie (typique) En jours	Indice de Gustafso n	Pression de vapeur 20 °C (mPa)	Constante de Henry (Pa m ³ /mol)	Observations
Penoxsulame	408	73.2	32	1.56	2.49×10^{-11}	2.94×10^{-14}	Mobile dans le sol, persistance moyenne, Faible lixiviation, volatilité faible
Pyroxsulame	3200	33.22	3.3	2.84	1.0×10^{-04}	6.94×10^{-07}	Mobile dans le sol, non persistant, lixiviation élevée, volatilité faible
Prosulfocarbe	13.2	1367-2339	11.9	0.76	0.79	0.0152	Immobile dans le sol, non persistant, lixiviation faible volatilité faible
Sulfosulfuron	1627	5.3 – 89.0	63.8	4.09	3.05×10^{-05}	8.83×10^{-09}	Mobile, persistance moyenne, lixiviation élevée, volatilité faible
Tribéuron-méthyle	2483	35	9.1	1.39	5.99×10^{-06}	1.00×10^{-08}	Mobile dans le sol, non persistant, faible lixiviation, volatilité faible
Thifensulfuron méthyle	54.1	28.3	1.39	3.05	5.19×10^{-06}	3.25×10^{-08}	Mobile dans le sol, non persistant, lixiviation élevée, volatilité faible
Quizalofop-P-éfuryl	3.13	477	0.2	-0.11	7.90×10^{-03}	9.0×10^{-04}	Mobilité modérée, non persistant, lixiviation faible, volatilité faible

4.2. Evaluation d'impact des herbicides sur la santé et l'environnement

Les effets secondaires des pesticides doivent être pris en considération dans le choix du pesticide lors d'une intervention phytosanitaire (Photo 1). Ceci est clairement illustré dans le cas des herbicides à large spectre, où l'élargissement de la gamme d'herbicides utilisés réduit l'abondance des espèces végétales non cultivées, réduisant la diversité des espèces, l'habitat et les ressources alimentaires pour les insectes, les oiseaux et les animaux. Au Maroc, l'utilisation d'herbicides est en augmentation surtout durant les années pluvieuses, en raison de l'augmentation des utilisations notamment sur les céréales, la betterave à sucre, l'arboriculture fruitière, etc. Seulement, il faut noter que les quantités d'herbicides utilisées ne reflètent en aucun cas ni le risque potentiel de pollution des différents compartiments de l'environnement (sol, eau, air) et leurs effets toxicologiques et éco-toxicologiques. En effet, le risque est toujours lié à la dangerosité de la molécule herbicide ainsi qu'à la durée de son exposition. Cependant, il existe une multitude de données sur l'impact toxicologique et éco-toxicologique de la plupart des herbicides utilisés en agriculture. De telles données sont obtenues en grande partie suite au processus d'homologation des pesticides. Cependant, ces données ne sont pas toutes facilement disponibles ou utilisées par les professionnels pour bien justifier le choix du produit à utiliser. A cet effet, de nombreux indicateurs d'évaluation ont été développés dont le quotient d'impact environnemental (ou Environnemental Impact Quotient (EIQ)) (Hayo Van der Wer, 1997).



Photo 1: Effet résiduaire de metsulfuron (utilisé sur le précédent blé) sur la levée de la betterave à sucre (en bas à droite) et betterave après l'oignon (en haut à gauche) aux Doukkala (Photo Prof. Ezzahiri- IAV Hassan II).

4.2.1. Quotient d'Impact environnemental (QIE ou EIQ)

"Existe-t-il un indicateur de risque de l'utilisation des pesticides qui soit précis, simple à utiliser et facile à comprendre ?" À ce jour, le meilleur indicateur disponible est l'EIQ proposé par Kovach & *al.* (1992). Le QIE est un outil pour décrire les effets nocifs des pesticides sur le personnel agricole, sur le consommateur et sur l'environnement. Son calcul fait intervenir un grand nombre de catégories de risques pour l'environnement. Les trois composantes (personnel, consommateur, environnement) ont le même poids dans le calcul du QIE. Au sein de chacune, les catégories de risque individuelles sont multipliées par 5, 3 ou 1 en fonction de leur importance présumée. Une règle prévaut dans ce calcul: le potentiel d'impact d'un pesticide donné pour une catégorie de risque est égal à la toxicité du pesticide multipliée par son potentiel de contamination (par ex.: potentiel de lixiviation ou demi-vie à la surface de la plante). Illustrons par un exemple la démarche de Kovach: le risque pour le personnel est la somme de l'exposition au traitement (toxicité aiguë par voie cutanée X 5) et de l'exposition pendant la

récolte (toxicité aiguë par voie cutanée multipliée par la demi-vie sur le feuillage) multipliée par les effets à long terme (toxicité chronique). Le quotient d'impact environnemental représente donc la somme des effets sur l'ouvrier agricole, le consommateur et l'environnement. Il est exprimé par:

$$\text{EIQ} = \frac{(C(DT*5) + (DT*P)) + [(C*(S+P)^2*SY) + (L)] + [(F*R) + (D*(S+P)/2*3) + (Z*P*3) + (B*P*5)]}{3}$$

DT = Toxicité dermale ou cutanée (mg kg⁻¹)
 C = Toxicité chronique (mg kg⁻¹ de poids vifs et par jour)
 SY = Systémicité
 F = Toxicité vis-à-vis des poissons (mg l⁻¹)
 L = Potentiel de lessivage
 R = Potentiel des pertes de surface
 D = Toxicité vis-à-vis des oiseaux (mg kg⁻¹)
 S = Demi vie dans le sol (en jours)
 Z = Toxicité vis-à-vis des abeilles (µg par abeille)
 B = Toxicité vis-à-vis des arthropodes bénéfiques
 P = Demi-vie à la surface de la plante

Chaque composante de l'équation reçoit un poids égal dans l'analyse finale, mais au sein de chaque composante, les facteurs individuels sont pondérés. Des coefficients sont utilisés dans l'équation pour donner un poids supplémentaire aux facteurs individuels qui sont également basés sur une échelle de 1 à 5. Les facteurs ayant le plus de poids sont multipliés par cinq, les facteurs d'impact moyen sont multipliés par trois et les facteurs considérés comme ayant le moins d'impact sont multipliés par un. Une règle constante dans tout le modèle est que le potentiel d'impact d'un pesticide spécifique sur un facteur environnemental individuel est égal à la toxicité du produit chimique multipliée par le potentiel d'exposition. En termes simples, l'impact environnemental est égal à la toxicité multipliée par l'exposition. Par exemple, la toxicité pour les poissons est calculée en déterminant la toxicité inhérente du composé pour les poissons multipliée par la probabilité que les poissons soient exposés au pesticide. De cette manière, les composés qui sont toxiques pour les poissons mais à persistance courte ont des valeurs d'impact plus faibles que les composés qui sont toxiques et à longue durée de vie. Le tableau 3 présente le quotient d'impact environnemental (EIQ) de quelques substances actives herbicides. Un calculateur EIQ a également été développé pour aider les utilisateurs à calculer les valeurs EIQ d'utilisation sur le terrain (EIQ- au champ) et faciliter la comparaison des options et des systèmes de lutte antiparasitaire (<https://nysipm.cornell.edu/eiq/>). Une fois qu'une valeur EIQ a été établie pour une substance active pesticide (SA), le quotient EIQ relative à l'utilisation sur le terrain peut être calculé selon la formule:

$$\text{EIQ-au champ} = \text{EIQ} \times (\% \text{ de substance active}) \times \text{dose d'utilisation (quantité de produit commercial/unité de surface)}.$$

La dose, la formulation ou le pourcentage de SA du produit et la fréquence d'application de chaque pesticide doivent être pris en compte. L'EIQ-au champ a été développé pour tenir compte de différentes formulations de la même SA et de différents modes d'utilisation. Ceci permet de comparer les spécialités commerciales et les stratégies phytosanitaires. Quand le EIQ- au champ:

- < 25: très faible
- < 50: faible
- 50-100: modéré
- > 100: élevé
- > 150: très élevé

Tableau 3: Quotient d'impact environnemental (EIQ) de quelques substances actives d'herbicides (Kovach & *al.*, 1992).

Substance active herbicide	Effet sur applicateur	Effet sur Cueilleur	Effet sur Consommateur	Lessivage en profondeur	Effet Aquatique	Effet sur Oiseaux	Effet sur Abeilles	Effet sur arthropodes Bénéfiques	Composante Ouvriers agricoles	Composante consommateur	Composant e écologique	EIQ
2,4 D (acide)	45,0	27,0	6,0	3,0	1,0	18,0	9,0	60,0	72,0	9,0	88,0	56,3
Bentazone	15,0	9,0	6,0	5,0	3,0	18,0	9,0	51,0	24,0	11,0	81,0	38,7
Fluazifop-P-butyl	25,0	15,0	10,0	1,0	15,0	6,0	9,0	51,0	40,0	11,0	81,0	44,0
Glyphosate	10,0	6,0	6,0	1,0	15,0	9,0	9,0	41,3	16,0	7,0	74,3	32,4
MCPA	20,0	12,0	8,0	1,0	3,0	6,0	9,0	51,0	32,0	9,0	69,0	36,7
Metribuzine	5,0	3,0	3,0	5,0	3,0	27,0	9,0	51,0	8,0	8,0	90,0	35,3
Oxyfluorène	125	7,5	7,5	1,0	25,0	27,0	9,0	51,0	20,0	8,5	1120	46,8
Phenmédiphane	7,5	4,5	4,5	1,0	120	13,5	9,0	40,1	120	5,5	74,6	30,7
Linuron	10,0	6,0	6,0	3,0	9,0	27,0	9,0	51,0	16,0	9,0	96,0	40,3
Nicosulfuron	7,5	4,5	0,0	5,0	3,6	6,0	9,0	51,0	120	5,0	69,6	28,9
Pendiméthaline	125	2,5	7,5	1,0	25,0	9,0	3,0	17,0	15,0	8,5	54,0	25,8

4.3. Substance actives herbicides retirées au Maroc

Généralement, l'interdiction appuyée par des études scientifiques de certaines substances pesticides dont les herbicides dans l'Union Européenne s'ensuit par un retrait de ces substances du marché marocain. En effet, le Maroc réalise les deux tiers de son commerce extérieur avec l'Europe. De même, la réglementation des pesticides a été revue de sorte à se rapprocher de la réglementation européenne. La nouvelle loi 34-18 qui va abroger la loi N°42-95 une fois qu'elle entre en application a vu le jour dans le cadre d'un projet avec l'UE. Le tableau 4 représente les substances actives herbicides retirées au Maroc.

Tableau 4: Herbicides retirés du marché au Maroc depuis 2005 à 2021 (Anonyme, 2021).

Substance active	Date de retrait	Raisons avec appui d'études scientifiques
Atrazine	31/3/ 2005	Suite à l'interdiction en 2003 dans l'Union européenne à cause des problèmes de pollution des eaux souterraines. En plus, le produit est écotoxique.
Paraquat uniquement les préparations contenant une concentration supérieure ou égale à 200 g/L	03/05/2017	Toxicité de la substance provoquant des lésions dégénératives du système nerveux analogues à celles de la maladie de Parkinson et inhibant le développement et le fonctionnement du cerveau et de la moelle épinière.
Préparation contenant le glyphosate en association avec le co-formulant POE-Tallowamine	12/01/2018	Substance probablement cancérigène pour l'homme.
Amitrole	12/01/2018	Cancérigène probable chez l'humain, Perturbateur endocrinien potentiel
Linuron	11/08/2020	Classée parmi les produits cancérigène, mutagène et reprotoxique.
Diquat	26/3/2021	Perturbation du système hormonal des personnes exposées au produit et dérèglement des cycles naturels de reproduction des animaux et des mammifères.
Paraquat	26/3/2021	Soupçonné d'avoir un lien avec la maladie de Parkinson.
Glufosinate ammonium	26/03/2021	Reprotoxique, accélération de lésions neurologiques graves, qui augmentent le risque de maladies du Parkinson et Alzheimer.

5. Conclusion

Les pesticides sont utilisés pour protéger les cultures contre leurs ennemis dont les mauvaises herbes. Leur usage permet aux cultures d'exprimer leurs productions potentielles. De ce fait, l'agriculture marocaine a consommé environ entre 16016 et 25779 tonnes de pesticides par an durant la période de 2008 à 2018. Certes, une spécialité commerciale pesticide dont les herbicides au Maroc n'est autorisée que si elle satisfasse, à côté de ses performances biologiques, toutes les exigences sur le plan toxicologique, écotoxicologiques. Au Maroc, l'importation, la fabrication, la détention en vue de la vente, la mise en vente ou la distribution même à titre gratuit des produits pesticides à usage agricole est sujette à l'obtention d'une attestation d'homologation ou, à défaut, d'une autorisation de vente

délivré par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime par le biais de l'Office National de Sécurité Sanitaire des produits Alimentaires (ONSSA) dans les conditions prévues par la loi 42-95 et de ses textes d'application. Cependant, il y'a un suivi de post homologation et la réglementation prévoit la réévaluation et le retrait de toute spécialité pesticide dans le cas ou son utilisation à grande échelle en agriculture dans des régions agricoles différentes engendre des problèmes d'ordre environnemental ou présente un risque pour la santé des applicateurs ou des consommateurs.

Références

- Anonyme (2021) Liste des matières actives retirées au Maroc. ONSSA. <http://eservice.onssa.gov.ma/Docs/MATIERES%20ACTIVES%20RETIRES%20ONSSA%20FINAL%20-%202001-02-2019-01-02-2019%2015-06-25.pdf>
- Barriuso E., Calvet R., Schiavon M. & Soulas G. (1996) Les pesticides et les polluants organiques des sols: Transformations et dissipation. *Etudes et Gestion des Sols*, numéro spécial: Le sol, un patrimoine menacé. 3/4: 279-295.
- Bailey G.W. & White J.L. (1970) Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soil. *Residue reviews*, 32: 29-92.
- Barriuso E., Soulas G. & Schiavon M. (2000) "Rétention et dégradation des pesticides dans le sol." *Hydrogéologie*, 1: 49-56.
- Barriuso E., Benoit P. & Dubus I.G. (2008) Formation of pesticide non extractable (bound) residues in soil: Magnitude, controlling factors and reversibility. *Environmental Science & Technology*, 42(6): 1845-1854.
- Bedos C., Cellier P., Calvet R., Barriuso E. & Gabrielle B. (2002) Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview, *Agronomie*, 22: 21-33.
- Boivin A. (2003) Disponibilité Spatio-temporelle et Transfert des pesticides dans les Sols. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France. 228 p.
- Bouhache M. (2017) Mélange extemporané des herbicides: atouts et risques. *Agriculture du Maghreb*, N°101: 48-50.
- Calvet R. (1989) Adsorption of organic chemicals in soils. *Environmental. Health Perspectives*, 8:145-177.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P. & Coquet Y. (2005) Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales. France Agricole Editions.
- Chtaina N. (2012) Procédures d'homologation et inspection de contrôle à l'importation des pesticides. Rapport final de la consultation FAO, Projet TCP/MOR/3303, 57 p.
- Chtaina N. & Hormatallah A. (2021) Le secteur des pesticides au Maroc: Enjeux, Défis et Perspectives. *Dar Al Qalam*, Rabat, 299 p.
- Corwin D. L., Loague K. & Ellsworth T.R. (1999) Introduction assessing non point source pollution in the vadose zone with advanced information technologies. In: *Geophysical Monograph Series*, Corwin L., Loague K. & Ellsworth R. (Eds.), volume 108, pp. 1-20). American Geophysical Union, Washington D.C., USA.
- Craven C. & Hoy S. (2005) Pesticides persistence and bound residues in soil – regulatory significance. *Environmental Pollution*, 133: 5-9.
- FAO (2010) Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Directives pour l'homologation des pesticides. <https://www.fao.org/3/ca8116fr/CA8116FR.pdf>
- Gevao B., Semple K.T. & Jones K.C. (2000) Bound pesticide residues in soils: a review. *Environmental Pollution*, 108(1): 3-14.
- Gustafson D.I. (1989) Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environ Toxicol Chem*, 8: 339-357.
- Hayo M. G. van der Werf (1997) Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°31, 22 p.
- HRAC, Classification of herbicides According to Mode of Action, <http://www.plantprotection.org/HRAC/>
- Index phytosanitaire du Maroc (2021) Pesticides à usage agricole. Site de l'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts. <http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx>

- Kovach J., Petzoldt C., Degni J. & Tette J. (1992) A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences Bulletin, 139: 1-8.
- Marliere F. (2001) Pesticides dans l'air ambiant, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS), 1-56.
- Navarro S., Vela N. & Navarro G. (2013) An overview on the environmental behavior of pesticide residues in soils. Spanish Journal of Agricultural Research, 5(3): 357-375.
- Parka S.J. & Soper O.F. (1977) The physiology and mode of action of the dinitroaniline herbicides. Weed Sciences, 25 (1): 79-87.
- Pesticide Properties Database (2022) University of Hertfordshire, UK.
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>
- Stephenson G.R., Solomon K.R., Frank R., Hsiung T. & Thompson D.G. (2001) Pesticides in the Environment. Section 3. (Guelph, ON: University of Guelph), 1-12.
- Yaron B. (1989) General principles of pesticide movement to groundwater. Agriculture, Ecosystems & Environment, 26 (3-4): 275-297.

Page laissée vierge

Bonnes pratiques en matière d'utilisation des herbicides

Mohamed MIHI

1. Introduction

Au Maroc, depuis quelques années on constate que le recours au désherbage chimique a pris une grande part de l'activité de protection des cultures contre les mauvaises herbes chez un grand nombre de fermiers-producteurs. Cet appel aux désherbants chimiques, qui a pris le dessus aux opérations de désherbage manuel et mécanique qui étaient les solutions les plus pratiquées (Qorchi, 1987), a fait apparaître des situations qui étaient inconnues auparavant.

De l'avis de tous les spécialistes intervenants dans le secteur de la protection des plantes la gestion et la maîtrise des adventices au niveau des cultures (grandes cultures et plantations) reste un handicap majeur pour beaucoup d'utilisateurs des herbicides (El Antri, 1987; Dahhane, 1995; Tanji, 1996). Parmi les remarques reçues et faites souvent par l'agriculteur-utilisateur: le produit que j'ai l'habitude d'utiliser a perdu de son efficacité ou je me suis fait avoir par le revendeur qui m'a vendu un produit « falsifié » (Observation personnelle). D'où l'importance de l'une de mes suggestions qui consiste à mettre en place un cursus de formation pratique avec une certification des applicateurs et qui doit être la règle chez tous les utilisateurs des produits de protection des cultures notamment les pesticides (herbicides dans ce cas); et mettre en pratique le système d'enregistrement des opérations phytosanitaires et d'archivage de ces documents pour un retour intelligent en cas de problème lié au manque d'efficacité ou d'apparition d'une nouvelle résistance d'une espèce de mauvaise herbe (Voir le modèle du registre proposé par l'ONSSA-Registre d'entretien et de gestion des produits primaires d'origine végétale in <http://www.onssa.gov.ma>).

L'objectif de cet article est de mettre à la disposition des conseillers, des utilisateurs des produits phytosanitaires et des applicateurs les éléments indispensables à prendre en considération avant toute action ou tout programme de gestion des mauvaises herbes là elles se trouvent (Photos 1 et 2).



Photos 1 et 2: Infestation des jeunes plantations d'agrumes au Loukkos (à gauche) et de vigne à la Mouloya (à droite, Photo Chafik).

2. But et exigences de la lutte chimique

Une application réussie d'un herbicide est appréciée par une bonne efficacité reconnue et par une destruction la plus complète possible des mauvaises herbes visées suite à la pulvérisation du produit utilisé (Severin et Tissut, 1991). A côté de l'efficacité, d'autres appréciations sont également recherchées telles que:

- Action rapide et durable du produit,
- Absence d'effet négatif sur la culture (sélectivité) et son environnement (culture voisine par exemple...),
- Absence de résidus de la substance active qui affecterait la culture suivante,
- Acquisition à un coût acceptable.

En plus de but, la lutte chimique a aussi des exigences (Simon & al., 1994). Ainsi, dans le cadre de la préparation de l'opération de désherbage chimique, il est recommandé de procéder de la façon suivante:

- Organisation de l'opération (évaluation du niveau d'infestation et de l'espèce (s) problématique(s)),
- Connaissance et compréhension des mécanismes de pénétration et d'action des herbicides,
- Bonne mise en œuvre de la substance active.

3. Démarche générale applicable sur le terrain

La réussite d'une opération de désherbage chimique d'une culture exige une démarche pratique ou applicable sur le terrain (Severin et Tissut, 1991). Une telle démarche nécessite la considération des actions suivantes:

- Décision de traitement,
- Choix d'un produit ou d'un mélange de produits,
- Détermination de la dose d'application,
- La date et le stade d'intervention: de nombreux avantages sont obtenus quand on intervient sur des adventices jeunes. Le maximum d'efficacité des herbicides est assuré en intervenant sur des adventices plus sensibles. Une intervention précoce de désherbage permet d'éliminer la concurrence des adventices le plus tôt possible et de préserver ainsi le rendement notamment des cultures annuelles,
- Le matériel d'application adapté (spécialement le choix des buses adaptées au désherbage),
- Respect de certaines conditions de traitement: climat, risque de phytotoxicité, rémanence du produit au niveau de la plante et du sol ou risque de résistance possible.

4. Choix de l'herbicide et mise en œuvre de techniques de lutte

L'opération revêt une importance capitale; d'où l'intérêt de consulter une source fiable comme l'index de l'ONSSA (<http://www.onssa.gov.ma>) ou l'index phytosanitaire Maroc de l'AMPP (Ezzahiri & al., 2017) afin de s'assurer de la liste des herbicides homologués pour l'usage envisagé et sur la culture visée; ce qui permet de choisir l'herbicide conseillé pour contrôler l'infestation des mauvaises herbes constatée sur le terrain. D'autres facteurs sont pris en considérations dans ce choix notamment:

- Identification au préalable des mauvaises herbes préjudiciables à prendre en compte dans le choix de l'herbicide,
- Choix de la substance active reconnue performante contre l'espèce dominante ou les espèces présentes,
- Prise en considération du mode d'action de l'herbicide choisi.
- La mise en œuvre d'une technique de lutte ne peut pas répondre à un schéma unique de désherbage, mais constitue une prise de décision complexe qui dépend de (Ctifl, 1989):

l'état d'enherbement potentiel ou en présence (espèces des mauvaises herbes, stade de développement),
la culture (pure ou associée),
l'itinéraire technique pratiqué,
contraintes de calendrier cultural,
l'état de surface de la parcelle (type de sol, mode de travail du sol, humidité),
l'équipement disponible,
des aspects économiques (rentabilité de l'opération, disponibilité monétaire),
des possibilités d'approvisionnement pour les herbicides.

Dans le cas de cultures associées, le facteur essentiel est la sélectivité des herbicides employés vis-à-vis de toutes les cultures de l'association. Il faudra donc, parmi les herbicides utilisables sur l'une ou l'autre des cultures, vérifier qu'il en existe au moins un qui soit bien sélectif de chacune des cultures à la dose employée en fonction des périodes d'application et des stades de développement des plantes cultivées.

4.1. Composition de l'herbicide

Etant un pesticide, un herbicide correspond d'abord au nom commercial du produit commercialisé par un distributeur ou un fabricant. Ce produit commercial ou spécialité commerciale se compose de deux types de constituants: les matières actives qui lui confèrent son activité biologique (herbicide) et les formulants qui complètent la formulation.

Les formulants sont soit des charges ou des solvants qui n'ont qu'un rôle de dilution des matières actives, soit des produits qui améliorent la préparation pour sa qualité:

- la stabilité (émulsifiant, dispersif, etc.),
- la présentation (colorant, parfum, répulsif, etc.),
- la facilité d'emploi (vomitif, etc.),
- le comportement physique lors de la pulvérisation (mouillant, adhésif, etc.),
- l'activité biochimique (surfactant, phytoprotecteur (safener)).

La formulation correspond à la forme physique sous laquelle le produit phytopharmaceutique est mis sur le marché; obtenue par le mélange des matières actives et des formulants,. Elle se présente sous une multitude de formes, solides ou liquides. Les plus couramment répandues sont les suivantes:

pour les formulations solides:

- les granulés solubles (abréviations: SG),
- les poudres mouillables (WP),
- les granulés dispersibles (WG).

pour les formulations liquides:

- les concentrés solubles (SL), composés de produits solubles dans l'eau,
- les concentrés émulsionnables (EC), composés de produits liquides en émulsion dans le produit,
- les suspensions concentrées (SC), appelées (parfois flow de l'anglais flowable), composées de particules solides dispersées dans le produit.

Le type de formulation a une grande importance dans la manipulation des produits: fabrication, transport, stockage et préparation des bouillies. Par exemple, les suspensions concentrées auront tendance à se sédimenter au cours du temps et il sera indispensable de les agiter avant l'emploi.

Les herbicides sont des substances ayant la capacité d'éliminer les adventices (ou mauvaises herbes) dont leur emploi ne se limite pas au domaine agricole, mais ils sont appliqués aussi pour d'autres usages comme le nettoyage des voies et autour de certains bâtiments ou espaces envahis par les mauvaises herbes notamment. Parmi l'arsenal des molécules actives à effet herbicide existant actuellement sur le marché certaines exercent un désherbage total et d'autres un désherbage sélectif. Celles à effet total éliminent toute la végétation qui leur est exposée tandis que les molécules

sélectives n'éliminent en général qu'une partie ou presque la totalité des mauvaises herbes sensibles sans pour autant affecter grandement les cultures. Ce dernier type d'herbicides est le plus utilisé en agriculture.

4.2. Mode d'action des herbicides

Bien que le mode d'action d'un herbicide soit l'ensemble de phénomènes qui concourent à l'arrêt de croissance ou à la destruction d'une plante traitée avec un herbicide auquel elle est sensible, pratiquement les herbicides sont distingués sur la base de leur voie de pénétration dans les végétaux et de leur déplacement dans la plante (Mihi, 1987; Scalla, 1991; Simon & *al.*, 1994; Tanji, 1996; Ezzahiri & *al.*, 2017):

herbicides à pénétration racinaire: appliqués sur le sol, ils pénètrent par les organes souterrains des végétaux (racines, graines, plantules); ce sont des herbicides utilisés en traitements de pré-levée, effectués avant la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe),

herbicides à pénétration foliaire: appliqués sur le feuillage, ils pénètrent par les organes aériens des végétaux (feuilles, pétioles, tiges); ce sont des herbicides utilisés en traitements de post-levée, effectués après la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe),

herbicides de contact: herbicides qui agissent après pénétration plus ou moins profonde dans les tissus, sans aucune migration d'un organe à un autre de la plante traitée,

herbicides systémiques: herbicides capables d'agir après pénétration et migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

Une fois dans la plante, les herbicides agissent sur différents processus de croissance et de développement des plantes traitées. Ainsi, ils perturbent le fonctionnement de:

la physiologie de la plante: la photosynthèse ou la perméabilité membranaire;

la croissance: la division cellulaire, l'élongation, etc.;

la bio-synthèse des constituants cellulaires: lipides, pigments caroténoïdes, acides aminés, etc...

Une tentative de classification des herbicides utilisés au Maroc selon leurs modes d'action est présentée dans l'Index Phytosanitaire Maroc, édition 2017 (Annexe 1).

4.3. Sélectivité des herbicides

L'herbicide est un produit qui a la propriété de tuer les végétaux; cependant, en milieu cultivé, on va chercher à détruire les mauvaises herbes tout en conservant la culture traitée. Les herbicides seront dits sélectifs quand, utilisés dans des conditions normales d'emploi, ils respectent certaines cultures et permettent de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures. Ils seront dits totaux quand, utilisés aux doses conseillées pour cet usage, ils sont susceptibles de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistance d'action variables. La sélectivité des herbicides correspond à une modification d'au moins une des phases de l'action des produits dans la plante: mise en contact du produit avec la cible, pénétration, transport éventuel, site d'action et métabolisme de dégradation (Scalla, 1991; Simon & *al.*, 1994). Divers types de sélectivité sont distingués:

sélectivité de position: l'herbicide de pré-levée, appliqué en surface, ne se répartit que dans la couche superficielle du sol à quelques centimètres de profondeur. C'est dans cette zone que germe les semences de la plupart des espèces de mauvaises herbes ayant des graines de petite taille: au contact du produit, elles subissent son activité herbicide. Au contraire, les semences des cultures sont positionnées plus profondément et échappent au contact du produit qui n'aura pas d'action sur leur germination.

sélectivité d'application: il s'agit d'éviter le contact du produit avec la plante cultivée lors de la pulvérisation. L'herbicide est appliqué seulement sur les mauvaises herbes de l'inter-rang en prenant soin de ne pas atteindre la ligne de culture. Cette technique est employée

surtout avec des herbicides totaux dans des cultures à grand écartement (vergers et plantations).

sélectivité anatomique: ces types de sélectivité concernent principalement les produits de post-levée: la pénétration par les feuilles peut être gênée par la présence de poils ou par l'épaisseur de la cuticule de l'épiderme. Le port des feuilles modifie également l'adhérence de la pulvérisation à leur surface: les feuilles de graminées, dressées et étroites, retiennent moins bien les gouttelettes que celles des dicotylédones, souvent larges et étalées.

sélectivité physiologique: la sélectivité peut être obtenue par des différences de comportement physiologique entre les végétaux: la sélectivité de l'atrazine pour le maïs tient en partie à son moins bon transport dans cette plante que dans les espèces sensibles et surtout à la présence d'enzymes qui dégradent la molécule d'atrazine, avant qu'elle ne parvienne à son site d'action, le chloroplaste (Scalla, 1991).

5. Facteurs actifs du milieu sur les herbicides

Les facteurs du milieu qui influent sur l'efficacité ou la sélectivité des herbicides, et par conséquent, sur la réussite des pulvérisations sont tout facteur qui améliorera l'efficacité d'un produit ou d'une pulvérisation, en réduira du même coup la sélectivité. Quatre éléments peuvent être pris en considération: le climat, le sol, la plante traitée et les techniques d'application (Simon & *al.*, 1994).

5.1. Le climat

L'action des facteurs climatiques sur le comportement des herbicides se situe aussi bien avant, pendant ou après la pulvérisation:

Avant l'application: si la plante traitée subit une période de sécheresse, la cuticule des feuilles aura tendance à s'épaissir: dans ce cas, les produits de post-levée pénétreront moins facilement dans les feuilles. Une pluie avant l'application augmente l'humidité du sol, ce qui favorise la diffusion et la disponibilité des produits à pénétration racinaire,

Pendant l'application: si la température est élevée ou si l'air est sec, les gouttelettes de bouillie risquent de s'évaporer avant d'avoir atteint leur cible. L'influence de la rosée sur les pulvérisations de post-levée dépend de son intensité: si la rosée est légère, c'est-à-dire si les gouttes ne tombent pas quand on touche les plantes, elle améliore la dilution du produit et facilite sa pénétration dans les feuilles. Au contraire, si la rosée est importante, c'est-à-dire si les gouttes tombent quand on touche les plantes, la pulvérisation sera captée par la rosée, entraînée sur le sol et perdue. Quant au vent, il est déconseillé d'effectuer une application d'herbicide, si le vent est trop fort à cause du risque de dérive de la pulvérisation, qui n'est plus positionnée correctement et qui peut même causer des dégâts sur une parcelle voisine,

Après l'application: pour les herbicides à pénétration racinaire (produits de pré-levée), épandus sur sol nu, une pluie après l'application améliore la disponibilité du produit à la surface du sol; cependant, une pluie érosive qui survient après l'application risque d'entraîner le produit par ruissellement. Pour les herbicides à pénétration foliaire (produits de post-levée), épandus sur le feuillage, la pluie diminue l'efficacité des produits par entraînement du dépôt; le délai nécessaire entre la pulvérisation et la pluie dépend du produit et de l'intensité de la pluie.

5.2. Le sol

L'efficacité des herbicides de prélevée est très dépendante de l'état physique, hydrique et de la température du sol:

Les applications seront peu régulières sur un sol trop motteux et la détérioration des mottes laissera apparaître du sol qui n'aura pas reçu de produit,

Si le sol est couvert par un paillis dense, la pulvérisation sera captée et n'atteindra pas la zone racinaire,

Leur disponibilité dans la solution du sol dépend de la texture: le produit est adsorbé par les feuillets d'argile ou les colloïdes de la matière organique. Dans ce cas, la dose d'emploi doit être augmentée. Avec les argiles, le produit retenu sera restitué progressivement dans la solution du sol et la persistance du produit sera augmentée. Inversement, la rémanence sera faible dans les sols riches en matière organiques, car les micro-organismes qu'ils contiennent, vont dégrader rapidement les produits. En sol sableux, les risques de phytotoxicité sont accrus, puisque tout le produit apporté est disponible, Ces pulvérisations ne diffusent convenablement en surface que si l'humidité du sol est suffisante.

Quant à l'efficacité des herbicides foliaires, appliqués en post-levée, elle dépend de l'humidité et de la température du sol. Il est connu qu'un sol sec et/ou froid réduit l'efficacité et/ou la sélectivité d'un herbicide.

5.3. La plante

L'efficacité des herbicides dépend de deux facteurs liés à leur plante cible, son espèce et son stade de développement:

La spécificité des produits herbicides est un élément primordial dans le choix d'un produit herbicide, tant par rapport aux mauvaises herbes à détruire que pour la culture à protéger. Elle se définit par le spectre d'efficacité et la sélectivité des produits, La destruction d'une mauvaise herbe au stade plantule demandera moins de produit qu'une plante adulte. De plus, la pulvérisation de produits de post-levée atteint difficilement les parties basses des végétaux trop développés à cause de l'effet "parapluie", La sensibilité d'une plante dépend de son stade de développement: par exemple, la cuticule des feuilles de maïs s'amincit à partir de la sixième feuille; à ce stade, les risques de phytotoxicité des produits de post-levée sont plus élevés pour le maïs (Simon & al., 1994).

5.4. Les conditions d'application

L'agriculteur avec l'aide de son conseiller doit répondre à cette question: Doit-on-traiter ?, mais la réponse à cette question apparemment simple nécessite à prendre les considérations suivantes:

Surveillance de la culture en faisant des visites organisées et répétées dans le temps,
Quantification du risque de nuisibilité des mauvaises herbes dominantes,
Etablissement d'un diagnostic de l'état de la culture,
Traitement localisé ou généralisé ou mécanique (Photos 3 et 4), choix de la technique et de l'herbicide adaptés (Intervention localisée au niveau des rangs (plantation) ou entre les rangs (légumineuses; tournesol ou maïs; verger ...), Souvent, l'absence d'étude pour établir un seuil de nuisibilité d'une adventice donnée par rapport à une culture donnée rend la prise de décision assez difficile. Les interventions localisées et le désherbage mécanique ont souvent besoin d'être associés à un herbicide pour éviter un salissement de la culture,
Modulation des doses d'herbicides: il est inutile de forcer la dose pour obtenir un résultat maximal,
Intervention en bonnes conditions de portance notamment dans les parcelles qui se ressuient lentement en sortie d'hiver (Cas du Gharb),
Intervention en conditions climatiques généralement plus favorables qu'en sortie hiver (moins d'amplitude thermique, et de coups de froid en automne),
Réalisation de l'opération de désherbage avant ou juste après la fertilisation; et ceci est valable pour toute les cultures.



Photos 3 et 4: Gestion localisée des adventices dans la vigne à El Aroui (à gauche) et da l'olivier en Andalousie (à droite).

6. Conditions de réussite de l'application des herbicides

Une opération de désherbage réussie dépend étroitement de la réussite d'une application d'herbicide qui est à son tour conditionnée par les règles suivantes:

Le produit employé est choisi en fonction de la flore des mauvaises herbes à maîtriser et de l'itinéraire technique de la culture,

Les mélanges de produits lors d'une même application, ainsi que les programmes de traitements sur l'ensemble du cycle cultural, sont raisonnés en tenant compte des caractéristiques de chacune des matières actives employées, pour éviter les mélanges inutiles et pour adapter les doses à épandre,

Les doses d'application sont respectées; souvent, on constate que les agriculteurs ont tendance à réduire les doses de produits, pour diminuer les coûts et éviter les risques de phytotoxicité et que les traitements ne sont pas réalisés régulièrement en ligne: ces épandages de mauvaise qualité ne permettent pas une bonne répartition du produit sur la parcelle et créent des zones où le produit est sous-dosé, donc inefficace, et des zones où le produit est surdosé, donc risque de phytotoxique.

Le produit est appliqué à l'époque d'intervention préconisée; par exemple, les produits de pré-levée ne doivent pas être appliqués sur des plantes déjà levées; les herbicides de post-levée sont épandus en fonction du stade de développement des mauvaises herbes, en particulier s'ils ont une action de contact. Ils seront d'autant plus efficaces que les cibles visées sont jeunes.

L'utilisation d'appareils adaptés aux pulvérisations d'herbicides, équipés de buses à jet plat (obtenu avec des buses pinceau à fente ou à miroir), alors qu'on rencontre fréquemment des agriculteurs utilisant des appareils prévus pour les pulvérisations d'insecticides (pulvérisateurs équipés de buses à jet conique à turbulence). De plus, un soin particulier doit être demandé aux opérateurs pour le réglage et l'entretien après usage des appareils de pulvérisation (rinçage, nettoyage, ...) (Afrass et Mosich, 1980; Caruelle, 1984; Ctifl, 1989; Houmy, 1999),

L'étalonnage des appareils doit faire l'objet d'une vérification régulière afin de corriger les défauts des appareils (usure des buses) ou les défaillances des opérateurs; la quantité de bouillie épandue par hectare doit être déterminée pour faire les calculs de dilution de la bouillie,

La préparation de la bouillie est également un élément important de la pulvérisation: afin d'éviter le bouchage des buses, il est indispensable d'employer une eau de bonne qualité pour la préparation des bouillies, d'utiliser un filtre et de s'assurer de l'homogénéité du mélange,

La technique d'application doit être bien maîtrisée: il est indispensable que la répartition sur la surface traitée soit parfaitement homogène, ce qui impose la régularité du débit de l'appareil et de la vitesse d'avancement.

Les précautions d'emploi et les risques de toxicité ne doivent pas être négligés (ATPP, 1999),

L'emploi d'herbicides de pré-levée a des conséquences sur la suite de l'itinéraire technique: par exemple, l'impossibilité de travailler le sol après l'épandage d'un herbicide de pré-levée.

7. Devenir des herbicides dans le milieu

A l'instar des autres pesticides, les herbicides se dégradent plus ou moins rapidement après leur application dans le milieu (Simon & *al.*, 1994; Scalla, 1991):

ils participent en partie au métabolisme dans la plante cible; d'après les études réalisées en milieu tempéré, une faible part est exportée par volatilisation dans l'air, par ruissellement par les pluies ou par lessivage dans les couches inférieures du sol,

une part est adsorbée par les argiles et les matières organiques du sol avant de subir une dégradation biochimique et microbiologique,

La rémanence ou la persistance d'action correspond à la durée pendant laquelle un produit herbicide manifeste son activité; il est toujours nécessaire de s'assurer de l'absence d'arrière-effet d'un produit sur la culture suivante.

8. Rotation des herbicides

L'emploi continu des mêmes produits herbicides conduit inévitablement à des sélections de flore, c'est-à-dire des peuplements souvent monospécifiques, constitués des espèces sur lesquelles ces matières actives ne sont pas efficaces. On parle parfois d'inversion de flore (Gauvrit, 1996). Ces nouvelles populations ne peuvent être maîtrisées que si l'on modifie les techniques de désherbage ou du moins si l'on diversifie les produits utilisés en choisissant d'autres familles chimiques qui auront d'autres sites d'action (Annexe 1). Dans les inversions de flores, il faut distinguer deux types de comportement:

soit l'espèce ne fait pas partie du spectre d'efficacité du produit employé et sa sélection par le traitement herbicide est tout à fait prévisible. Il y a alors simplement l'inefficacité de l'herbicide sur cette espèce, dite tolérante;

soit il s'agit d'une population sur laquelle le produit est normalement actif, mais il peut arriver que certains individus ne soient pas touchés par le produit; ces plantes non détruites vont se développer et se multiplier, créant ainsi une nouvelle population, que l'on qualifie alors de résistante (Photos 5 et 6).



Photos 5 et 6: Situations avec une sélection de la mauve dans un verger d'agrumes au Loukkos (à droite) et du chrysanthème dans le blé à Merchouch (à gauche).

9. Précautions d'emploi des herbicides

Le transport, la préparation et l'application des produits phytosanitaires présentent des risques pour l'utilisateur et l'environnement si certaines règles et précautions ne sont pas respectées (GIFAP, 1984;1988a; 1988b et 1988c; ZENECA, 1993; FAO, 2002). Ainsi, Il faut prendre connaissance des risques toxicologiques et des conseils de prudence mentionnés sur l'étiquette:

Notamment se protéger les mains, le visage, porter un masque et une combinaison (Annexe 3), toujours se laver les mains et le visage après utilisation; éviter de boire, manger ou fumer et rester calme pendant l'application (risque d'ingestion, d'inflammation, ou d'inhalation accrue),

Respecter les dosages et l'usage pour lequel le produit est homologué,

Éviter de mélanger des produits,

Eviter de changer les produits d'emballage,

Utiliser un pulvérisateur adéquat et bien réglé,

Respecter les conditions et les restrictions d'emploi mentionnées sur l'étiquette (ex: ne pas pulvériser quand il y a du vent ou quand l'air est trop sec),

Stopper l'activité, s'éloigner du produit et prendre les conseils d'un médecin en cas de manifestations allergiques, particulièrement respiratoires.

Les produits phytosanitaires peuvent avoir des conséquences dommageables sur le manipulateur et l'environnement (GIFAP, 1984;1988a; 1988; et 1988c; FAO, 2002). Une façon de limiter les risques est:

de supprimer tout traitement inutile (les traitements de précaution favorisant l'apparition de résistance au produit),

de raisonner les traitements en fonction des cycles de développement et des niveaux d'infestation des mauvaises herbes.

de prendre en compte le respect des insectes utiles. Pour cela, on peut bénéficier, quand ils existent des avertissements agricoles,

de prendre en compte les conditions climatiques (perte par dérive en cas de vent ou par diffusion quand l'air est trop sec, perte par lessivage en cas de pluie...),

de respecter les conseils d'application (période d'application, doses, délai avant récolte...),

d'éviter de traiter les abords des points d'eau, fossés et zones humides pour éviter la pollution des nappes,

de ne pas traiter durant la floraison (protection des abeilles et autres insectes pollinisateurs),

de rendre les emballages vides non utilisables par un triple rinçage perdus et les fonds de produits vers un site agréé quand il existe, en veillant à une élimination limitant les risques pour l'environnement (en général il s'agit de l'incinération dans des unités spéciales) pour limiter les décharges sauvages ou une contamination du personnel ou de l'environnement lors du tri des déchets.

10. Conclusion

Depuis quelques années on constate que le recours au désherbage chimique au Maroc a pris une grande part de l'activité de protection des cultures contre les mauvaises herbes chez un grand nombre de fermiers-producteurs. Les conseillers, les utilisateurs des produits phytosanitaires et leurs applicateurs doivent disposer des éléments indispensables à prendre en considération avant toute action ou tout programme de gestion des mauvaises herbes là elles se trouvent. Le transport, la préparation et l'application des produits phytosanitaires présentent des risques pour l'utilisateur, le consommateur et l'environnement si certaines règles et précautions ne sont pas respectées. Une application réussie d'un herbicide est appréciée par une bonne efficacité reconnue et par une destruction la plus complète possible des mauvaises herbes visées suite à la pulvérisation du produit utilisé. Les facteurs du milieu qui influent sur l'efficacité ou la sélectivité des herbicides, et par conséquent, sur la réussite des pulvérisations sont tout facteur qui améliorera l'efficacité d'un produit ou d'une pulvérisation, en

réduira du même coup la sélectivité. Quatre éléments peuvent être pris en considération: le climat, le sol, la plante traitée et les techniques d'application.

Références

- ACTA (1998) Recueil des effets non intentionnels des produits phytosanitaires. Septième édition, Paris, France.
- Afrass A. & Mosich L. (1980) Manuel des matériels de traitements des cultures. TYPO-Druck, Rosdorf, INRA-GTZ, 70 p.
- ATPP (1999) Association Tunisienne de la Protection des Plantes: Manuel des bonnes pratiques agricoles, de la qualité et de la certification. ATPP, Tunis, 75 p.
- Caruelle (1984) Pulvérisation et pulvérisateurs. Caruelle/ Agri-Nathan, Paris, 95 p.
- CTIFL (1989) Mémento désherbage arbres fruitiers et petits fruits. Lavoisier-CTIFL, Paris, 133 p.
- Dahhane D. (1995) Traitement pesticide: état du matériel et condition d'application des pesticides dans les vergers d'agrumes du Souss. Proc. Journées sur la protection phytosanitaires des agrumes, AMPP, Rabat, 66-76.
- El Antri M. & Bennani S. (1987) Les mauvaises herbes des cultures et le désherbage chimique au Maroc. Bulletin de l'Association Marocaine de Malherbologie, N°1 et 2.
- Ezzahiri B., Bouhache M. & Mihi M. (2017) Index Phytosanitaire Maroc, édition 2017. Association Marocaine de Protection des Plantes, SOGELIV, Casablanca, 304 p.
- FAO & WHO (2014) The International Code of Conduct on Pesticides Management, New version. FAO and WHO, Rome, 2014, 37 p.
- Gauvrit C. (1996) Efficacité et Sélectivité des herbicides. INRA, Versailles, France, 168 p.
- GIFAP (1984) Directives pour les mesures d'urgence à prendre dans le cas d'un empoisonnement par un produit phytosanitaire. Groupement International des Associations Nationales de Fabricants de Produits Agrochimiques, Bruxelles, 50 p.
- GIFAP (1988a) Directives sur la façon d'éviter, de limiter et d'éliminer les déchets de produits phytosanitaires à la ferme. GIFAP, Bruxelles, 45 p.
- GIFAP (1988b) FAO Code de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Guide d'application. GIFAP, Bruxelles, 50 p.
- GIFAP (1988c) Directives pour le transport sans risque des produits phytosanitaires. GIFAP, Bruxelles, 62 p.
- Houmy K. (1999) Le pulvérisateur à dos « Guide pratique d'utilisation ». IAV Hassan II, Rabat.
- Mihi M. (1987) Céréales: Désherbage de pré-levée et désherbage de post-levée. Bulletin de l'Association Marocaine de Malherbologie, N°2 -Décembre 1987.
- Qorchi M. (1987) Historique de la lutte contre les mauvaises herbes. Bulletin de l'Association Marocaine de Malherbologie, N°1.
- Ricci P., Bui S. & Lamine C. (2011) Repenser la protection des cultures: Innovations et transitions. Educagri/Quae Editions, Dijon – Paris, 250 p.
- Scalla R. (1991) Les herbicides: mode d'action et principes d'utilisation. INRA, Paris, France, 464 p.
- Severin F. & Tissut M. (1991) Principe de l'utilisation des pesticides. In: les herbicides, mode d'action et principes d'utilisation R. Scalla (éd), pp. 281-332, INRA, Paris, France.
- Simon H., Richard F., Bellanger M., Denimal D., Goubert C. & Jeuffrault E. (1994) La protection des cultures. Lavoisier, Paris.
- Tanji A. (1996) Guide du désherbage au Maroc. INRA, Rabat.
- ZENECA Agrochemicals (1993) Stewardship guidelines. Fernhurst, Haslemere, Surrey GU27 3JE, UK.

Annexe 1: Classification HRAC des herbicides

La **classification HRAC des herbicides** est la répartition des substances actives herbicides établie, selon leurs modes d'action, par l'Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) en 23 groupes et sous-groupes. Ci-joint les tables résumées des herbicides homologués au Maroc et reprisent depuis l'Index phytosanitaire Maroc 2017.

Classement des herbicides par mode d'action					
Fonction physiologique		Acides aminés			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Enzyme glutamine synthase (GS)	Amino-phosphonates (Acides phosphoniques)	H	Glufosinate ammonium	Foliaire	Contact
Enzyme énoypyruvyl shikimate phosphate synthase (EPSP)	Amino-phosphonates (glycines)	G	Glyphosate Sulfosate	Foliaire Foliaire	Systémique Systémique
Enzyme Acétolactate synthase (ALS)	Sulfonilurées	B	Amidosulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
			Foramsulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
			Iodosulfuron-méthyl-Sodium	Foliaire/racinaire	Systémique
			Mésosulfuron-méthyl-sodium	Foliaire/racinaire	Systémique
			Metsulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
			Rimsulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
			Sulfosulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
			Thifensulfuron-méthyle	Foliaire/racinaire	Systémique
			Triasulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
			Tribénuron méthyle	Foliaire/racinaire	Systémique
			Triflurosulfuron-méthyle	Foliaire/racinaire	Systémique
			Tritosulfuron	Foliaire/racinaire	Systémique
	Sulfonil-amino-carbonyl-tiazolinones	B	Flucarbazone sodium	Foliaire/racinaire	Systémique
	Triazolopyrimidines	B	Florasulam	Foliaire/racinaire	Systémique
			Flumetsulam	Foliaire/racinaire	Systémique
			Métosulam	Foliaire/racinaire	Systémique
			Pénoxosulam	Foliaire/racinaire	Systémique
			Peroxsulam	Foliaire/racinaire	Systémique

Fonction physiologique		Lipides			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Enzyme Acétyl-Coen-zyme A Carboxylase (Accase)	Aryloxyphénoxy-propionates «Fops»	A	Clodinafop-propargyl	Foliaire	Systémique
			Cyhalofop-butyl	Foliaire	Systémique
			Diclofop-méthyl	Foliaire	Systémique
			Fénoxaprop-P-éthyl	Foliaire	Systémique
			Fluazifop-P-butyl	Foliaire	Systémique
			Haloxifop-P-méthyl	Foliaire	Systémique
			Propaquizafop	Foliaire	Systémique
	Cyclohexane-diones «Dimes»	A	Cléthodime	Foliaire	Systémique
			Cycloxydime	Foliaire	Systémique
			Tralkoxydime	Foliaire	Systémique
	Phenylpyrazolin (Dens)	A	Pinoxaden	Foliaire	Systémique
Enzymes élongases (synthèse des cires et subérine)	Benzofuranes	N	Ethofumésate	Organes souterrains et foliaire	Peu importante
Enzymes élongases et de cyclisation (synthèse des gibbérellines)	Chloroacétamides ou Chloroacétanilides	K3	Acétochllore	Organes souterrains et foliaire	Peu importante
			Alachlore	Organes souterrains et foliaire	Peu importante
			S-métolachlore	Organes souterrains et foliaire	Peu importante
	Thiocarbamates	N	Prosulfocarbe	Organes souterrains et foliaire	Peu importante

Fonction physiologique		Photosynthèse			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Blocage des électrons	Benzothiadiazone	C3	Bentazone	Foliaire	Contact
	Biscarbamates ou phényl-carbamates	C1	Desméthopame Phenméthopame	Foliaire Foliaire	Peu impt. Peu impt.
	Triazines (Chlorotriazines)	C1	Terbutylazine	Racinaire/Foliaire	Systm./Ctc.
	Triazines (Triazinones)	C1	Hexazinone Métamitron Métribuzine	Racinaire/Foliaire Racinaire/Foliaire Racinaire/Foliaire	Systm./Ctc. Systm./Ctc. Systm./Ctc.
	Triazines (méthylthiotriazines)	C1	Terbutryne	Racinaire/Foliaire	Systm./Ctc.
	Uraciles	C1	Lénacile	Racine	Systémique
	Urées substituées	C2	Linuron Monolinuron	Racine Racine	Systémique Systémique
Détournement des électrons	Bipyridiles ou ammoniums quaternaires	D	Paraquat	Foliaire	Contact

Peu Impt. : Peu Importante - Systm./Ctc. : Systémique / Contact

Fonction physiologique		Régulation de l'auxine			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Croissance	Acides benzoïques	O	Dicamba	Foliaire	Systémique
	Acides phénoxy-alcanoliques	O	2,4 D	Foliaire	Systémique
			2,4 DB	Foliaire	Systémique
			2,4 MCPA	Foliaire	Systémique

Fonction physiologique		Caroténoides			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Enzyme 4-hydroxy-phényl-pyruvate-dioxygénase (4-HPPD)	Isoxazoles	F2	Isoxaflutole	Racine	Peu impt.
	Callistémones	F2	Mésotrione	Foliaire/racinaire	Systémique
	Triazoles	F3	Amitrole (Aminotriazole)	Foliaire/racinaire	Systémique

Fonction physiologique		Chlorophylles			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Enzyme proto-porphyrinogène oxydase (PPO)	Diphényl-éthers	E	Oxyfluorène	Foliaire	Peu impt.
	Oxadiazoles	E	Oxadiazon	Organes souterrains/ foliaire	Peu impt.
	Phénylpyrazoles	E	Pyraflufen-éthyl	Foliaire	Peu impt.
	Triazolinones	E	Carfentrazone-éthyle	Foliaire	Contact

Fonction physiologique		Division cellulaire			
Site d'action	Famille chimique (sous famille)	Groupe HRAC	Matière active	Pénétration	Migration
Microtubules	Toluidines ou Dinitroanilines	K1	Pendiméthaline	Organes souterrains	Peu impt.
	Benzamides		Propyzamide	Racinaire	Peu impt.

HRAC : Herbicide Resistance Action Committee

Annexe 2: Rappel des termes techniques associés aux herbicides (Simon & *al.*, 1994)

Association: préparation qui contient plusieurs matières actives

Dose: quantité de matière active ou de préparation appliquée par unité de surface traitée (pour éviter toute ambiguïté, on exprime en grammes les doses de matières actives et en kilogrammes ou en litres les doses de spécialités).

Formulant: toute substance ajoutée à la (ou aux) matière(s) active(s) pour obtenir le produit formulé

Formulation: combinaison de divers composés visant à rendre le produit utilisable efficacement pour le but recherché. Forme physique sous laquelle le produit phytopharmaceutique est mis sur le marché (CS: suspension de capsules; EC: concentré émulsionnable; SC: suspension concentrée; SE: suspension - émulsion; SL: concentré soluble; SP: poudre soluble dans l'eau; WG: granulés à disperser dans l'eau; WP: poudre mouillable; etc...).

Graminicide: substance ou préparation herbicide ayant une action spécifique sur les graminées et sélective des dicotylédones.

Phytotoxicité: propriété d'une substance ou d'une préparation qui provoque chez une plante des altérations passagères ou durables.

Matière active: constituant d'une préparation auquel est attribuée en tout ou en partie son efficacité

Préparation ou produit formulé: mélange prêt à l'emploi d'une matière active et de formulants (cf; association)

Rémanence ou persistance d'action: durée pendant laquelle un produit herbicide manifeste son activité

Spécialité: produit formulé de composition définie, autorisé à la vente sous un nom de marque

Spectre d'efficacité: ensemble des espèces maîtrisées par un produit à une dose donnée

Teneur: quantité de matière active contenue dans une unité de masse ou de volume d'une préparation; elle s'exprime en pourcentage pondéral pour les formulations solides, et en g/l pour les formulations liquides

Annexe 3: Les gestes professionnels et responsables lors de la manipulation des produits phytosanitaires - Equipement de Protection Individuel ou EPI (Photo: CORTEVA Agriscience)



Equipement dédié pour vous protéger, protéger les autres et l'environnement lorsque vous manipulez vos produits phytosanitaires. **(Recommandations de CROP LIFE)**

Voici une liste des gestes professionnels à retenir et à recommander aux applicateurs par les fournisseurs des pesticides.

Avant l'application

Les produits doivent être stockés et signalisés dans un local phytosanitaire dédié à cet usage, aéré ou ventilé, et fermé à clé;

Préparez vos interventions la veille, utilisez vos bidons un par un avec leur fiche de dosage à portée de main;

Lire ou relire l'étiquette et les précautions d'emploi avant utilisation, même quand vous « connaissez ». Si besoin, consultez la FDS (fiche de données de sécurité) et/ou contactez votre technicien-conseil;

Portez toujours TOUS les Equipements de Protection Individuelle (EPI) recommandés lorsque vous préparez votre chantier: gants, lunettes, masque, combinaison, tablier et bottes. Ces équipements sont notamment indiqués sur les étiquettes des produits;

Assurez-vous du bon état de votre pulvérisateur et des buses puis vérifiez les réglages recommandés pour vos produits et vos cultures;

Surveillez le remplissage de la cuve du pulvérisateur et ajustez le volume de bouillie (clapet anti-retour, dispositif de surverse);

Rincez les emballages trois fois, videz l'eau de rinçage dans la cuve, ou utilisez l'incorporeur. Egouttez-les complètement.

Pendant l'application

Traitez vos parcelles par temps calme, sans vent fort pour éviter toute dérive de pulvérisation vers les fossés, cours d'eau, chemins, abords de ferme ou bâtiments. Utilisez un pulvérisateur bien réglé équipé de buses à limitation de dérive.

Si possible, vérifiez que vos sols sont bien ressuyés avant de traiter.

Après l'application

Refaites un passage dans vos parcelles traitées pour y pulvériser, après dilution à l'eau claire, l'équivalent de 5 fois les fonds de cuve et les eaux de rinçage. Renouvelez cette opération 3 fois. Les effluents résiduels sont à traiter selon un dispositif reconnu par l'autorité compétente.

Pensez à nettoyer l'habitacle de votre tracteur, y compris les portières. Restez protégé avec vos équipements lors de ce nettoyage;

Lavez tous vos EPI après chaque journée d'utilisation, de préférence sur l'exploitation et sans les mélanger avec vos vêtements civils. Lavez-vous longuement les mains, puis prenez une douche, de préférence sur l'exploitation.

Pensez à la collecte pour recycler vos emballages.