

Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes

Mohamed BOUHACHE



Association Marocaine de Protection des Plantes



Malherbologie:
Biologie et écologie des adventices des
agroécosystèmes

Mohamed BOUHACHE

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

Première édition
2021

Association Marocaine de Protection des Plantes

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

**Grand Prix Hassan II pour l'Invention et la Recherche
dans le domaine agricole, édition 2023 (Meknès, Maroc)**

**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: 2021MO2490
ISBN: 978-9954-582-03-9
Juin 2021**

**Tous droits réservés. Toute reproduction même partielle est interdite sans
l'autorisation de l'auteur.**

Sommaire

Préface	7
Avant-propos	9
Introduction	13
Première partie: Nature et reconnaissance des adventices	
Chapitre 1: Nature des adventices	19
1. Notion et concept d'aventice	19
2. Terminologie et définitions	20
3. Caractéristiques des adventices	22
4. Origine des adventices	23
5. Nuisance des adventices	25
6. Services et vertus des adventices	31
7. Importance et caractérisation de la flore adventice marocaine	36
Chapitre 2: Classification des adventices	41
1. Intérêt de la classification	41
2. Phylogénèse	41
3. Cycle biologique	42
4. Habitat	44
5. Morphologie	45
6. Photosynthèse	46
7. Ecologie	48
8. Autres classifications	53
Chapitre 3: Reconnaissance et identification des adventices	55
1. Importance de l'identification	55
2. Reconnaissance au stade semence	55
3. Reconnaissance au stade plantule	60
4. Reconnaissance au stade adulte	71

Deuxième partie: Reproduction et dissémination des adventices

Chapitre 4: Reproduction sexuée	75
1. Origine des semences	75
2. Importance de la semence	75
3. Aspect quantitatif de la reproduction sexuée	77
4. Facteurs actifs sur la reproduction sexuée	78
5. Longévité des semences	79
6. Avantages et inconvénients	81
Chapitre 5: Reproduction végétative	83
1. Types et origine des propagules végétatives	83
2. Importance de la reproduction végétative	85
3. Aspect quantitatif de la reproduction végétative	87
4. Facteurs actifs sur la reproduction végétative	87
5. Longévité des propagules végétatives	91
6. Avantages et inconvénients	92
Chapitre 6 : Dissémination des adventices	95
1. Notion et nature de diaspores	95
2. Importance de la dissémination	96
3. Dissémination dans l'espace	98
4. Dissémination dans le temps: dormance	106
Chapitre 7: Stock semencier du sol	117
1. Importance et composition	117
2. Types de stocks semenciers	119
3. Distribution du stock semencier	120
4. Dynamique du stock semencier	122
5. Relation entre la flore réelle et la flore potentielle	125
6. Méthodes d'étude du stock semencier	127
Chapitre 8: Germination des semences	133
1. Processus et phases de germination	133
2. Facteurs écologiques de la germination	135
3. Autres facteurs actifs sur la germination	143
4. Processus et importance de la levée au champ	145
5. Facteurs actifs sur la levée	145

6. Echelonnement et périodicité de la levée	148
Chapitre 9: Régénération végétative	153
1. Importance et types de régénération	153
2. Caractéristiques du stock de bourgeons	155
3. Effet des facteurs intrinsèques	157
4. Effet des facteurs extrinsèques	165
Troisième partie: Interactions cultures-adventices	
Chapitre 10: Compétition	173
1. Définition et signification écologique	173
2. Eléments de la compétition	174
3. Facteurs actifs sur la compétition	180
4. Caractéristiques des adventices compétitives	186
5. Retombées économiques de la compétition	188
6. Période critique de compétition	189
Chapitre 11: Méthodes d'étude de la compétition	195
1. Intérêt des études de la compétition	195
2. Dispositifs expérimentaux utilisés	195
3. Quantification de la compétitivité des espèces	207
4. Seuils de nuisibilité	214
5. Modélisation de la compétition	218
Chapitre 12: Allélopathie	221
1. Historique du phénomène	221
2. Définitions et types d'allélopathies	221
3. Procédures et difficultés de mise en évidence	222
4. Sources et voies de libération des substances	223
5. Nature des substances	224
6. Facteurs actifs sur la production des substances	227
7. Méthodes d'étude	228
8. Effet des substances	231
9. Rôles dans les agroécosystèmes	234
10. Importance dans la gestion des adventices	239

Chapitre 13: Parasitisme 247

1. Définition et nature des plantes parasites 247
2. Mécanismes de contact avec l'hôte 247
3. Types de plantes parasites 248
4. Caractéristiques physiologiques 249
5. Evolution du parasitisme 250
6. Effets des plantes parasites 251
7. Spécificité des hôtes 252
8. Diversité systématique des plantes parasites du Maroc 253
9. Cas des orobanches 253
10. Cas des cuscutes 261
11. Cas du gui 268
12. Cas de Thésium 275

Quatrième partie: invasion biologique et changement climatique

Chapitre 14: Plantes envahissantes 283

1. Définitions et terminologie associée 283
2. Impact des plantes envahissantes 285
3. Etapes du processus d'invasion 290
4. Voies d'introduction 294
5. Caractéristiques des plantes envahissantes 296
6. Facteurs du succès des invasions 298
7. Importance des plantes envahissantes au Maroc 302

Chapitre 15: Changement climatique et adventices 305

1. Définitions et historique 305
2. Phénomène de l'effet de serre 308
3. Changement climatique au Maroc 312
4. Changement climatique et adventices 316
5. Changement climatique et interaction cultures-adventices 320
6. Changement climatique et gestion des adventices 322
7. Changement climatique et plantes envahissantes 325

Références 329

Glossaire 355

Liste des espèces citées 363

Préface

Juste après la publication de l'ouvrage intitulé « Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc » en juillet 2020, par Pr. Mohammed BOUHACHE; voilà encore une autre facette de son parcours dans le domaine de la « malherbologie » en tant qu'enseignant-chercheur à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, depuis 1981.

Cet ouvrage se veut avant tout être un outil pédagogique pour toute personne désirant à s'initier dans le domaine des adventices, qui est un domaine tout à fait différent des autres domaines de la protection des plantes. La présente édition a pour objectif d'éclairer les lecteurs, étudiants, enseignants, chercheurs ou vulgarisateurs en protection des cultures sur la dernière spécialité ou discipline introduite dans le cursus de formation des agronomes en général et des phytiatres en particulier.

Cet ouvrage s'adresse également à toutes les personnes chargées ou impliquées dans le suivi et la gestion de la présence des plantes dites mauvaises herbes ou adventices dans le cadre d'un programme de protection phytosanitaire des cultures; et ce en mettant à leur disposition les tenants et les aboutissants en matière d'éléments spécifiques à prendre en considération dans le domaine de la malherbologie. Enfin, il s'adresse également aux agronomes afin de leur donner la possibilité d'accéder à une meilleure compréhension de la spécialité « malherbologie ».

L'ouvrage scientifique, qui est entre nos mains, est divisé en quatre parties distinctes, successives et cohérentes:

Première partie: Nature et reconnaissance des adventices

Deuxième partie: Reproduction et dissémination des adventices

Troisième partie: Interactions cultures - adventices

Quatrième partie: invasion biologique et changement climatique

Le mérite de l'auteur et non le moindre est d'avoir rassemblé dans cet ouvrage le fruit d'une longue expérience en tant qu'enseignant-chercheur en matière de « malherbologie » répondant ainsi aux attentes et aux soucis des professionnels avertis que ça soit dans le domaine des avertissements agricoles, de la vulgarisation, du conseil agricole et de la formation agricole et spécialement en phytiairie. En outre, cet ouvrage comble l'absence ou la rareté des documents qui

traitent les principes et les fondements de la malherbologie en se basant sur les exemples tirés des champs et du contexte marocains.

L'AMPP continue à apporter son soutien aux publications techniques et scientifiques en relation avec la protection des plantes. Toutes nos félicitations au Professeur Mohamed BOUHACHE, dont l'amour de la malherbologie n'a d'égal que son profond dévouement à faire connaître et à faire aimer cette jeune discipline en l'enseignant à plusieurs générations d'ingénieurs; de techniciens agricoles et aux praticiens en matière de gestion des mauvaises herbes dans les cultures et les espaces publics.

Puis-je enfin émettre le souhait que cet ouvrage reçoive toute l'attention et le succès qu'il mérite.

Mohamed Mihi

Président de l'AMPP

Avant-propos

L'accès physique et économique, à tout moment, à une nourriture suffisante et saine est l'un des droits fondamentaux des droits de l'Homme comme reconnus par l'Organisation des Nations Unies (ONU) et stipulés par son Haut Commissariat des Droits de l'Homme (HCDH). Ainsi, la disponibilité, l'accessibilité, l'adéquation et la durabilité sont les quatre éléments essentiels du droit à l'alimentation. L'accès à la nourriture diffère d'un pays à l'autre à cause des modes de production et de consommation. De fait que cette nourriture est issue principalement des sols, des mers et des rivières; l'agriculture a toujours été un enjeu majeur pour l'humanité. Quatre principales avancées agricoles ont permis d'augmenter significativement la production des produits alimentaires: a) la fertilisation minérale, b) le machinisme agricole, c) l'amélioration génétique des plantes et des animaux et d) la découverte et l'utilisation des pesticides (dont les herbicides) et des régulateurs de croissance (Zimdahl, 2007). Par exemple, dans les pays à agriculture développée comme les Etats Unis d'Amérique (USA), un agriculteur américain arrive à offrir la nourriture à 75 personnes en 1990 contre 1, 2, 4, 8, 16 et 38 personnes respectivement il y a 10 000 ans, 1000 ans, en 1731, 1920, 1947 et 1980 (Monaco *et al.*, 2002). Effectivement, dans tous les temps, les agriculteurs sont sollicités à déployer plus d'efforts pour rendre la nourriture disponible et durable. Selon les estimations de l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), d'ici à 2050, la production alimentaire devra encore augmenter de 60% pour nourrir une population mondiale de 9,3 milliards.

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. Ce phénomène est devenu, ces dernières décennies, très rapide et même inquiétant à cause de la mondialisation ou la globalisation qui n'ont fait qu'augmenter et accélérer les niveaux du commerce, du transport, des voyages et du tourisme internationaux. L'accroissement continu de ces activités facilite et/ou favorise la circulation, et par conséquent, l'introduction et l'expansion des espèces et surtout les espèces non-indigènes ou exotiques. Actuellement, il est reconnu qu'une partie des espèces introduites est à l'origine d'impacts négatifs, directs ou indirects, observés à différents niveaux. Effectivement, les invasions biologiques ont des conséquences négatives sur l'environnement, la santé humaine et l'économie des régions touchées par ce phénomène.

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. Depuis la découverte de l'agriculture comme principale activité humaine, il y a environ 10 000 ans, les agriculteurs ont été engagés sans relâchement dans une compétition ouverte avec les organismes considérés nuisibles à leurs cultures comme les rongeurs, les oiseaux, les escargots, les insectes, les nématodes, les mauvaises herbes, les champignons, les bactéries et les virus. Malgré l'évolution, la diversification et/ou la sophistication des moyens de lutte (pesticides) contre les ennemis de cultures, leur préconisation ne permet pas de maîtriser ou d'atténuer complètement les impacts négatifs de ces organismes nuisibles. Par exemple, les estimations des niveaux des pertes de production (avant récolte et sur le champ) de six principales cultures à l'échelle mondiale (blé, riz, maïs, pomme de terre, soja et cotonnier), durant la période étalée entre 2001 et 2003, ont montré que les mauvaises herbes étaient à l'origine de 34% des pertes globales suivies par les insectes avec 18% et les champignons avec 16% (Oerke, 2006). L'importance des mauvaises herbes est aussi reflétée par le niveau de l'utilisation des pesticides pour gérer les ennemis de cultures. Actuellement et à l'échelle mondiale, environ 2 millions de tonnes de pesticides sont appliqués annuellement sur différentes cultures, pour le contrôle des différents ennemis de cultures, avec 47,5% pour les herbicides, 29,5 pour les insecticides, 17,5% pour les fongicides et 5,5% pour les autres pesticides (Sharma *et al.*, 2019).

Le concept de mauvaise herbe renferme une facette de nocivité vis-à-vis des cultures, de l'Homme, des animaux et d'autres milieux exploités pour les activités humaines. En général, 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 il est demandé aux agriculteurs d'augmenter leurs productions agricoles sur des superficies cultivables limitées et dans un contexte devenu difficile, hostile et précaire. En outre, 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 (ex. consommateurs). 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 et de la biologie des espèces qui les composent. Cette démarche amène à connaître de façon précise les facteurs écologiques et agronomiques qui vont influencer le

développement des espèces ou des communautés adventices et/ou qui régissent les interactions entre ces dernières et les cultures dans un champ.

Malheureusement, les documents francophones qui traitent la biologie et l'écologie des adventices sont peu nombreux (sinon rares) en comparaison avec ceux de la littérature anglo-saxonne. Ce peu d'ouvrages de malherbologie aborde la problématique des adventices dans le contexte de la France métropolitaine ou d'outre mer. Ainsi, l'une des raisons principales ayant motivé l'auteur à éditer cet ouvrage, qui est aujourd'hui entre nos mains, est de combler ce déficit documentaire observé, et par conséquent, répondre à une demande de plus en plus présente. En outre, les connaissances en malherbologie constituent un impératif de base dans toutes les formations agricoles en général et dans la formation des spécialistes en protection des plantes en particulier. Une autre raison et non pas la dernière, c'est que durant ma carrière d'enseignant-chercheur en malherbologie, j'ai toujours senti la nécessité de publication d'un ouvrage « ou textbook » qui traite les problèmes des mauvaises herbes en utilisant les illustrations et les exemples issus de l'agriculture marocaine. Effectivement, l'information présentée et compilée dans cet ouvrage n'est qu'une cristallisation de la longue expérience de l'auteur (40 ans), acquise sur le terrain, au laboratoire et dans les salles de cours, dans le domaine de malherbologie. Cette expérience et le suivi de près du développement de la malherbologie, à l'échelle nationale et internationale, sont à l'origine de l'inspiration de la conception et du contenu de cet ouvrage pédagogique. En général, ce contenu est ventilé sur quinze chapitres liés et successifs qui sont à leur tour répartis en quatre parties: nature et reconnaissance des adventices, reproduction et dissémination des adventices, interactions cultures – adventices et invasion biologique et changement climatique. Un glossaire des termes non définis dans le texte et une liste des adventices citées (avec leurs noms scientifiques, vernaculaires marocains et vernaculaires français) sont donnés à la fin du document. L'utilisateur de cet ouvrage serait outillé de connaissances de base nécessaires pour comprendre ou décoder l'adage qui dit « une année de mauvaises herbes, sept ans de désherbage ». Je crois que cette maxime ancienne et populaire résume bien les principaux principes et fondements de la malherbologie.

Cet ouvrage intitulé « **Malherbologie: Biologie et écologie des adventices des agroécosystèmes** », qui a pour objectif principal l'amélioration des connaissances en malherbologie, n'aurait pu voir le jour sans l'aide, l'encouragement et la contribution des collègues et/ou des amis malherbologistes ou phytiatres à la génération des données utilisées, la lecture et les améliorations apportées à ce texte. Ainsi, je remercie vivement Prof. Ezzahiri Brahim (I.A.V. Hassan II), Prof. Taleb Abdelkader (I.A.V. Hassan II), Prof. Maataoui Abdelwahed (E.N.A., Meknès), MihiMohamed (Président de l'AMPP), Baye Yahya (Ex. INRA, Béni-Mellal), Dr. Bensellam El Hassan (INRA, Kénitra), Bousricir Driss (Société Amaroc), Dr.

Hajjaj Badr (INRA, Tanger), Dr. Hamal Abdelhamid (Ex. INRA, Meknès), Dr. Chafik Zouheir (Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Zraïb à Berkane), Dr. Rsaissi Noureddine (ONCA, Settât) et Dr. Tanji Abbès (Ex. INRA, Settât). Enfin, un autre remerciement est adressé au Prof. Taleb, avec qui j'ai partagé ma carrière d'une quarantaine d'années dans le domaine de Malherbologie, pour ses derniers soins de mise en page apportés à ce document et à mon fils Bouhache Zakaria pour son aide quant à la recherche des sources bibliographiques et le scan de certaines illustrations.

Cet ouvrage 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 me soit permis de leur exprimer mes remerciements et ma très profonde gratitude.

Mohamed BOUHACHE
Rabat, Mai 2021

Introduction

La malherbologie (ou science des mauvaises herbes ou des adventices) est une discipline fondamentale qui s'applique à un sujet généralement appliqué à la gestion des mauvaises herbes. Le mot « malherbologie » vient d'un ancien mot français « Malherbe » qui signifie « mauvaise herbe » et du mot grec « logos » qui signifie « étude de ». Donc, la malherbologie fait partie des sciences agricoles (ou agronomiques) et qui s'intéresse à l'étude et/ou à l'intégration de tous les aspects des plantes qui interfèrent avec les activités humaines dans les milieux cultivés ou non cultivés (Monaco *et al.*, 2002). Les domaines touchés par cette discipline sont principalement: la systématique, la biologie, l'écologie, la physiologie, la biologie moléculaire et la génétique. La gestion des mauvaises herbes qui est un aspect aussi abordé par les malherbologistes reste l'objectif ultime et le côté le plus considéré (Monaco *et al.*, 2002). Ainsi, la malherbologie est considérée comme un modèle d'intégration de plusieurs disciplines (ex. botanique générale, physiologie végétale, phytotechnie, sciences du sol, phytatrie, phytopharmacie, machinisme, etc.), selon une approche systémique pour trouver des solutions à des problèmes pratiques. Les mauvaises herbes, malherbes ou adventices sont aussi des plantes comme les autres, mais elles sont indésirables là où elles se trouvent. Elles peuvent être indésirables dans un territoire de cultures qui s'étend du pot du pépiniériste à la forêt du sylviculteur ou au parcours du pastoraliste en passant par le jardin, le champ, la prairie, etc. La notion de la dualité « plante désirable ou à protéger et plante indésirable ou maudite » n'a émergée que lorsque l'être humain a commencé la domestication des plantes sauvages comme premières cultures dont il tirait profit.

Sur la base des échelles géologiques ou de l'évolution de notre planète, l'agriculture ainsi que les milieux créés par l'Homme semblent être considérés récents. Il est admis que les plantes existaient avant la mise en culture des terres et que l'histoire de l'agriculture et des mauvaises herbes n'a commencé que depuis environ 10 000 ans (de Wet, 1966). Les mauvaises herbes sont, avant tout, des végétaux qui existaient avant l'apparition de l'Homme sur terre et que la notion de « mauvaise herbe » est un concept purement anthropocentrique. Ces plantes sont tout simplement une conséquence attendue de l'évolution de la domestication des cultures et de l'environnement (Dekker, 2011). L'Homme n'a commencé à distinguer les plantes à protéger de celles à contrôler que lorsqu'il est passé de la chasse et/ou de la cueillette au semis des premières cultures. Plus la population de la planète augmente, plus l'Homme utilise de plus en plus son environnement pour son bien-être, et par conséquent, plus il entre en « conflit » avec plus de plantes. Ainsi, la liste des plantes qui sont ou seront classées dans la catégorie des mauvaises herbes ne cesse de devenir de plus en plus large. Effectivement, aux

mauvaises herbes des cultures s'ajoutent celles des milieux aquatiques, des forêts, des parcours, des pelouses, des jardins, etc. La notion de mauvaise herbe n'est pas absolue mais relative et liée au degré d'artificialisation du milieu, et par conséquent, elle change avec le temps, l'espace et le contexte. Etant donné que cette notion dépend fortement de la perception humaine subjective, les scientifiques n'arrivent pas à concevoir une définition universelle et acceptable par tout le monde.

Deux termes sont largement utilisés pour désigner toute végétation indésirable, adventice et mauvaise herbe. 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 ». Au vu de 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 mauvaise herbe est réservée au domaine de désherbage (Chauvel *et al.*, 2018). Le concept de mauvaise herbe renferme dans les récentes définitions de cette catégorie de plantes une facette de nocivité vis-à-vis des cultures, de l'homme, des animaux et d'autres milieux exploités pour les activités humaines. En d'autres termes, les adventices ont un impact sur l'environnement et interfèrent avec les activités et le bien-être des humains. De ce fait, les mauvaises herbes font partie des ennemis de cultures et causent des problèmes phytosanitaires comme les champignons, les insectes, les bactéries, les virus, etc. La connaissance des différentes nuisibilités des mauvaises herbes est très importante pour prendre les actions appropriées ou qui s'imposent pour atténuer leurs effets négatifs. La nature et l'ampleur de l'impact des adventices dépendent de type d'activités humaines.

En général, les mauvaises herbes sont considérées comme l'une des contraintes biologiques à l'obtention des rendements élevés des cultures, au moment où il est demandé aux agriculteurs d'augmenter leurs productions agricoles sur des superficies cultivables limitées. Ainsi, depuis l'apparition de l'agriculture jusqu'à nos jours, la gestion des mauvaises herbes est un souci majeur et constitue, par conséquent, une bataille et une préoccupation continues. On pourrait alors estimer que la malherbologie a commencé quand l'agriculteur a défini les mauvaises herbes et a cherché divers moyens ou méthodes de les combattre. Bien que le début de la malherbologie ne soit pas clair et déterminé, elle est devenue une discipline incontournable dans le domaine agricole durant ce dernier siècle. L'histoire de la malherbologie est caractérisée par trois ères bien distinctes. L'ère de préhistoire (avant 1945) où les mauvaises herbes ont été reconnues universellement comme plantes indésirables qu'il faut éliminer. Durant cette époque, les mauvaises herbes ont été contrôlées principalement manuellement et puis progressivement avec des petits outils, des animaux et d'autres outils tractés à la fin de cette ère. La deuxième

ère correspond à l'histoire récente ou les débuts de l'histoire (entre 1940 et 1980) et considérée l'ère de la naissance et de l'apogée de la malherbologie suite à la découverte, la synthèse et à l'utilisation des herbicides. Malgré le succès des herbicides dans le contrôle des mauvaises herbes, ces dernières continuent à être présentes dans les champs des cultures et/ou les milieux infestés. L'ère actuelle (de 1980 à aujourd'hui) où plusieurs méthodes de gestion des mauvaises herbes sont utilisées comme les luttes préventive, culturale, physique, mécanique, biologique et chimique. Ces méthodes sont utilisées seules ou combinées selon les principes de la gestion intégrée des adventices. L'application d'un seul herbicide ou du mélange de plusieurs herbicides permet de contrôler efficacement la majorité des espèces adventices. Cependant, quelques problèmes ont surgi ces dernières décennies, suite à une utilisation excessive et/ou exclusive des herbicides. En fait, la résistance des adventices aux herbicides et l'impact négatif de ces derniers sur l'environnement caractérisent bien cette époque (Radicetti, 2012).

La malherbologie a connu, le long de son histoire, beaucoup de succès dans le domaine de la recherche fondamentale et appliquée, de l'enseignement agricole et de la vulgarisation des solutions pratiques pour résoudre le problème des mauvaises herbes aussi bien dans les milieux cultivés et que dans les milieux non cultivés. Cependant, la découverte de l'herbicide 2,4 D (acide 2,4-Dichlorophénoxyacétique) les années 1940 a complètement changé l'histoire de la malherbologie en lui donnant le vrai coup d'envoi et l'opportunité d'émerger en tant que discipline et/ou spécialité à part entière parmi les sciences agronomiques en général et celles de la protection des plantes en particulier (Zimdahl, 2007; Varanasi et Jugulam, 2017). A l'instar des autres ennemis des plantes, la gestion des mauvaises herbes constitue une bataille continue qui affronte beaucoup de difficultés et de défis. Parmi ces derniers, auxquels les scientifiques et les malherbologistes font actuellement face et essayent de mettre en place des barricades pour riposter aux phénomènes de la résistance des mauvaises herbes aux herbicides chimiques, aux invasions biologiques y compris les plantes envahissantes, au changement climatique global ou le réchauffement planétaire et à la démographie galopante de la population de notre planète. Relever ces défis, met la pression sur les malherbologistes à concevoir et/ou à développer des technologies de pointe pour mettre au point des méthodes innovantes et des stratégies de gestion durable des mauvaises herbes qui pourraient être intégrées dans les systèmes de cultures actuels ou futurs (Ward *et al.*, 2014; Chauhan *et al.*, 2017).

En plus de leur variabilité génétique, les mauvaises herbes ont développé des traits d'adaptation et de survie qui leur permettent de réagir rapidement à tout changement dans les écosystèmes habités et de dominer les autres plantes voisines. De ce fait, les études relatives à la biologie et à l'écologie de cette catégorie de

plantes, qui sont traitées dans cet ouvrage pédagogique, forment le socle fondamental de la malherbologie vu leurs rôles dans la conception des méthodes de lutte efficaces contre cette végétation indésirable. Effectivement, Chauhan *et al.* (2017) ont rapporté que, même à l'ère où le désherbage chimique est prévalent, les connaissances de la biologie des mauvaises herbes semblent indispensables et pourraient servir de base à une gestion pratique des mauvaises herbes. Ils ont ajouté que diverses approches permettant de relier les études de la biologie des mauvaises herbes à la gestion pratique des mauvaises herbes sont nécessaires. Généralement, toute méthode de lutte vise à changer l'équilibre des populations végétales dans une communauté végétale vers une direction contraire au sens logique de l'évolution écologique (Zimdahl, 2007; Varanasi et Jugulam, 2017). A titre d'exemples, les connaissances sur la germination et la persistance des semences des mauvaises herbes dans un sol sont nécessaires pour comprendre les facteurs qui régissent leur dynamique dans un écosystème. En outre, la détermination des facteurs qui influent sur la reproduction, la multiplication et la dissémination des mauvaises herbes est aussi importante pour concevoir des stratégies qui réduisent ou empêchent l'introduction et/ou la dissémination des adventices et surtout les plantes envahissantes dans d'autres régions ou écosystèmes.

Première partie:

Nature et reconnaissance des adventices

Page laissée vierge

Chapitre 1: Nature des adventices

1. Notion d'adventice

La compréhension des relations et/ou des interactions existantes entre l'être humain et les adventices doit commencer par admettre que les adventices sont, avant tout, des végétaux qui existaient avant l'apparition de l'Homme sur terre et que la notion « adventice » est un concept purement anthropocentrique. Cet anthropocentrisme est dû à deux principales raisons. Premièrement, c'est l'Homme qui a baptisé cette catégorie de plantes indésirables ou « maudites » sans leur donner l'occasion de se défendre contre cette accusation ! Deuxièmement, ces plantes sont tout simplement une conséquence attendue de l'évolution de la domestication des cultures et de l'environnement (Dekker, 2011). En se considérant le "maître du monde", l'être humain s'est automatiquement attribué la capacité de qualifier qui était "utile" et qui était "nuisible". Tout organisme échappant à son contrôle et à sa vision des choses est ainsi déclaré « ennemi » à combattre. Donc, l'Homme n'a commencé à distinguer les plantes à protéger de celles à contrôler que lorsqu'il est passé de la chasse et/ou la cueillette au semis des premières cultures. Ainsi, la notion « adventice » renferme le caractère de nuisance des plantes au bien-être de l'Homme ou tout simplement leur présence n'est pas souhaitée dans un milieu exploité par l'Homme.

Plus la population des humains augmente, plus l'Homme utilise de plus en plus son environnement pour son bien-être, et par conséquent, plus il entre en « conflit » avec plus de plantes. Ainsi, la liste de plantes qui sont ou seront classées dans la catégorie des mauvaises herbes devient de plus en plus large. Aux mauvaises herbes des cultures s'ajoutent celles des milieux aquatiques, des forêts, de parcs, des pelouses, des jardins, etc. 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 spécifique. Holzner (1982) a souligné que cette notion de mauvaise herbe n'est pas scientifique, mais c'est une « propriété publique ». Etant public et subjectif, ce concept n'est pas partagé par tout le monde et diffère d'une personne (ou groupe de personnes) à une autre (ou à autre groupe). Ainsi, la notion de mauvaise herbe n'est pas absolue mais relative et liée au degré d'artificialisation du milieu, et par conséquent, elle change avec le temps, l'espace et le contexte. En agriculture vivrière ou dans les régions à agriculture moins intensive où celle-ci est associée à l'élevage, les mauvaises herbes sont recherchées et utilisées pour l'alimentation du bétail. En dehors de ce contexte, toute plante autre que la plante semée est considérée indésirable et devrait être éliminée. Même,

la présence des repousses d'une culture précédente dans une culture successive (ex. repousses du blé dans un champ de betterave à sucre) est aussi non souhaitée. L'extrême de ce refus est noté chez les producteurs de semences qui ne tolèrent pas la cohabitation de deux variétés (d'une même espèce cultivée) sur la même parcelle à cause de la pureté spécifique exigée par la législation relative à la certification des semences et des plants. Dans une exploitation où les mesures préventives ne sont pas pratiquées, le statut des herbes poussant sur les bordures des champs, le long des chemins ou dans les parcelles non cultivées n'ont pas le même statut que celles qui se trouvent à l'intérieur d'une parcelle labourée. Enfin, certaines plantes qualifiées de mauvaises herbes par les cultivateurs sont au contraire appréciées par les pastoralistes, les paysagistes, les fleuristes (fleurs sauvages), les naturalistes, les herboristes, etc.

2. Terminologie et définitions

La maîtrise d'une discipline ou d'une matière passe par la connaissance et la compréhension de ses concepts de base. Pour la malherbologie, l'un des concepts les plus importants réside dans le terme « mauvaise herbe » lui-même (Zimdahl, 2007). Ce terme dépend fortement de la perception humaine subjective, et les scientifiques n'arrivent pas à concevoir une définition universelle et acceptable par tout le monde. Godinho (1984) a essayé à travers une synthèse bibliographique de trouver la définition de « mauvaise herbe », « adventice » en Français, « weed » en Anglais et de « Unkraute » en Allemand. La compilation de plusieurs définitions lui a permis de conclure qu'il est difficile de trouver une seule définition satisfaisante. De même, Zimdahl (2007) a classé les différentes définitions rassemblées par Harlan et de Wet (1965) en trois catégories: celles des scientifiques basées sur la nuisibilité, celles des amateurs enthousiastes basées sur l'utilité et celles des écologistes qui considèrent les mauvaises herbes comme des pionnières de la succession secondaire et que le champ cultivé n'est qu'un cas spécial. Deux principales raisons sont derrière l'absence de l'unicité de la définition, a) la subjectivité et la relativité du terme ou du concept et b) l'élargissement continu du contingent (ou liste) des espèces indésirables suite à l'utilisation accrue de plusieurs milieux par l'Homme (Holzner, 1982).

Deux termes sont largement utilisés pour désigner toute végétation indésirable, **adventice** et **mauvaise herbe**. L'Association Française de Protection des Plantes (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** ». Etymologiquement, l'adventice est pris du mot latin *adventicius* qui veut dire advenir, qui advient, ou qui vient du dehors ou du mot *adventium* qui signifie supplémentaire. Donc une plante introduite dans

un milieu et qui s'ajoute à un peuplement végétal auquel elle est initialement étrangère. 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'aventice 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 *et al.*, 2018). Dans cet ouvrage, les termes 'adventice' et 'mauvaise herbe' sont des synonymes bien que le premier terme soit en réalité inclus dans le second.

D'autres termes sont aussi utilisés pour désigner les adventices ou un groupe de celles-ci. Sur la base de l'espace occupé, deux grandes catégories d'aventices sont distinctes: les **rudérales** et les arvaies ou **agrestales** sans écarter la possibilité de trouver des adventices qui peuvent appartenir aux deux catégories. Le mot rudéral est tiré du latin (ruderus) qui signifie « ruines » ou « décombres ». Les espèces rudérales se trouvent ainsi dans les milieux non cultivés où les perturbations sont très sévères et fréquentes tels que les ruines, décombres, décharges, friches, bordures des chemins et des champs, rives des fleuves, voies ferrées, terrains incultes, proximités des habitations, etc. Dans ces milieux, on y trouve deux types de végétation, des plantes spontanées ou sauvages et des plantes férales (repousses des cultures devenues sauvages). Quant aux arvaies ou agrestales, dont le nom provient du mot latin « arvum » ou « ager » qui signifie le champ cultivé, sont associées au milieu cultivé. Cette catégorie est aussi appelée les **commensales**, dont le nom est tiré du latin (cum = avec, mensa = table), et qui désignent des plantes qui poussent spontanément dans les cultures et partagent avec celles-ci les ressources du milieu. Les **messicoles** ou **ségétales** est un sous-groupe de plantes annuelles à germination préférentiellement hivernale habitant les moissons (céréales) (segetalis = seges = messis = moisson). Certaines espèces d'aventices ont des noms qui indiquent bien leur catégorie ou leur groupe d'espèces comme par exemple *Convolvulus sepium*: liseron des **haies** (en latin saepes = haie), *Convolvulus arvensis*: liseron des **champs**, *Chrysanthemum segetum*: chrysanthème des **moissons** et *Veronica agrestis*: véronique des **champs**.

Les plantes **envahissantes** ou **invasives** constituent une autre catégorie d'aventices ou de plantes indésirables. Récemment, ces plantes commencent à se distinguer de la flore adventice habituelle et à prendre plus d'importance et d'attention. On considère envahissantes, les espèces indigènes, allogènes ou exotiques, qui peuvent très bien concurrencer la végétation indigène et devenir des espèces dominantes des habitats naturels, semi-naturels ou artificialisés. Les plantes envahissantes causent des problèmes importants et sérieux à cause de

leurs impacts social, environnemental et économique. Malheureusement, les effets spectaculaires des plantes envahissantes sur les écosystèmes naturels ne sont reconnus que depuis quelques années. La majorité des plantes envahissantes est constituée de plantes exotiques, mais seule une faible proportion des plantes exotiques est envahissante. La prolifération des espèces (végétale et animale) exotiques est devenue un enjeu international. La Convention sur la biodiversité a reconnu leur impact planétaire et encourage à contenir et à surveiller les espèces exotiques qui menacent les écosystèmes, habitats et espèces indigènes (PNUE, 1994).

3. Caractéristiques des adventices

Pour répondre aux besoins alimentaires de la population planétaire, la production agricole est basée essentiellement sur quelques espèces (riz, blés, maïs, soja, fève, pomme de terre, etc.) sélectionnées mais renforcées avec des intrants (surtout avec des engrais et des pesticides) pour s'épanouir dans les habitats perturbés et produire abondamment les produits alimentaires recherchés. De même, les adventices ont été aussi sélectionnées naturellement pour se développer dans les biotopes perturbés et produire elles aussi des quantités importantes de semences qui ne sont pas utilisables directement dans l'alimentation humaine (Manning, 2004). Ainsi, la notion d'adventice pourrait être aussi comprise à un niveau qui dépasse les définitions subjectives en observant les traits ou les caractéristiques biologiques et adaptatifs ayant permis à cette catégorie de plantes indésirables de réussir avec succès l'exploitation des milieux perturbés naturellement ou artificiellement.

Ces traits ou caractéristiques sont liés aux différentes phases du cycle de développement des adventices: de la germination ou la régénération jusqu'à la reproduction. La réussite d'une plante à acquérir le statut ou le qualificatif d'une adventice n'exige pas la réunion de tous ces caractères, mais parfois un seul ou peu de caractères suffisent pour rendre une plante indésirable et/ou très nuisible. De même, l'absence de ces traits n'implique pas forcément qu'une plante ne sera pas indésirable. Les fortes pressions de sélection, exercées par le remaniement fréquent du sol et l'utilisation de différentes méthodes de désherbage, ont conduit à une certaine homogénéisation des conditions des parcelles cultivées. Ceci a relativement facilité la tâche aux chercheurs de relever ou d'observer les caractéristiques fréquemment associées aux adventices. Baker (1965) fut le premier à proposer une liste des caractéristiques de l'adventice idéale ou la plus redoutable. Il a ainsi énuméré un nombre de traits liés essentiellement à la reproduction, la germination, la croissance, la dissémination et les interactions entre les adventices et les plantes cultivées:

- Exigences de germination remplies dans de nombreux milieux,
- Germination échelonnée,

- Grande longévité des semences,
- Croissance rapide du stade végétatif à la floraison,
- Production grainière continue tant que les conditions sont favorables,
- Auto-fécondation possible mais pas nécessairement autogamie ou apomixie,
- Pollinisation non spécialisée,
- Grande production des graines dans les conditions favorables,
- Production des graines possible dans plusieurs environnements,
- Adaptation à la dissémination sur courte et longue distances,
- Grande capacité de compétition interspécifique,
- Pour les vivaces: reproduction végétative importante, régénération à partir des fragments et séparation facile de la partie aérienne de la partie souterraine.

Plusieurs auteurs ont considéré que ces traits biologiques sont liés au potentiel d'invasion d'une espèce. Mais, Baker n'a pas fait de distinction entre les plantes exotiques et les plantes indigènes. Cependant, Pyšek et Richardson (2008) ont signalé que les espèces choisies par Baker pour illustrer les traits de l'adventice idéale ou super adventice, étaient en fait des espèces exotiques envahissantes. A ces caractéristiques, il faut ajouter la capacité de ces espèces à évoluer dans les milieux cultivés colonisés. Généralement, les adventices s'installent suite à plusieurs introductions à partir des régions différentes, ce qui leur permet de maintenir voire d'augmenter leur diversité génétique et leur capacité d'adaptation aux nouvelles conditions.

4. Origine des adventices

Sur la base des échelles géologiques ou de l'évolution de notre planète, l'agriculture ainsi que les milieux créés par l'Homme semblent être considérés récents. L'origine des mauvaises herbes est une autre facette de leur nature et dont la connaissance s'impose pour réussir leur gestion. Il est admis que les plantes existaient avant la mise en culture des terres et que l'histoire de l'agriculture et des adventices n'a commencé que depuis environ 10 000 ans (de Wet, 1966). Au fil des temps, les espèces indigènes ont été échangées entre les régions avec l'introduction des cultures (Gasquez, 2018). Ce processus a donc démarré dès les prémices de l'agriculture au néolithique avec l'introduction des premières céréales depuis le Proche-Orient. Les espèces adventices introduites durant cette période sont désignés d'archéophytes. Une seconde vague d'introductions a débuté avec la découverte des Amériques. Ces espèces nouvellement arrivées sont désignées par le terme de néophytes.

Avec la rareté des sites archéologiques botaniquement exploitables, il est délicat de classer les espèces en indigènes ou archéophytes. Ainsi, il est admis qu'à l'exception des néophytes, toutes les adventices participent à la flore spontanée depuis plusieurs millénaires. En outre, plusieurs botanistes considèrent les archéophytes comme espèces spontanées. Ainsi, la flore existante dans une région géographique est une fusion entre les espèces indigènes ou autochtones, les espèces introduites des autres régions et les espèces dérivées directement des cultures (férales et plantes génétiquement modifiées) ou hybridation entre les cultures et leurs ancêtres sauvages. Dans ce dernier cas, des formes de tournesol mauvaises herbes (tournesols adventices) ont été trouvées en France et dans d'autres pays européens comme l'Espagne et l'Italie. Ces plantes appartiennent à la même espèce que le tournesol cultivé (*Helianthus annuus*), mais s'en distinguent morphologiquement, en présentant notamment des traits caractéristiques de la forme sauvage de l'espèce (Muller *et al.*, 2012). Cette diversité des origines souligne bien que les espèces composant la flore adventice des champs cultivés ont cependant un point commun: l'adaptation aux perturbations et aux techniques culturales qui ont favorisé leur extension (Fried, 2007).

L'analyse de l'origine des adventices associées à deux principales cultures au Maroc (céréales d'automne et betterave à sucre) a permis de souligner la faible représentativité des espèces endémiques, la dominance de l'élément méditerranéen et la présence des espèces originaires d'Asie, d'Europe, d'Amérique et de l'Afrique (Tableau 1.1). Plus de 50% des espèces adventices des deux cultures sont méditerranéennes. Ceci confirme bien la position botanique du Maroc au sein de la méditerranée. Plusieurs espèces adventices renferment dans leurs noms leurs appartenances ou origine géographiques comme par exemple:

- *Centaurea maroccana*: la centaurée marocaine
- *Convolvulus gharbensis*: le liseron du Gharb (Maroc)
- *Psoralea americana*: la psoralée d'Amérique
- *Vaccaria hispanica*: la vaccaire d'Espagne
- *Calendula aegyptiaca*: le souci d'Egypte
- *Vicia benghalensis*: la vesce du Bengale
- *Notobasis syriaca*: le chardon de Syrie
- *Malva nicaeensis*: la mauve de Nice (France)

Tableau 1.1: Origine des adventices des céréales d'automne et de la betterave à sucre au Maroc (Taleb *et al.*, 1998, 2000).

Origine des espèces	Contribution en %	
	Céréales d'automne	Betterave à sucre
Méditerranéennes	65,9	50,7
Européennes	3,3	5,5
Euro asiatiques	3,3	5,5
Américaines	0,8	4,9
Ibéro mauritaniennes	5,2	2,8
Tropicales	2,9	1,4
Endémiques	5,6	6,9
Autres	13,0	22,3

5. Nuisance des adventices

Le concept d'adventice renferme dans les récentes définitions de cette catégorie de plantes, indésirables là où elles se trouvent, une facette de nocivité vis-à-vis des cultures, de l'homme, des animaux et d'autres milieux exploités pour les activités humaines. En d'autres termes, les adventices ont un impact sur l'environnement et interfèrent avec les activités et le bien-être des humains. Elles font partie des ennemis de cultures et causent des problèmes phytosanitaires comme les champignons, les insectes, les bactéries, les virus, etc. La connaissance des différentes nuisibilités des adventices est très importante pour prendre les mesures appropriées ou qui s'imposent pour atténuer leurs effets négatifs. La nature et l'ampleur de l'impact des adventices dépendent du type d'activités humaines.

5.1. Activités agricoles

Les activités agricoles se réfèrent aux productions végétales et animales. La production animale englobe aussi bien l'élevage dans la ferme ou l'exploitation que sur les parcours pastoraux. Avant les activités agricoles, d'emblée il est à signaler que la valeur vénale des terres agricoles est affectée lorsqu'elles sont infestées par une ou des adventices difficiles à gérer comme le jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.), le palmier nain (*Chamaerops humilis* L.), etc. Dans la région du Tadla, le prix de vente des terres agricoles infestées par la morelle à feuilles d'Elaeagnus ou morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) est réduit de 25% (Bouhache, 2010).

Etant des végétaux, les adventices ont aussi besoin de l'eau, des nutriments du sol et de la lumière pour leur croissance et leur développement. Ainsi, la présence des adventices dans un champ cultivé entraîne l'utilisation de ces ressources au

détriment de la culture. L'exploitation des ressources par les adventices impacte négativement la quantité des produits récoltés. La compétition entre la culture et les adventices est intense entre les plantes des espèces ayant des ressemblances morphologique et physiologique qu'entre les plantes d'une culture. Le brome dans une culture du blé et le riz sauvage dans une culture du riz pourraient entraîner des pertes de rendement qui dépassent 90% (Obsev. Pers.).

La présence des mauvaises herbes est préjudiciable non seulement à la quantité récoltée mais aussi à la qualité des produits agricoles et à l'exécution facile de certaines opérations agricoles. Le non contrôle des adventices dans une culture entraîne parfois une certaine dépréciation du produit récolté: la contamination des lots de semences des cultures par celles des adventices chez les semenciers, l'attaque de la menthe par la cuscute qui devient inconsommable, les tubercules de la pomme de terre traversés par les rhizomes du chiendent ou du souchet à tubercule, etc. La situation devient encore plus grave lorsque certaines pratiques culturales sont entravées par la présence des adventices et non réalisées à temps: difficultés de récolte (végétation de fin du cycle, ralentissement du fonctionnement des machines, pertes à la récolte, espèces épineuses, verse physique de certaines cultures due aux adventices), bourrage des outils du travail du sol et obstruction des canaux d'irrigation ou de drainage ou de micro-irrigation. Dans ce dernier cas, Il a été observé dans une luzerne irriguée, avec la technique de goutte à goutte au Loukkos, que les stolons du chiendent (*Cynodon dactylon*) s'installent dans les goutteurs et bouchent leurs orifices, ce qui prive la culture d'eau d'irrigation.

Les adventices pourraient être aussi derrière l'aggravation de l'état sanitaire des cultures. Premièrement par la création des conditions favorables aux autres ennemis. Ainsi, la présence des adventices dans une céréale ou une fève ou une féverole augmente l'humidité, et par conséquent, favorise le développement de l'oïdium et du botrytis (maladies fongiques) sur ces cultures, respectivement. Les insectes, acariens et escargots utilisent les adventices comme milieux favorables à leur pullulation. De même, les oiseaux utilisent les adventices de fin du cycle dans une céréale comme perchoirs pour picoter les épis qui se trouvent autour. Deuxièmement, les adventices assurent le rôle de relais ou de réservoirs pour les maladies et insectes. Taleb *et al.* (1999) avaient recensé 156 adventices hôtes des agents pathogènes responsables des maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maroc (Tableau 1.2). Par exemple, les premiers stades de l'agent de la rouille brune du blé (*Puccinia triticina*) se déroulent sur son hôte alternatif: *Anchusa italica* (lsane el aârd).

Tableau 1.2: Inventaire des adventices hôtes des ennemis des céréales et des légumineuses alimentaires au Maroc (Taleb *et al.*, 1999).

Catégorie des espèces	Nombre	Contribution (%)
Monocotylédones	72	46,1
- Graminées	65	41,7
- Autres	07	04,4
Dicotylédones	84	53,9
-Légumineuses	28	18,0
- Autres	56	35,9
Total	156	100,0

Par ailleurs, beaucoup d'adventices ont été rapportées comme hôtes ou réservoirs de cette catégorie d'ennemis de cultures. Des prospections réalisées dans la région de Berkane, Saïss, Gharb et du Souss ont permis d'identifier 64 espèces de plantes hôtes (dont 38 adventices) hébergeant la mouche blanche (*Bemisia tabaci*) (Tahiri *et al.*, 2010). Cette mouche est le vecteur de transmission des virus responsables de la maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate. Un taux de transmission de 100% a été obtenu expérimentalement dans le cas de *Malva parviflora* L. et *Datura stramonium* L., 80% dans le cas de *Sonchus oleraceus* L., 60% dans le cas de *Conyza canadensis* L. et 20% dans le cas de *Chenopodium murale* L. Ces plantes hôtes pourraient donc jouer un rôle dans le maintien de l'inoculum viral dans les régions où la tomate n'est pas cultivée toute l'année (Tahiri *et al.*, 2010).

La production animale basée essentiellement sur l'élevage n'est pas à l'abri des effets négatifs des adventices. L'envahissement d'une culture fourragère ou un parcours pastoral par des adventices entraîne inéluctablement une réduction de la quantité et/ou de la qualité des fourrages produits. Malheureusement, beaucoup d'agriculteurs ou éleveurs sont plus gênés par les intoxications causées par les plantes toxiques. Effectivement, les intoxications végétales sont fréquentes au Maroc et peuvent survenir d'une façon imprévisible aussi bien dans le temps que dans l'espace. Généralement, les animaux connaissent les plantes toxiques, mais ces dernières peuvent être consommées en cas de disette ou de dépravation du goût de l'animal. De même, la sécheresse et le surpâturage peuvent être des facteurs qui poussent les animaux à s'exposer à ce danger (Abdennebi et Taleb, 2019). Les travaux réalisés à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (I.A.V. Hassan II) sur cet aspect ont permis de recenser 112 espèces toxiques vis-à-vis des animaux domestiques au Maroc (Abdennebi et Taleb, 2019). Presque la moitié de ces espèces (55) sont des adventices fréquentes dans notre pays dont des exemples sont donnés dans le tableau 1.3.

Tableau 1.3: Effets et nombre des adventices toxiques vis-à-vis des animaux domestiques au Maroc (Abdennebi et Taleb, 2019).

Troubles causés	Nombre d'espèces	Exemple d'Adventices	Nom marocain
Digestifs et nerveux	29	<i>Datura stramonium</i> L.	Chdek Jmel
		<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Chouika safra
Digestifs et cardiaques	3	<i>Adonis aestivalis</i> L.	Dem el atrous
Digestifs et respiratoires	5	<i>Atractylis gummifera</i> L.	Addad
		<i>Sinapis arvensis</i> L.	Bahammou
Digestifs et rénaux	5	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Blitou
		<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Hoummida safra
Sanguins	4	<i>Ferula communis</i> L.	Boubal, Klakh
		<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Bahammou l'har
Reproduction	1	<i>Trifolium repens</i> L.	Nefla
Irritation et photosensibilité	6	<i>Ammi majus</i> L.	Tlaylane
		<i>Urtica urens</i> L.	Harriga
Plantes cyanogénétiques	2	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Tasalast, Sorgo
		<i>Vicia sativa</i> L.	Bouzghiba

5.2. Activités non agricoles

Bien que la nuisance des adventices soit beaucoup ressentie dans le domaine agricole, elle a aussi des retombées environnementales et socio-économiques importantes dans le cas où des mesures de leur surveillance ou de contrôle ne sont pas prises à temps et comme il faut. Les adventices et surtout les plantes exotiques envahissantes affectent négativement la biodiversité locale et le fonctionnement des écosystèmes. Le développement de cette végétation indésirable entraîne souvent et localement une modification quantitative et/ou qualitative d'espèces végétales ou animales. De même, ces plantes peuvent également avoir dans certains cas un impact sur le fonctionnement des écosystèmes, en modifiant par exemple les propriétés physico-chimiques du sol ou des milieux aquatiques (voir adventices aquatiques ci-après).

L'intoxication et l'allergie sont deux principaux problèmes de la santé publique dus aux plantes en général et aux adventices en particulier. Une étude rétrospective sur les intoxications aiguës par les plantes déclarées au Centre Anti Poison du Maroc (CAPM), durant la période 1989 – 2007, a permis de recenser 2771 cas d'intoxications par les végétaux au Maroc, ce qui représente 3,01% de tous les cas reçus avec un taux de mortalité de 6,2% (Ghalem *et al.*, 2010). Les plantes adventices les plus fréquemment impliquées sont par ordre d'importance: *Atractylis gummifera* L. (Addad), *Peganum harmala* L. (Lhermel), *Datura stramonium* L. (Chdek Jmel), *Ricinus communis* L. (Kharouaa), *Mandragora autumnalis* Bertol (Bayd elghoul) et *Papaver somniferum* L. (Kherchacha). Durant la période 1981-2004, 240 patients ont été hospitalisés suite aux intoxications par *Atractylis gummifera* dont 72% sont des enfants de moins de 16 ans. L'évolution des intoxiqués était défavorable pour 98% avec un taux de létalité de 54% (Hami *et al.*, 2008). Les principales causes d'intoxication aux plantes sont: exposition accidentelle due à une erreur d'identification, exposition intentionnelle pour des raisons suicidaires ou abortives et recours à la médecine traditionnelle.

La pollinose ou « rhume des foin » regroupe l'ensemble des manifestations allergiques dues au pollen des plantes et des arbres qui irritent les yeux, le nez et les bronches. C'est une affection très répandue à l'échelle mondiale puisque 10 à 30% de la population mondiale en souffre (Dhivert-Donnadieu et Bousquet, 1996). Au Maroc, une étude multicentrique a révélé que les sensibilisations aux pollens chez les patients suivis pour asthme et/ou rhinite et/ou conjonctivite sont de 28% (Yazidi *et al.* 2001). Effectivement, plusieurs personnes au Maroc souffrent d'une allergie au pollen de certaines plantes herbacées et arbres. Les espèces anémophiles (pollinisation par le vent) qui libèrent leurs pollens allergisants dans l'atmosphère appartiennent à plusieurs familles botaniques telles que les *Conifères*, *Urticaceae*, *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*, *Salicaceae*, *Platanaceae*, *Asteraceae* et *Poaceae*. Rien que les deux dernières familles fournissent à elles seules 213 espèces d'adventices, ce qui représente 25,1% de la flore adventice du Maroc (Boulet *et al.*, 1989). Ainsi, la population marocaine n'est pas à l'abri de la pollution aérobiologique de son atmosphère due aux adventices. A ce cortège s'ajoute l'ambrosie (*Ambrosia cornopifolia* Torr. & A. Gray) qui est une adventice envahissante allergisante nouvellement introduite au Maroc (Tani et Taleb, 2010). Les brûlures des orties est une autre facette de l'effet négatif des adventices sur la santé humaine connu depuis longtemps par la population et surtout par les petits enfants. L'ortie est couverte de poils rigides qui, au moindre contact avec la peau, libère un liquide riche en histamine, ce qui provoque la brûlure et la formation de petites cloques connues par l'effet urticant.

Le développement des adventices peut être à l'origine d'une augmentation des risques d'accidents de circulation ou d'incendies et de la dégradation de l'image et

l'esthétique de certains milieux en perturbant certaines activités récréatives qui y prennent place. Chaque année, cette végétation spontanée est éliminée autour des lieux industriels et le long des routes, autoroutes, voies ferrées et aux aéroports pour améliorer la visibilité de ces infrastructures ainsi que celle des panneaux de signalisation qui s'y trouvent et d'empêcher le démarrage des incendies en été à partir de ces végétaux à l'état sec. En milieu urbain, les adventices dégradent les revêtements des allées, des trottoirs, des monuments et nuisent à l'esthétique des espaces verts. Une étude de l'ensemble des espaces verts de la ville de Berkane (environ 40 lieux sur une superficie de 20 ha) a permis de noter que ces lieux de récréation sont envahis par 153 espèces d'adventices appartenant à 34 familles botaniques (Chafik *et al.*, 2010). Ces familles comprennent quatre monocotylédones dont 30 genres et 36 espèces, et 30 dicotylédones renfermant 90 genres et 117 espèces (Chafik *et al.*, 2010). De même, les monuments et les sites historiques n'échappent pas aux préjudices de la végétation spontanée. Les trois études réalisées au Maroc ont permis de relever que les édifices mémoriaux et historiques de Rabat et de Salé sont envahis par 171 adventices (Taleb *et al.*, 2005), ceux de Mehdiya et de Kénitra par 70 espèces (Zaidi *et al.*, 2016) et enfin ceux d'Ouezzane par 49 adventices. Ces adventices, s'insérant dans les joints ou les fissures, ont une action chimique sur les pierres par les acides qu'elles libèrent et aussi une action mécanique par la croissance de leurs racines à l'intérieur des fissures. Ainsi cette végétation indésirable est considérée l'une des causes biologiques les plus importantes de la dégradation des monuments historiques.

Les milieux aquatiques tels que les barrages, les lacs, les pièces d'eau et les rivières ou les fleuves sont souvent envahis par une catégorie de végétation bien adaptée à ces environnements humides et désignée par « mauvaises herbes aquatiques ». En plus des espèces aquatiques habituelles (Algues, *Typha*, *Paspalum*, etc.), deux espèces invasives et redoutables ont été détectées récemment au Maroc: la laitue ou la salade d'eau (*Pistia stratiotes* L.) et la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach). Ces deux plantes causent beaucoup de dégâts socio-économiques et environnementaux dans plusieurs pays. Contrairement à la laitue d'eau qui a réussi à envahir Oued Fès dans le bassin hydraulique de Sebou (Bouhache et Taleb, 2013), la jacinthe d'eau persiste encore dans la première étape de son processus d'invasion (phase de latence). Ainsi, sa présence reste limitée aux pièces d'eau des jardins (publics ou d'hôtels) et des résidences privées et aux pots de certains pépiniéristes ou vendeurs de plantes ornementales (Bouhache, 2019).

Les deux espèces occupent les mêmes sites et leurs effets négatifs sont nombreux et ont un impact direct sur l'environnement, l'économie et la santé humaine. Ainsi, elles gênent l'accès à l'eau pour le bétail et les populations riveraines ainsi que l'activité de la pêche. Elles peuvent aussi empêcher la navigation, bloquer les barrages et les pompes, intercepter la lumière et réduire le taux d'oxygène diffus

dans l'eau. Elles peuvent également augmenter de 2 à 8 fois l'évaporation de l'eau libre de surface (donc une perte énorme d'eau), bouleverser l'équilibre minéral de l'eau, favoriser le dégagement du sulfure d'hydrogène (H₂S) et héberger plusieurs espèces de moustiques vecteurs du paludisme, encéphalomyélite et filariose. Dans les cas de fortes infestations, elles arrivent à recouvrir la totalité de la surface d'eau libre, ce qui se traduit par de graves conséquences écologiques, notamment pour la faune aquatique et la flore autochtone (acidification du milieu, réduction de l'oxygène de l'eau, eutrophisation par décomposition massive des vieilles feuilles, réduction drastique de la lumière (ombrage), accumulation de métaux lourds par la suite relâchés dans le milieu). L'obstruction de la rivière par ces espèces ralentit la circulation de l'eau et peut causer ainsi un débordement de la rivière qui inonderait les habitations se trouvant à proximité des rives (effet observé sur oued Fès au niveau de Ras el Ma) (Bouhache et Taleb, 2013).

6. Services et vertus des adventices

Beaucoup de personnes considèrent que la définition de la notion « adventice » est paradoxale. Les agronomes, les agriculteurs, les éleveurs et d'autres personnes ne voient que la face sombre de ces plantes. Tandis que d'autres les perçoivent être bénéfiques à l'homme en lui rendant des services inestimables. Malheureusement, peu d'études intègrent et quantifient les effets positifs potentiels de la présence des adventices dans les parcelles (DiTommaso *et al.*, 2016). En effet, quels sont les vertus ou les services longtemps oubliés que endent les adventices ?

Les adventices apportent des ressources alimentaires à la faune présente dans les agroécosystèmes (graines pour les oiseaux et les insectes et du pollen et du nectar pour les insectes en général et pour les abeilles en particulier). Les adventices peuvent également constituer un refuge pour les auxiliaires des cultures tels que les coccinelles et d'autres organismes. Plusieurs études ont montré que toute baisse de la diversité floristique s'accompagne toujours d'une baisse de la diversité faunistique. De plus, les adventices permettent de couvrir les sols lorsqu'ils sont nus et donc de réduire l'érosion éolienne et/ou hydrique. Dans la Chaouia, les touffes du jujubier ou sedra (*Ziziphus lotus* (L.) Desf.)» présentes dans les champs cultivés constituent un refuge pour la flore et la faune en servant d'hôte intermédiaire et de foyer réservoir (adventices, mollusques, rongeurs, moineaux espagnols, insectes ravageurs et bactéries). Ainsi, le jujubier participe d'une façon directe à préserver sinon à augmenter la biodiversité des biotopes colonisés. De même, il joue un rôle du premier ordre dans la préservation des sols contre toute action de dégradation (Rsaissi *et al.*, 2012a).

Les adventices sont caractérisées par une grande plasticité phénotypique et une large diversité génétique. Ainsi, la ressource génétique que constituent ces plantes est un enjeu majeur pour la durabilité de la production végétale. En effet, certaines

adventices sont d'anciennes plantes cultivées ou qui pourraient l'être (exemple Avoine cultivée dérivée de la folle-avoine qui est une adventice des céréales). De ce fait, elles peuvent contribuer à adapter les variétés actuellement cultivées à mieux résister aux stress biotique (maladies ou ravageurs) et abiotique (sécheresse, salinité, changement climatique, etc.). Dans plusieurs pays, des institutions nationales ou internationales (principalement de la recherche agronomique) procèdent chaque année à la collecte des semences des espèces spontanées y compris les adventices qui sont traitées et conservées ex-situ dans leurs banques de gènes. Les pays qui n'ont pas les moyens (financier et humain) peuvent considérer la présence des adventices dans les champs comme une sorte de conservation in-situ de ces ressources génétiques !! Malheureusement, certaines espèces sont en voie d'extinction ou déjà disparues à cause de l'utilisation excessive et non justifiée des herbicides ou suite à des invasions biologiques.

En plus du rôle esthétique et emblématique joué par les adventices (fleurs sauvages des soucis des champs, chrysanthèmes, pavots, marguerites, etc.), les adventices sont aussi connues par leurs usages alimentaires (plantes de cueillette) ou thérapeutiques non négligeables aussi bien pour les humains que pour les animaux. A l'instar des autres plantes spontanées, les adventices sont utilisées comme aliments, condiments ou épices. Une des adventices les plus connues (chez les marocains) est la mauve, qui porte le nom archétypique du plat « Beqqula » ou de « Khobbiza ». Une étude ethnobotanique a permis de recenser 246 plantes spontanées (162 herbacées et 84 arbres et arbustes) comestibles par la population des différentes régions du Maroc. La catégorie des plantes herbacées est largement dominée par les adventices fréquentes dans les cultures (Nassif et Tanji, 2013a). Rien que dans la région d'El Jadida, les doukkalis consomment 67 plantes spontanées dont 58 adventices des cultures (Tbatou *et al.*, 2016). Dix sept parmi ces espèces ont été soumises à des analyses au laboratoire pour déterminer leurs compositions nutritives ainsi que leurs valeurs énergétiques et dont quelques exemples sont donnés dans le tableau 1.4 (Tbatou *et al.*, 2018). Cette étude a considéré que les adventices comestibles ont des vertus nutritives similaires sinon meilleures que certaines plantes cultivées.

Avec ces qualités nutritives confirmées, les adventices ont sauvé la vie de beaucoup de marocains dans le passé. Ainsi, Nassif et Tanji (2013b) ont relevé, suite à une étude ethnobotanique, que 18 plantes spontanées (dont 6 adventices) ont été utilisées pour lutter contre les famines et les disettes connues dans l'histoire du Maroc. Ainsi, certaines années sont gravées dans la mémoire collective des marocains et ont été baptisées par l'usage de plantes comme aliments de base. On entend parler de l'année de beqqoul (1579-1580) et des années d'irni (1850 et 1947), etc. (Nassif et Tanji, 2013b).

Tableau 1.4: Humidité (g/100g), composés nutritifs (g/100g) et valeur énergétique (Kcal/100g) du stade végétatif de quelques adventices (Tbatou *et al.*, 2018).

Espèces	Nom marocain	Humidité	Protéines	Lipides	Sucres	Valeur énergétique
<i>Ammi majus</i>	Tlaylane	83,1	4,1	0,14	10,7	60,2
<i>Ridolfia segetum</i>	Tebch, Sili	85,3	2,7	0,17	9,6	50,5
<i>Chrysanthemum coronarium</i>	Kraâ djaja, Gahouan	90,8	2,1	0,08	5,7	31,8
<i>Scolymus hispanicus</i>	Guernina	93,2	1,0	0,08	5,4	26,1
<i>Silybum marianum</i>	Tawra	95,0	0,5	0,01	3,2	14,8
<i>Beta macrocarpa</i>	Selg	89,5	3,2	0,13	5,2	34,6
<i>Chenopodium murale</i>	Beramram	87,9	3,1	0,12	6,4	39,2
<i>Lavatera cretica</i>	Khoubbiza	88,0	4,1	0,21	6,1	42,5
<i>Papaver rhoeas</i>	Belaâman	89,1	3,3	0,22	5,8	38,3
<i>Emex spinosa</i>	Hoummida	90,6	2,6	0,13	5,3	32,7
Epinards		92,8	2,6	0,43	2,3	29,1

L'intérêt des plantes spontanées ne se limite pas uniquement à l'alimentation, mais il s'étend aussi à la santé et aux plaisirs humains. L'effet curatif des plantes médicinales est connu depuis les temps reculés. La médecine traditionnelle a toujours occupé une place importante dans les traditions de médication au Maroc. Il serait difficile de trouver un marocain qui n'a pas utilisé les vertus de M'khinza (*Chenopodium ambrosioides*) comme plante analgésique et Fliyou (*Mentha pulegium*) comme plante anti-rhumes ou grippe. Effectivement, notre pays dispose d'une flore riche et diversifiée et d'un savoir-faire ancestral, qui a été préservé au cours des siècles: la médication par les plantes et l'extraction des substances aromatiques destinées à la parfumerie familiale ou du marché. En outre, le Maroc est un fournisseur traditionnel du marché mondial en plantes aromatiques et médicinales (PAM). Il est classé 12^{ème} exportateur en la matière. Presque la quasi-totalité des PAM provient de la cueillette des plantes spontanées dont les adventices. La compilation des données, à partir de plusieurs documents sur les PAM utilisées ou exploitées au Maroc, a permis de dresser une liste de 382 espèces dont 335 sont des plantes spontanées y inclus 80 adventices (Aafi, n.d.). L'usage de certaines adventices comme PAM, par la population locale des régions d'Oulmès et de Rich, est donnée dans le tableau 1.5.

Tableau 1.5: Exemples d'adventices utilisées comme plantes aromatiques et médicinales au Maroc (Taleb, 2017).

Espèces	Nom marocain	Partie utilisée	Usages
<i>Ammi visnaga</i> L.	Bechnikha	Feuilles, ombelles, plante	Cure-dent, douleurs abdominales
<i>Corrigiola telephiiifolia</i> Pourr.	Sarghina	Racines	Maux d'estomac, affections rhumatismales
<i>Lactuca serriola</i> L.	Hlib lahmara	Feuilles, graines	Antiacide, cheveux
<i>Lavandula multifida</i> L.	Halhal	Sommités fleuries	Sédatif, diurétique; antiseptique
<i>Mentha pulegium</i> L.	Fliyou	Plante fraîche ou séchée	Rhumes, grippe, bronchites
<i>Onopordon dissectum</i> Murb.	Chouk	Graines, feuilles, fleurs	Crampes, tension artérielle
<i>Peganum harmala</i> L.*	Lharmel	Fruits, plante	Maux de tête, névralgies, maux dentaires
<i>Retama monosperma</i> L.*	Rtem	Parties fleuries	Rythme cardiaque, anti-rhumatismes
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	Sedra	Feuilles, fruits	Anthelminthiques, anti-diarrhéiques, rougeole, variole

* : Risque d'intoxication

Dans les cas où la production végétale est associée à l'élevage (exploitations vivrières, oasis, régions à agriculture moins intensive), les adventices sont appréciées et même recherchées pour alimenter le bétail. Tanji (1993) a rapporté que les adventices associées à la culture du blé, dans la région de Settat, produisaient en moyenne une biomasse verte de 1100 kg/ha et de 217 g/kg de protéines brutes. Ainsi, la connaissance de la valeur nutritionnelle des adventices des cultures est importante pour mieux valoriser ces plantes. Une étude a utilisé la digestibilité in vitro (DIV), les concentrations en protéines brutes (P.B.), phosphore (P), potassium (K) et calcium (Ca) et le rapport Ca/P comme critères pour évaluer la qualité fourragère ou nutritionnelle de 26 espèces adventices fréquentes dans les champs du blé dans la Chaouia. Elle a permis de montrer que toutes les espèces analysées ont eu une qualité nutritionnelle comparable à celle de la luzerne ou du

mélange vesce + avoine (Tableau 1.6). Ainsi, il a été conclu que les adventices peuvent jouer un rôle important dans l'alimentation du troupeau étant donné que l'infestation des adventices n'est jamais monospécifique dans les champs de céréales (Tanji, 1993).

Tableau 1.6: Qualité fourragère de quelques adventices (au stade végétatif) du blé non irrigué en Chaouia (Tanji, 1993).

Espèce	Nom marocain	DIV	P.B.	Ca	P	K
Adventices						
<i>Ridolfia segetum</i> Moris.	Tebch, Slili	77,9	19,1	1,62	0,30	3,69
<i>Chenopodium murale</i> L.	Beramram	75,0	21,3	1,41	0,33	4,47
<i>Medicago polymorpha</i> L.	Nefla	79,2	20,4	1,07	0,34	3,25
<i>Melilotus sulcatus</i> Desf.	Nefla	76,2	24,6	0,85	0,35	3,02
<i>Cichorium endivia</i> L.	Bouaâgad	66,5	21,3	1,82	0,29	3,04
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	Kraâ djaja	70,4	25,1	1,43	0,35	2,24
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Belaâman	71,6	24,4	1,83	0,35	4,38
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Louaya	70,9	24,0	1,14	0,27	2,78
<i>Calendula arvensis</i> L.	Jamra	68,3	22,3	2,62	0,30	2,73
<i>Vicia sativa</i> L.	Bouzghiba	64,2	21,6	1,65	0,26	2,16
Cultures fourragères						
Luzerne	Fessa	69,5	18.8	1.14	0.28	3.49
Vesce-Avoine	khortal-bouzriba	73,1	15.7	0.40	0.25	2.79

D'autres services et vertus des adventices sont importants et méritent d'être eux aussi considérés dans le paradoxe de la définition de ces plantes. Ces dernières constituent une source de matière organique riche et équilibrante. Ainsi, leur incorporation dans un sol améliore aussi bien sa texture que sa structure. De même, la nature de la flore adventice d'un sol pourrait nous renseigner sur le type du sol (argileux, sableux, limoneux, etc.), son pH (acide ou basique), sa richesse en certains macro et micro éléments (azote, phosphore, potassium calcium, sodium, bore, fer, etc.) et son hydromorphie, etc. (plantes bio-indicatrices). Par exemple, la présence d'*Urtica urens* (ortie) sur un sol indique sa richesse en azote, *Silene gallica* et *Rumex bucephalophorus* indicatrices du sable, *Scorpiurus vermiculatus* indique une texture argileuse avec présence du calcaire, *Ammi visnaga* indicatrice

d'un sol lourd, *Ranunculus sardous* et *Coronopus squamatus* indicatrices d'un sol hydromorphe, etc.

Il est très fréquent de rencontrer, dans nos régions agricoles, des mulets, des charrettes ou des femmes transportant un tas d'adventices à l'état sec surtout les chardons (*Scolymus maculatus*, *S. hispanicus* et *Silybum marianum*) qui sont utilisées comme bois de combustion. En outre, certaines adventices sont utilisées dans la décoration, la phytothérapie, la production du biogaz, de l'engrais vert et du compost, l'industrie du papier, la fabrication des meubles, la vannerie, etc. L'élimination de toute végétation indésirable, dans un milieu ou à un moment donné, nécessite l'engagement d'une main d'œuvre parfois assez importante. De ce fait, la gestion des adventices est une activité créatrice de l'emploi surtout dans le milieu rural. C'est la dernière vertu des adventices à considérer!!

7. Importance et caractérisation de la flore adventice marocaine

Comparativement aux autres disciplines de la protection des plantes, la malherbologie est une jeune discipline au Maroc ayant démarré avec son introduction dans le cursus de formation des ingénieurs à partir de 1978 à l'I.A.V. Hassan II et la création de l'Association Marocaine de Malherbologie en 1981. Depuis, plusieurs études ont été conduites sur le terrain et au laboratoire et ont permis d'avoir une base de données nationales sur les adventices des milieux cultivés et non cultivés. D'ailleurs, les premiers travaux ont été axés sur l'inventaire des adventices et l'élaboration des guides de leur identification ou reconnaissance. Ainsi, un index synonymique des adventices présentes dans les milieux cultivés ou artificialisés du Maroc occidental et central a vu le jour en 1989 et donne les principales caractéristiques de cette flore indésirable (Boulet *et al.*, 1989).

7.1. Aspects systématique et biologique

La compilation de plus de 1000 relevés phytoécologiques, réalisés entre 1978 et 1988 dans les cultures et différents milieux anthropiques des principales régions du Maroc occidental et central, a permis de noter la richesse et la diversité de la flore adventice marocaine. Au total, 838 espèces appartenant à quatre classes botaniques, 383 genres et 68 familles botaniques ont été recensées (Tableau 1.7). Avec une contribution de 83,2%, les taxons dicotylédones dominent largement cette flore. Comparativement à la flore nationale spontanée des végétaux vasculaires, la flore adventice regroupe près de 20% de l'effectif spécifique, 40,7% de l'effectif générique et 50,4% des familles botaniques (Boulet *et al.*, 1989). Parmi ces dernières, neuf familles fournissent à elles seules 63,3% de l'effectif spécifique total avec une large représentation de trois familles, *Fabaceae*, *Asteraceae* et *Poaceae* (graminées) qui contribuent avec 40% (Tableau 1.8). Le

taux d'endémisme est de 2,4% pour les espèces nord-africaines et de 3,6% pour les espèces marocaines contre 19% pour la flore globale du Maroc (Boulet *et al.*, 1989). De point de vue biologique, la flore adventice marocaine est caractérisée par la dominance des annuelles (70,4%), suivies par les vivaces (27,6%) et par les plantes parasites et hémiparasites qui fournissent seulement 2% de son effectif spécifique (Tableau 1.8).

Tableau 1.7: Diversités systématique et biologique de la flore adventice (Boulet *et al.*, 1989).

Caractéristique	Effectif	Contribution (%)
Familles	68	-
Genres	383	-
Espèces	838	100,0
Charophycées	1	0,1
Equisétinées	1	0,1
Dicotylédones	697	83,2
Monocotylédones	139	16,6
Annuelles	590	70,4
Vivaces	231	27,6
Parasites	17	2,0

Tableau 1.8: Principales familles botaniques de la flore adventice du Maroc (Boulet *et al.*, 1989).

Famille	Effectif	Contribution (%)
1. <i>Fabaceae</i>	122	14,6
2. <i>Asteraceae</i>	120	14,3
3. <i>Poaceae</i>	93	11,1
4. <i>Brassicaceae</i>	47	5,6
5. <i>Caryophyllaceae</i>	41	4,9
6. <i>Apiaceae</i>	37	4,4
7. <i>Scrophulariaceae</i>	27	3,2
8. <i>Liliaceae</i>	22	2,6
9. <i>Lamiaceae</i>	22	2,6
Total	531	63,3

En réalité, la flore adventice marocaine devrait frôler le chiffre de 1000 sinon plus suite premièrement aux explorations faites dans d'autres cultures et d'autres régions qui n'étaient pas touchées lors des premières prospections et deuxièmement aux introductions volontaires et involontaires de nouvelles espèces dues à la globalisation et la diversification des échanges commerciaux ente le Maroc et ses partenaires (TANJI et TALEB, 1997). En attendant une mise à jour de notre base de données, les principales caractéristiques ou tendances présentées ci-dessus restent valables pour décrire la flore adventice du Maroc.

7.2. Aspect nuisibilité de la flore adventice

La nuisibilité des 838 espèces inventoriées a été appréciée sur la base de leurs fréquences relatives et leurs abondance-dominance moyennes sur l'ensemble des milieux prospectés. Ainsi, uniquement 115 espèces sont agronomiquement à nuisibilités importantes. Le reste des espèces ont un effet de cumul. Cette flore préoccupante est dominée par les dicotylédones (80,9%) et les annuelles (80%). Avec une contribution de 36,4%, les vivaces sont bien représentées dans la classe des monocotylédones contre 10,7% pour la classe des dicotylédones (BOULET *et al.*, 1989). Quant aux espèces problématiques dans les différentes cultures, leur effectif spécifique varie de 10 à 64 selon la culture avec le maximum dans les céréales d'automne (Tableau 1.9). Généralement, 16 espèces (dominées par les monocotylédones et les vivaces) sont considérées les plus nuisibles et causent à elles seules, localement ou sur l'ensemble du pays, de sérieux problèmes qui nécessitent des actions ou des mesures pour limiter leurs dégâts dans les milieux infestés (Tableau 1.10). A titre d'exemples, beaucoup d'agriculteurs ont des difficultés pour se débarrasser des infestations de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*), du chiendent (*Cynodon dactylon*), du souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*), du liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) et des cuscutes.

Tableau 1.9: Diversité de la flore adventice des cultures.

Cultures	Effectif	Espèces principales	Dicots (%)	Monocots (%)	Sources
Blés & orge	374	64	84,5	15,5	Taleb <i>et al.</i> (1998)
Maïs	272	30	87,9	12,1	Tanji <i>et al.</i> (1989)
Riz	124	26	77,4	21,0	Boulet et Bouhache (1990)

Tableau 1.9 (Suite).

Betterave	301	93	83,7	16,3	Taleb <i>et al.</i> (2000)
Canne à sucre	176	30	83,0	17,0	Taleb <i>et al.</i> (1997)
Tournesol	188	32	87,3	12,7	Saffour <i>el al.</i> (1999)
Tomate	158	14	86,0	14,0	Bouhache et Boulet (1984)
Cultures maraichères	254	10	81,1	18,9	Chafik (2014)
Vigne	234	17	80,8	19,2	Taleb <i>et al.</i> (2004)
Agrumes	403	65	84,3	15,7	Taleb et Bouhache (2008)
Olivier	419	31	84,0	16,0	Chafik (2014)
Rosacées fruitières	351	21	82,3	17,7	Chafik (2014)

Tableau 1.10: Principales adventices préoccupantes au Maroc (Boulet *et al.*, 1989).

Espèces	Classe botanique	Type biologique	Milieux touchés
<i>Avena sterilis</i> L.	Monocot	Annuelle	Céréales
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Dicot	Vivace	Cultures, vergers
<i>Cuscuta australis</i> R. Br.	Dicot	Parasite	Luzerne
<i>Cuscuta monogyna</i> Vahl.	Dicot	Parasite	Agrumes, olivier
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Monocot	Vivace	Cultures, vergers
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Monocot	Vivace	Cultures, vergers
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	Monocot	Annuelle	Riz, maïs

Tableau 1.10 (Suite)

<i>Orobanche crenata</i> Forssk.	Dicot	Parasite	Légumineuses
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Dicot	Vivace	Cultures, vergers
<i>Scirpus maritimus</i> L.	Monocot	Vivace	Riz
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Dicot	Vivace	Cultures, vergers
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Monocot	Vivace	Cultures, vergers
<i>Thesium humile</i> Vahl.	Dicot	hémiparasite	Céréales
<i>Typha latifolia</i> L.	Monocot	Vivace	Drains
<i>Viscum cruciatum</i> Boiss	Dicot	Annuelle	Arbres fruitiers et forestiers
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	Dicot	Vivace	Cultures

Chapitre 2: Classification des adventices

1. Intérêt de la classification

La flore adventice est très riche et diversifiée (30 000 espèces à l'échelle du globe), mais des similarités existent au sein de ses composantes. Ces similarités permettent de grouper les adventices sur la base de certains critères et/ou raisons convenables. De même, ces bases de regroupement permettent aussi de généraliser l'effet ou l'inefficacité d'une méthode de désherbage sur une catégorie d'adventices sans passer espèce par espèce. Ainsi, la classification des adventices est nécessaire sinon indispensable pour réussir la gestion d'une végétation indésirable aussi bien dans les milieux cultivés que hors cultures. Cependant, il n'y a pas une seule classification mais plusieurs basées sur la phylogénèse, le cycle biologique, l'habitat, la morphologie, la photosynthèse, l'écologie et autres.

2. Phylogénèse

C'est une classification botanique adoptée par tous les scientifiques et basée sur les liens de parenté existants entre les plantes au cours de leur évolution (classification taxonomique). Ainsi, les adventices sont regroupées par clade c'est-à-dire autour d'un ancêtre et de ses descendants. De ce fait, la classification phylogénétique n'est jamais définitive et change avec l'évolution de nos connaissances en la matière. Mais, elle reste un outil ou moyen de communication entre les scientifiques et/ou les malherbologistes, quels que soient leurs pays ou langue, car l'utilisation des noms communs (vernaculaires) est limitée dans l'espace et se prête à la confusion et/ou à l'incertitude.

Les adventices sont classées par les taxonomistes et les malherbologistes de la même manière que les autres plantes. La classification phylogénétique, acceptée et largement utilisée, classe les plantes selon des catégories hiérarchisées : règne, phylum ou division ou embranchement, classe, ordre, famille, genre, espèce et sous-espèce ou variété (quand elle existe). La quasi-totalité des adventices font partie de l'embranchement des angiospermes (plantes à fleurs). Ce dernier est divisé à son tour en deux classes, les dicotylédones (dicots) et les monocotylédones (monocots) avec une certaine dominance de la première classe de la flore adventice. Les noms scientifiques des végétaux sont définis par un nom décrivant le genre et commençant par une lettre en majuscule, suivi par un nom ou épithète spécifique écrit en minuscule, le tout étant en italique. Par exemple le nom scientifique de Belaâman ou le coquelicot est *Papaver rhoeas*. Selon, la classification phylogénétique, cette espèce appartient au règne végétal (plantae), embranchement des Angiospermes, classe des Dicotylédones, ordre des Ranunculales, famille des *Papaveraceae*, genre *Papaver* et l'espèce *rhoeas*. Le

nom botanique d'une espèce est suivi par les initiales de l'auteur qui a décrit le premier la plante. Puisque Linné a été le premier qui a décrit et nommé le coquelicot selon la méthode binomiale, le nom complet de l'espèce est donc *Papaver rhoeas* L.

3. Cycle biologique

Le type de cycle est une autre façon pour classer et regrouper les plantes sur la base de la durée de leurs vies. Le cycle de vie ou le cycle biologique d'une adventice nous renseigne sur les situations où elle poserait de sérieux problèmes et sur la méthode de sa gestion la plus appropriée ou la plus efficace. En général, les plantes des régions tempérées font partie de l'un de trois groupes: adventices annuelles, bisannuelles ou pérennes.

- **Adventices annuelles:** cette catégorie germe, croît et produit des semences durant une saison ou une année. Les adventices annuelles ont donc un cycle qui s'achève en moins d'une année et se termine par la mort de tous les organes sauf les semences. Ce groupe domine la flore adventice et considéré facile à gérer comparativement aux pérennes. Les adventices annuelles sont caractérisées par des périodes de levée propres à chaque espèce. Certaines lèvent sur une période relativement restreinte ou au contraire très large. Les limites entre ces différents sous groupes ne sont pas toujours aussi nettes et varient selon le climat de l'année et la dernière façon culturale. Ainsi, on distingue cinq sous groupes suivants sans évoquer leurs variantes:
 - Adventices à germination automnale: elles germent et lèvent dès les premières pluies d'automne (fin été-début automne) et produisent des semences fin hiver (ex. *Veronica polita*),
 - Adventices à germination hivernale: elles germent fin automne-début hiver et passent l'hiver à l'état de rosettes. Le printemps suivant, elles poussent très rapidement, fleurissent et produisent des graines puis meurent à la fin de la saison (ex. *Papaver rhoeas*),
 - Adventices à germination printanière: elles germent après l'hiver lorsque les températures du sol dépassent une dizaine de degrés et finissent leur cycle en été (ex. *Polygonum convolvulus*),

- Adventices à germination estivale: elles germent fin printemps-début été et finissent leur cycle en automne (ex. *Echinochloa crus-galli*),
- Adventices indifférentes: elles germent à tout moment de l'année et infestent toutes les cultures (ex. *Poa annua*).
- **Adventices bisannuelles:** cette catégorie boucle son cycle vital sur deux années successives. La première année correspond à une période végétative et de stockage des réserves dans les organes souterrains. Durant cette période, l'espèce se présente sous forme d'une rosette de feuilles pour résister à la mauvaise saison (hiver ou saison sèche). Au cours de la seconde année, l'espèce utilise ses réserves, produit une tige florifère et produit des semences (ex. *Daucus carota*).
- **Adventices pérennes:** cette catégorie vit entre trois et plusieurs années en passant par une succession d'états végétatifs et reproducteurs qui assurent sa pérennité. Les pérennes sont divisées en deux sous-groupes selon leur faculté de dissémination:
 - Les pérennes simples ou plantes pluriannuelles: elles poussent en solitaire et se multiplient principalement par les semences, mais elles peuvent se reproduire végétativement lorsque les racines ou les tiges sont coupées et dispersées par le travail du sol (ex. *Taraxacum officinale*). Ce sous-groupe comprend deux types de plantes: monocarpiques qui ne fleurissent qu'une seule fois et meurent après la production des fruits (comme les annuelles) et polycarpiques qui fleurissent et fructifient plusieurs fois au cours de leurs vies.
 - Les pérennes rampantes ou plantes vivaces: elles poussent en solitaire ou en colonies. Toutes les plantes vivaces peuvent se reproduire végétativement ou par semences. La reproduction végétative assure principalement leur pérennité, tandis que la reproduction sexuée assure leur dissémination. Une fois établies, les plantes repoussent année après année et sont généralement difficiles à détruire. Tous les organes souterrains et aériens peuvent être à l'origine de nouveaux plants: stolons (ex. *Cynodon dactylon*), rhizomes (ex. *Sorghum halepense*), tubercules (ex. *Cyperus rotundus*), cormes: bases des tiges entourées

de feuilles (ex. *Ranunculus bulbosus*), tiges (ex. *Solanum elaeagnifolium*), racines (ex. *Convolvulus arvensis*) et feuilles sous forme de bulbes ou bulbilles (ex. *Oxalis pes-caprae*).

4. Habitat

Le type d'habitat et le degré de son perturbation influent beaucoup sur la nature et la composition de la végétation qui s'y développe. Il est fréquent de trouver certaines espèces qui occupent plusieurs habitats, alors que d'autres sont spécifiques à un habitat bien déterminé. En outre, la stratégie de gestion de la végétation indésirable change avec l'habitat colonisé. D'ors et déjà, deux grandes catégories d'adventices sont à distinguer selon l'habitat: adventices des milieux terrestres et celles des milieux aquatiques.

- **Adventices terrestres:** sur la base des milieux d'activités humaines, on peut déjà différencier deux groupes d'adventices, celles associées aux milieux cultivés de celles des milieux non cultivés. Le premier groupe englobe les adventices des cultures (ex. adventices des céréales, du maïs, des agrumes, de la luzerne, des pépinières, etc.), des parcours et des forêts artificielles (production du bois ou du papier). Quant au deuxième groupe, il renferme les plantes rudérales, des jardins, des parcours du golfe, des terrains gazonnés, des milieux de récréation, des monuments, des forêts et autres environnements naturels, etc.
- **Adventices aquatiques:** toute espèce qui pousse dans l'eau ou au moins complète une partie de son cycle vital dans l'eau est considérée comme plante aquatique ou hydrophyte. Ces plantes sont fréquentes dans les milieux aquatiques cultivés (rizières), les canaux d'irrigation ou de drainage et dans les milieux aquatiques non cultivés tels que les barrages, lacs, pièces d'eau et les rivières ou fleuves. Ces espèces bien adaptées à ces environnements humides appartiennent à l'un des principaux sous-groupes suivants:
 - Amphibies ou hydrophytes fixées émergées (ex. *Scirpus maritimus*),
 - Hydrophytes fixées à feuilles flottantes (ex. *Potamogeton nodosus*),
 - Hydrophytes fixées totalement immergées (ex. *Chara spp.*),
 - Hydrophytes libres flottantes (ex. *Pistia stratiotes*),

5. Morphologie

Les années 1940 ont été marquées par la découverte de 2,4D, un herbicide qui contrôle sélectivement les dicotylédones dans une céréale (graminée). Cette sélectivité est basée sur des différences morphologiques entre la céréale et les adventices. Ces caractères morphologiques influent beaucoup sur l'absorption, la rétention et la translocation des herbicides spécifiques. En général, les plantes du même groupe morphologique ont la même réaction vis-à-vis des méthodes de désherbage et particulièrement vis-à-vis des herbicides. Ainsi, les malherbologistes font la distinction entre deux grands groupes de plantes, les adventices monocotylédones et les adventices dicotylédones.

- **Adventices monocotylédones:** les plantes appartenant à ce groupe sont caractérisées par la présence d'un seul cotylédon dans la graine, des feuilles avec des nervures principales parallèles, des racines fasciculées, des tiges qui conservent généralement le même diamètre durant tout leur cycle et des fleurs avec des pièces florales au nombre de trois ou multiple de trois. La germination est hypogée. Deux familles comprennent les principales adventices de ce groupe:
 - Les graminées (*Poaceae*): ces plantes ont des tiges cylindriques comprimées ou même aplaties creuses à l'exception des nœuds. Les feuilles sont étroites, allongées, échelonnées le long des tiges; la partie la plus large se trouvant vers le tiers inférieur ou vers le milieu du limbe. Les nervures sont toutes parallèles. La base des feuilles est différenciée en gaine qui enveloppe la tige. Les tiges peuvent se ramifier au niveau des nœuds (ex. *Avena sterilis*, *lolium rigidum*, *Bromus rigidus*).
 - Les cypéracées (*Cyperaceae*): ces plantes ressemblent beaucoup aux graminées. Elles s'en distinguent par des feuilles disposées de façon tristique. Le limbe est le plus souvent plié en V sur toute la longueur. Les nervures latérales sont à peine perceptibles. Les gaines des feuilles forment un véritable tube qui se déchire si l'on veut séparer la feuille de la tige. Les axes qui émergent des bouquets de feuilles ne sont pas des tiges mais des pédoncules d'inflorescences. Ces pédoncules sont triquètres (ex. *Cyperus rotundus*, *Scirpus maritimus*).

- **Adventices dicotylédones:** les plantes appartenant à ce groupe sont caractérisées par la présence de deux cotylédons dans la graine, des feuilles souvent pétiolées et larges avec des nervures réticulées, racines souvent pivotantes, des tiges qui croissent en épaisseur avec l'âge et des fleurs avec des pièces florales au nombre de quatre ou cinq. La germination est hypogée ou épigée. Plusieurs familles fournissent les principales adventices de ce groupe telles que les *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Lamiaceae*, *Fabaceae*, etc. (*Sonchus oleraceus*, *Ridolfia segetum*, *Lamium amplexicaule*, *Medicago polymorpha*, *Sinapis arvensis*, etc.)

6. Photosynthèse

La photosynthèse est le processus responsable de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique au niveau de la plante. Ainsi, elle permet, à partir du dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2), de l'eau (H_2O) et de l'énergie solaire (lumière), de produire les sucres et l'oxygène (O_2). Ces deux derniers sont indispensables pour la respiration qui libère l'énergie sous forme d'ATP (Adénosine-triphosphate) utilisée dans le métabolisme de la plante. La photosynthèse se déroule en deux phases successives: la phase claire (ou photochimique) qui se déroule dans les thylakoïdes, dépend de la lumière et permet directement la transformation de l'énergie lumineuse (photons) en énergie chimique et la phase sombre (ou non photochimique ou cycle de Calvin) qui se déroule dans le stroma, entièrement enzymatique et indépendante de la lumière. Cette phase permet de transformer le dioxyde de carbone et l'eau en glucides. C'est la phase d'assimilation du gaz carbonique.

Le type de photosynthèse de la plante est déterminé par le nombre d'atomes de carbone de la molécule organique formée en premier lors de la phase sombre. Chaque type photosynthétique est efficient dans un milieu donné. Par conséquent, la compétition des adventices et l'efficacité des méthodes de leur gestion dépendent de leurs types de photosynthèse. Trois mécanismes de fixation du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse sont connus, plantes en C_3 , en C_4 et en CAM. Presque 95 à 98% des plantes vertes ont le mécanisme en C_3 qui est considéré comme le mécanisme « de base » et présent chez beaucoup de plantes. Les deux autres (C_4 et CAM) sont plus rares et ont d'autres mécanismes de plus. Ils sont considérés comme une adaptation du type C_3 à certains milieux.

- **Adventices en C_3 :** la première étape de la phase sombre consiste en une carboxylation (fixation d'une molécule de CO_2) sur le sucre à 5 carbones, ribulose 1,5 bisphosphate, catalysée par l'enzyme

Rubisco (Ribulose biphosphate carboxylase/oxygénase), pour donner deux molécules d'un acide organique à trois carbones (Acide phosphoglycérique). La Rubisco est capable de catalyser une réaction en utilisant l'oxygène au lieu du CO_2 (la photorespiration) qui diminue, par conséquent, le taux de photosynthèse nette. De même, ces plantes perdent beaucoup d'eau par ouverture des stomates par temps chaud et sec. Les adventices en C_3 sont plus performantes lorsqu'elles sont dans un milieu riche en CO_2 , moins ensoleillé où les températures sont clémentes ou fraîches et où le sol est humide. La flore adventice est largement dominée par les plantes en C_3 telles que *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Lolium rigidum*, *Stellaria media*, *Lamium amplexicaule*, etc.

- **Adventices en C_4 :** pour éviter les faiblesses des plantes en C_3 , les deux phases de la photosynthèse chez les plantes en C_4 se déroulent dans deux types de cellules. Ces plantes captent le CO_2 atmosphérique, pas directement par la Rubisco, mais par l'action de l'enzyme phospho-énol-pyruvate-carboxylase (PEP-carboxylase) qui produit un composé à quatre atomes de carbone (un acide dicarboxylique: oxaloacétate, puis malate ou aspartate). Ces réactions ont lieu dans les cellules du mésophylle. Ce composé est ensuite transporté vers les cellules de la gaine du faisceau où il est décomposé en libérant le CO_2 qui est fixé (pour la deuxième fois) par la Rubisco, selon le mécanisme des plantes en C_3 (cycle de Calvin) mais d'une façon efficiente. Les plantes en C_4 sont capables de faire la photosynthèse, même à faibles concentrations de CO_2 , ainsi que dans des conditions relativement chaudes, sèches et très ensoleillées. Par conséquent, l'efficacité de la photosynthèse chez les plantes C_4 est supérieure à celle des plantes en C_3 . Ainsi, beaucoup d'adventices de ce groupe sont d'origine tropicale et/ou sont redoutables telles que *Cyperus rotundus*, *Panicum repens*, *Sorghum halepense*, *Echinochloa crus-galli*, etc.
- **Adventices en CAM (Crassulacean Acid Metabolism):** ces plantes représentent une autre adaptation par rapport aux plantes en C_3 et ressemblent aux plantes en C_4 . Elles se comportent comme les plantes en C_3 le jour et comme les plantes en C_4 durant la nuit (la fixation du CO_2 est nocturne et le CO_2 est libéré le jour pour la photosynthèse). Elles possèdent eux aussi les deux types d'enzymes carboxylantes comme les plantes de type C_4 avec la différence

c'est que la fixation du carbone n'est pas séparée dans l'espace (mésophylle/gaine périvasculaire) mais dans le temps (nuit/jour). Contrairement aux plantes en C_4 , les plantes en CAM ont une croissance lente, constante et se trouvent sur des sols ayant des réserves hydriques réduites. Ce mécanisme est observé particulièrement chez des plantes grasses comme *Mesembryanthemum crystallinum* et *Mesembryanthemum nodiflorum*.

7. Ecologie

Les stratégies écologiques ou évolutionnistes, basées sur l'allocation des ressources en carbone, est une autre base de classification des adventices. Ces stratégies permettent d'arranger les plantes en catégories ou selon un spectre d'attributs écologiques (Westoby, 1998). Ainsi, elles nous renseignent sur la manière avec laquelle une espèce arrive à persister ou à maintenir sa population dans différentes conditions environnementales. La façon d'allouer les ressources (chez les organismes) est une évolution naturelle qui est héritable génétiquement d'une génération à l'autre. Plusieurs stratégies sont proposées pour comprendre la structure et la dynamique des communautés et des écosystèmes, mais ne sont pas équivalentes dans tous les milieux. Trois types de classification des stratégies primaires des végétaux ont été élaborés et largement utilisés aussi bien par les écologistes que par les malherbologistes: la classification de Raunkiaer (Raunkiaer, 1934), la classification binaire (ou verticale) ou stratégies « r » et « K » développées par Mac Arthur et Wilson (1967) et la classification en trois catégories (ou triangulaire) ou stratégies C-S-R développées par Grime (1974).

La classification de Raunkiaer est la plus ancienne et la plus importante, encore largement utilisée aujourd'hui partout dans le monde. Elle est basée sur le regroupement des espèces végétales en types biologiques à partir de critères morphologiques déterminant l'adaptation des plantes à la saison défavorable. Les types biologiques (types éthologiques ou formes de vie), qui reflètent de nombreux traits fonctionnels, sont conçus à partir de la forme de passage de la mauvaise saison et de la position des bourgeons (par rapport à la surface du sol) permettant la survie des plantes en réponse aux conditions climatiques. Ainsi, les adventices terrestres appartiennent à l'une des catégories suivantes (Fig. 2.1):

- **Phanérophytes (Ph)** (1): ce sont essentiellement les arbres, arbustes et arbrisseaux dont les bourgeons dormants aériens sont à

une hauteur de plus de 50 cm de la surface du sol (Pérennes) (ex. *Ziziphus lotus*, *Chamaerops humilis*, *Solanum sodomaeum*).

- **Chaméphytes (Ch) (2):** ce sont des plantes basses dont les bourgeons dormants aériens sont à une hauteur de moins de 50 cm de la surface du sol; les feuilles tombent ou non, les bourgeons les plus bas bénéficient de la protection (Pérennes) (ex. *Marrubium vulgare*, *Asparagus albus*)
- **Hémicryptophytes (Hr) (3):** cette catégorie adopte une stratégie mixte qui combine celles des géophytes et des chaméphytes. Elle est constituée souvent de plantes à rosette (Bisannuelles) dont la réduction périodique du système aérien à sa partie basale localise les bourgeons de remplacement près de la surface du sol (ex. *Ecballium elaterium*, *Rumex pulcher*, *Ajuga iva*).
- **Géophytes ou cryptophytes (G) (4, 5):** ces plantes passent la mauvaise saison protégées dans le sol (bourgeon), la partie aérienne meurt; ce sont des plantes à bulbe (Gb) (ex. *Oxalis pes-caprae*), à rhizome (Grh) (ex. *Cynodon dactylon*) et à tubercule (Gt) (ex. *Cyperus rotundus*) et à racine tubérisée (Grt) (*Rumex crispus*) (Vivaces).
- **Thérophytes (Th) (6):** ce sont les plantes annuelles dont les systèmes aérien et souterrain disparaissent pendant la mauvaise saison et survivent sous forme de semences (Annuelles) (ex. *Papaver rhoeas*, *Sinapis arvensis*, *Avena sterilis*).
- **Parasites (P):** ce sont des plantes qui vivent aux dépens des autres plantes appelées plantes hôtes (ex. *Orobanche crenata*, *Cuscuta monogyna*)

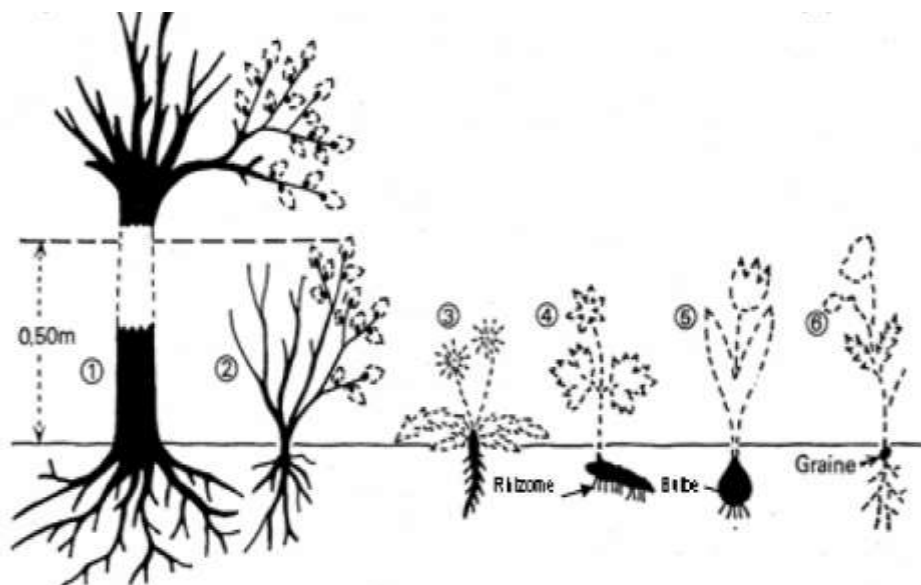


Figure 2.1: Principaux types biologiques des plantes terrestres, les parties en pointillés disparaissent durant la saison défavorable (Mouhri, 2014).

La classification de Raunkiaer reste jusqu'à nos jours la seule stratégie écologique la plus adoptée par les malherbologistes marocains pour appréhender l'aspect biologique des adventices et/ou caractériser la flore adventice associée aux cultures aussi bien à l'échelle régionale qu'à l'échelle nationale. Des exemples de spectres biologiques ou éthologiques des adventices de quelques cultures du Maroc oriental sont donnés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1: Spectres biologiques de la flore adventice de quelques cultures du Maroc oriental (Chafik, 2014).

Types biologiques	Contribution à l'effectif spécifique (%)			
	Céréales	Cultures maraichères	Agrumes	Olivier
Thérophytes	71,8	70,0	68,3	66,6
Géophytes	12,2	11,8	13,0	11,7
Hémicryptophytes	11,5	13,4	14,5	11,5

Tableau 2.1 (Suite)

Chaméphytes	1,0	0,8	1,2	6,4
Phanérophytes	2,1	2,4	2,4	2,9
Parasites	1,4	1,6	0,6	0,9
Nombre d'espèces	286	254	331	419

Les stratégies « r » et « K » ou le modèle évolutif permet d'apprécier l'impact de l'évolution de l'environnement sur la reproduction des plantes. Selon ce modèle, les organismes sont agencés le long d'un continuum avec deux extrémités d'allocation des ressources qui représentent deux stratégies de survie « r » et « K ».

- **Plantes à stratégie « r »:** c'est une stratégie basée sur une grande production de plantules avec un taux de mortalité élevé et dont « r » réfère au taux de reproduction. Les plantes ayant cette stratégie ont un fort investissement dans la reproduction, une croissance rapide, une durée de vie courte et une phase végétative courte. Ces espèces occupent les phases précoces des successions écologiques (milieux perturbés et instables) avec des populations contrôlées par les facteurs physiques. La majorité des adventices adopte cette stratégie.
- **Plantes à stratégie « K »:** c'est une stratégie basée sur une durée de vie longue avec une reproduction rare et tardive. Les plantes ayant adopté cette stratégie sont caractérisées par une faible allocation de la biomasse à la reproduction, une croissance lente, une durée de vie longue et une phase végétative longue. En général, ces espèces occupent les phases tardives des successions écologiques (milieux stables où la compétition peut être intense) avec des populations contrôlées par les facteurs biotiques et dont leurs tailles s'approchent de la capacité d'accueil du milieu (désignée par la lettre K).

Les stratégies C-S-R ou la théorie C-S-R est un autre modèle utilisé pour expliquer la composition des communautés végétales et/ou pour compléter le modèle précédent (r/K). Ce modèle est basé sur l'allocation des ressources entre le développement, la maintenance et la reproduction, et postule que la production végétale (dans un milieu particulier et à un moment donné) est soumise à deux gradients écologiques, celui des perturbations et celui de stress. La combinaison

des niveaux de perturbations et de stress permet de distinguer trois stratégies extrêmes de la spécialisation évolutive: compétitive, tolérante au stress et rudérale. En outre, aucune plante ne survit dans un milieu où le niveau élevé des perturbations est combiné à un niveau élevé de stress (Tableau 2.2).

Tableau 2.2: Classification des plantes en fonction des intensités de stress et de perturbations (Grime, 1974).

Intensité de perturbations	Intensité de stress	
	Basse	Forte
Basse	Compétitives (C)	Tolérantes au stress (S)
Forte	Rudérales (R)	Mortalité des plantes

- **Plantes compétitives (C):** elles ont des caractéristiques qui leur permettent de capturer au maximum les ressources d'un milieu productif avec moins de perturbations et de stress. Ces plantes sont aussi caractérisées par une forte croissance, une faible reproduction et une durée de vie longue. Les espèces ayant cette stratégie sont fréquentes dans les milieux fertiles non perturbés ou occupent les phases précoces ou intermédiaires d'une succession écologique. Dans ces milieux, la compétition est causée par les individus des autres espèces ou d'une même espèce.
- **Plantes tolérantes au stress (S):** elles ont des caractéristiques qui leur permettent d'exploiter des milieux non-productifs. Leur survie est due à la réduction d'allocation des ressources à la croissance végétative et à la reproduction. Ces plantes sont caractérisées par une croissance lente, une faible reproduction et une durée de vie longue. Les espèces ayant cette stratégie sont fréquentes dans les milieux constamment non-productifs ou occupent les dernières phases d'une succession écologique. Le stress est du à tous les facteurs (surtout climatiques ou édaphiques) limitant la croissance des végétaux.
- **Plantes rudérales (R):** elles ont des caractéristiques qui leur permettent l'exploitation temporaire des conditions favorables. Ces plantes sont caractérisées par une croissance rapide, une forte

reproduction et une durée de vie courte. Les espèces ayant cette stratégie sont fréquentes dans les milieux très fertiles et très perturbés ou occupent les premières phases d'une succession écologique. Les perturbations sont causées par tous les facteurs qui détruisent partiellement ou totalement les individus.

Les trois stratégies primaires ou fondamentales (C, S et R) représentent bien entendu les extrêmes qui pourraient être atteints par les trois facteurs considérés. Beaucoup d'espèces exploitent des conditions intermédiaires qui correspondent à un équilibre particulier entre stress, perturbations et compétition. Les différentes stratégies intermédiaires sont données dans le triangle de Grime (Fig. 2.2). D'après Grime, la majorité des adventices se trouvent classée dans deux stratégies combinées: compétitive-rudérale (CR) et compétitive - tolérante au stress (CS).

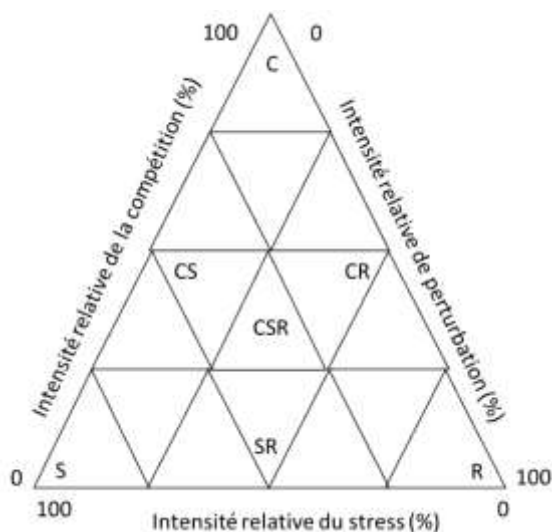


Figure 2.2: Représentation triangulaire des catégories d'allocation de ressources (Grime, 1974).

8. Autres classifications

A côté des classifications fréquemment utilisées, présentées ci-dessus, d'autres classifications sont adoptées, selon le contexte ou le besoin, sur la base de leurs origines (**espèces endémiques** et **espèces introduites** ou **exotiques**), la consistance de la tige (**plantes ligneuses**, **semi-ligneuses** et **herbacées**), le pH du sol (plantes

acidophiles, basophiles et neutrophiles), la texture du sol (espèces argilophytes, espèces psammophytes, etc.), la présence du calcaire dans le sol (espèces calcicoles et espèces calcifuges), etc.

Chapitre 3: Reconnaissance et identification des adventices

1. Importance de l'identification

La reconnaissance des adventices est une étape très importante sinon la plus déterminante pour toute décision de désherbage quelle que soit la méthode de lutte à choisir. Il est fréquent de trouver sur la même exploitation une flore qui diffère d'une parcelle à une autre. Bien que plusieurs ouvrages dédiés à l'identification des adventices à tous les stades (semence, plantule et adulte) soient disponibles, seule la pratique sur le terrain d'exercices de reconnaissance permettrait de mémoriser les espèces. En dehors de l'agriculture biologique, il n'est pas concevable d'imaginer une agriculture moderne et intensive sans recours aux herbicides pour combattre la végétation nuisible. Il ne faut pas se fier aux photos, noms vernaculaires ou aux noms communs d'espèces car les confusions sont possibles entre les espèces qui sont proches morphologiquement mais dont le comportement vis-à-vis des herbicides pourrait être totalement différent. A titre d'exemple, le nom vernaculaire marocain «Hammida» 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. L'intégration de leviers agronomiques dans une stratégie de désherbage exige la connaissance de la biologie et l'écologie des composantes de la flore à contrôler. Ainsi, l'identification des espèces constitue la clef de voûte pour l'accès à cette information. Enfin, la reconnaissance et l'identification des adventices pourrait contribuer à protéger les espèces menacées ou en voie d'extinction et/ou à atténuer le phénomène de résistance suite l'utilisation non rationnelle des herbicides.

2. Reconnaissance au stade semence

2.1. Intérêt de la reconnaissance

L'identification des semences des adventices revêt un intérêt agronomique certain. Premièrement et dans certains cas, la semence attachée à une plante déterrée constitue, à elle seule, le critère le plus fiable de détermination des plantules de certaines espèces surtout chez les graminées telles que les avoines et les alpistes. Deuxièmement, une clé d'identification des semences des mauvaises herbes est un outil indispensable pour détecter les semences étrangères contaminant les lots de semences des cultures au laboratoire dans le cas de certification des semences et à la ferme pour empêcher leur dissémination (via les lots de semences non

sélectionnées, fumier, paille, etc.) ou pour estimer le stock semencier des adventices dans un volume de sol.

2.2. Critères de reconnaissance

La reconnaissance des semences d'adventices est basée essentiellement sur les critères morphologiques comme le type de semence, la forme, l'ornementation, la pilosité, la couleur, la présence de certaines particularités, la biométrie, etc. (Montégut, 1970).

- **Type de semences**

La semence au sens agronomique correspond à tout organe (graine, fruit, bulbe, tubercule, etc.) susceptible de reproduire une espèce à la suite d'une plantation ou d'un semis. A l'exception de petites bulbilles, les clés ne considèrent que les semences dérivant d'une structure florale. Ainsi, un fruit peut contenir plusieurs graines ou être considéré lui-même comme semence lorsqu'il est monospermé. En outre, il est fréquent d'observer une certaine variation de couleur, de taille et de composition entre les semences d'un même fruit ou d'un individu à l'autre pour une même espèce. De même, les paramètres biométriques d'une semence changent avec la fertilité du sol et la compétition intra et inter spécifiques lors de la saison de croissance précédente. De ce fait, tout élément ayant une faible représentativité doit être écarté comme critère de ségrégation. Une fois ces considérations sont prises, les semences d'adventices doivent être rapportées à l'une des quatre catégories (Montégut, 1970): semences de graminées, fruits-semences, akènes-graines et graines-vraies (Fig. 3.1).

- **Semences de graminées:** cette catégorie est caractérisée par la présence d'enveloppes et des pièces particulières (rachis, glumes, glumelles, rachéole, baguette, etc.). Il est rare que le fruit ou le caryopse se détache facilement de ses enveloppes. Ainsi, les caractères de ces dernières (glumelles, présence ou absence d'arêtes et leur position, pliure, pilosité, toucher, etc.) sont utilisés pour distinguer entre les espèces et les sous-espèces.
- **Fruits-semences:** cette catégorie est définie par le caractère charnu, le caractère composé, le caractère multiple (union de carpelles monospermés ou akènes), la persistance des enveloppes périnthaires et la forme typique d'un fruit ou d'un article de fruit.
- **Akènes-graines:** dans ce cas, les akènes sont assimilés à de véritables graines. La distinction entre les espèces est basée sur la

forme (convexe-diédrique, plan-convexe) et certains appendices telles que l'aigrette, la couronne de paillettes et le bourrelet chez les composés et le style ou le bec chez les ombellifères et les renonculacées.

- **Graine-vraies:** les graines-vraies issues d'ovules fécondés sont facilement reconnues par la présence d'une cicatrice du hile par une trace hilaire en relief ou en creux, circulaire ou linéaire.

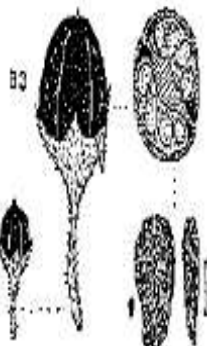
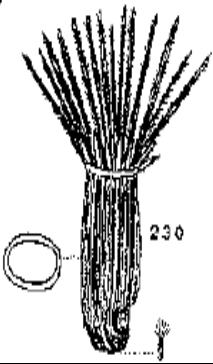
Semence de graminées	Fruits-semences	Akènes-graines	Graines- vraies
			
<i>Avena sterilis</i>	<i>Solanum nigrum</i>	<i>Centaurea melitensis</i>	<i>Amaranthus sp.</i>

Figure 3.1: Exemples de type de semences d'adventices (Montégut, 1970).

- **Forme**

La forme de base est définie à partir du contour de la semence qui permet de décrire les variations spatiales d'une semence. Deux grands types de forme de base sont à distinguer (Montégut, 1970):

- **Forme curviligne:** à partir de cette forme, plusieurs variantes sont dérivées telles que les semences sphéroïde (1), ellipsoïde (2), ovoïde (3), obovoïde (4), fusoïde (5), cylindroïde (6) et linéaire (7) (Fig. 3.2).

- **Forme polygonale:** des formes dérivées sont aussi notées pour cette forme de base, semences trigonale (8), tétraédrique (9), pyramidale (10), trapèzoïdique (11), losangique (12) et rhomboédrique (13) (Fig.3.2).

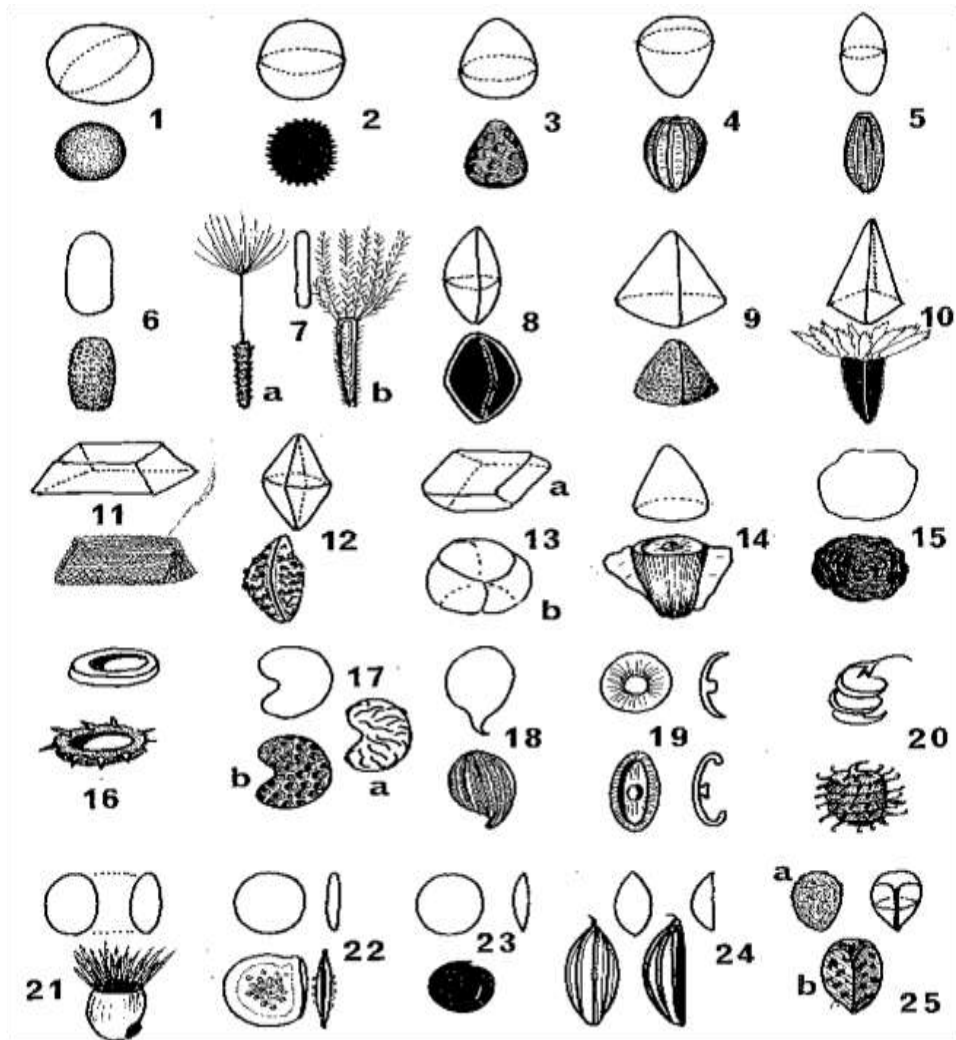


Figure 3.2: Formes et ornementsations des semences des adventices (Montégut, 1970).

A côté de ces formes, des formes mixtes (ex. conoïde (14)), autres dérivées (ex. globuleuse (15) et particulières (ex. réniforme (17), virguliforme (18), spiralée (20) sont aussi relevées chez certaines espèces d'adventices (Fig. 3.2).

- **Ornementation**

Les parois des semences des catégories « akènes-graines » et « graines-vraies » ont des ornements bien définies et permettent de faire une ségrégation entre les semences des différentes espèces. L'observation de ces ornements nécessite parfois un grossissement minimal de 20 fois. Sur la base de ce critère, il est possible de distinguer les semences lisses (1, 23), tuberculeuses (12), verruqueuses (2), épineuses (16, 20), ponctuées (9), réticulées (17b), alvéolées (3), ridées (17a), bosselées (15), côtelées (14), etc. (Fig. 3.2).

- **Autres critères**

D'autres critères sont aussi utilisés pour déterminer avec précision les semences des adventices: la pilosité (paroi glabre ou plus ou moins velue), la couleur qui varie avec le degré de maturité de la semence (parfois, une certaine hétérogénéité polychromique peut être observée dans un même lot de semences), certaines particularités (épines, bec en biseau, la caroncule, etc.) et enfin la biométrie (diamètre, longueur, hauteur, épaisseur) dont les données ne servent de critères que lorsqu'elles ne chevauchent pas d'un groupe à l'autre ou d'une espèce à l'autre (Montégut, 1970).

2.3. Clés de détermination

Les ouvrages ou guides de reconnaissance des semences des adventices au Maroc sont rares ou presque inexistants. Le seul document traitant cette thématique est un mémoire de fin d'études:

- Elaboration d'une base de données sur les semences des principales adventices du Maroc (104 espèces) par A. Ait Sghir (2002), mémoire de 3^{ème} cycle, option protection des plantes, IAV Hassan II.

Cependant, deux documents préparés par le Professeur Montégut (malherbologiste à l'Ecole Supérieure d'Horticulture de Versailles, France) sont d'une aide précieuse puisque la flore adventice française partage avec celle du Maroc beaucoup d'espèces:

- Clé de détermination des semences d'adventices (500 espèces) par J. Montégut (1970), ESH, Versailles, France.

- Atlas des semences d'adventices (même auteur), planches, Procida, Paris, France.

3. Reconnaissance au stade plantule

3.1. Intérêt de la reconnaissance

A l'instar du stade semence, le stade plantule joue lui aussi un rôle taxonomique : les semences non identifiées sont semées pour avoir des plantules facilement identifiables. De même, la méthode indirecte de détermination de la quantité et de la composition du stock semencier d'adventices d'un sol repose sur la reconnaissance et le comptage des plantules ayant levé après la mise en germination des échantillons du sol. Malgré les effets négatifs des pesticides, la maîtrise de la flore adventice des cultures est encore dépendante de l'utilisation des herbicides. Le choix et la dose de ces derniers sont basés sur la reconnaissance des composantes de cette flore et leur efficacité dépend du stade des adventices traitées. Plus les adventices sont jeunes, plus les herbicides sont plus efficaces. De même, les programmes de désherbage fondés sur le mélange des herbicides à des doses réduites donnent souvent les meilleurs résultats sur des adventices très jeunes. Parfois, le fabricant d'un herbicide exige son application à un stade très précis pour garantir une meilleure efficacité. Ainsi, certains herbicides antigraminées ne sont efficaces que sur des plantules ne dépassant pas le stade deux à trois feuilles. Avec le développement du phénomène de résistance aux herbicides, des tests rapides utilisant les plantules d'adventices cibles sont mis au point et utilisés pour distinguer les espèces ou les biotypes résistants de ceux sensibles. Dans toutes ces situations botanique, écologique et agronomique, il est primordial d'être en mesure d'identifier avec précision les adventices dès leur levée.

3.2. Critères de reconnaissance

L'une des caractéristiques de la flore adventice marocaine est que la presque totalité des espèces est fournie par la classe des dicotylédones et la famille des *Poaceae* (Graminées) de la classe des monocotylédones (voir chapitre 1 sur la nature des adventices). Uniquement, les critères de reconnaissance du stade plantule des dicotylédones et des graminées seront présentés par la suite. La distinction entre les plantules de ces deux groupes est basée essentiellement sur la morphologie des feuilles. Chez les graminées, les feuilles sont étroites, allongées, souvent alternes, engainantes, sessiles, entières et à nervation parallèle avec la nervure médiane presque toujours apparente. Les feuilles des dicotylédones sont pétiolées, larges, entières ou découpées à nervation pennée ou digitée. Une fois ces

deux groupes sont distingués, les critères suivants sont utilisés pour identifier les espèces au stade plantule:

- **Plantules des dicotylédones**

Plusieurs caractères morphologiques apparaissent chez les plantules des dicotylédones dès leur levée. Ceci permet de les identifier dès le stade cotylédon ou plantule d'une à deux feuilles. En dehors de l'appareil racinaire, le critère physiologique, le critère phyllotaxique et les critères morphologiques des feuilles juvéniles et des cotylédons sont des éléments indispensables à prendre en considération pour déterminer une plantule issue de germination. A l'exception des caractères relatifs aux cotylédons et aux semences, le reste des éléments de reconnaissance sont valables pour les plantules issues de régénération végétative. Il est important de distinguer les cotylédons des premières vraies feuilles (Fig. 3.3). Ainsi, les critères suivants sont décisifs pour assurer à eux seuls une détermination correcte (Montégut, s.d.a):

- **Type de plantule:** c'est un critère physiologique qui renseigne sur la période de levée des adventices dans une région. Les espèces qui germent avant ou pendant l'hiver passent cette saison froide sous forme de rosette. Etant donné que les entre-nœuds sont absents, les feuilles juvéniles d'une rosette se trouvent au même niveau que les cotylédons et protègent le bourgeon terminal contre le froid. Cependant, la majorité des espèces qui germent au printemps ou en été présentent des plantules à tigelle d'emblée allongée (Fig. 3.3). Selon le gradient morphologique foliaire, quatre types de plantules sont rencontrées chez les adventices: rosette homogène (ex. *Calendula arvensis* L.), tigelle d'emblée allongée homogène (ex. *Chenopodium album* L.), rosette hétérogène (ex. *Ammi majus* L.) et tigelle d'emblée allongée hétérogène (ex. *Vicia sativa* L.). Le gradient foliaire est absent dans les deux premiers types, cependant les feuilles juvéniles sont différentes des feuilles ultimes chez les deux autres.

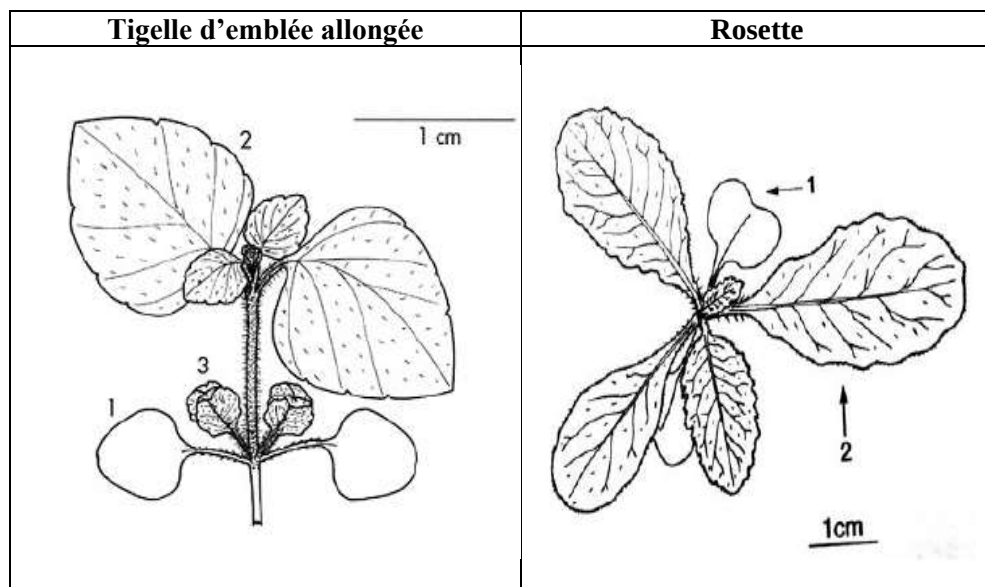


Figure 3.3: Type de plantules des dicotylédones avec cotylédons (1), feuilles juvéniles (2) et pousses axillaires (3) (Source: Rodriguez et Mamarot, Acta).

- **Morphologie des feuilles juvéniles:** la forme, la découpure et la nervation du limbe des feuilles juvéniles sont les trois critères les plus importants et les plus utilisés dans la détermination des plantules d'adventices. Généralement, les limbes des feuilles s'inscrivent dans des formes géométriques de base: forme arrondie, elliptique, ovale, triangulaire, obovale, lancéolée ou linéaire (Fig. 3.4). A partir de ces formes, le limbe prend d'autres formes dérivées ou modifiées comme par exemple, limbe losangique, filiforme elliptique-arrondi, ovale-lancéolé, lancéolé-triangulaire, linéaire-filiforme, lancéolé-linéaire, etc.

La découpure du limbe est un critère qui décrit la profondeur des découpures du bord du limbe des feuilles juvéniles. Ainsi, on distingue des feuilles à bord du limbe entier, sinué, denté, lobé, divisé ou composé. Parfois, les feuilles d'une espèce présentent d'une façon progressive toutes les découpures sans sortir de la forme de base du limbe comme par exemple *Erodium* spp. Quant à la nervation, trois classes principales de nervation sont fréquentes

chez les feuilles des dicotylédones, nervures parallèles, pennées et digitées ou plamées (Fig. 3.5).

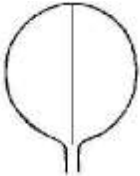
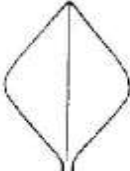
			
Rond	Elliptique	Ovale	Triangulaire
<i>Lavatera cretica</i>	<i>Silybum marianum</i>	<i>Centaurea diluta</i>	<i>Chenopodium album</i>
			
Obovale	Lancéolé	Linéaire	Losangique
<i>Amaranthus blitoides</i>	<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Rhagadiolus stellatus</i>

Figure 3.4: Formes de base et dérivées des limbes des feuilles juvéniles.

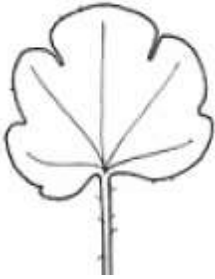
		
Digitée ou Plamée	Pennée	Parallèle

Figure 3.5: Types de nervation du limbe des feuilles.

- **Mode d'insertion foliaire:** ce critère phyllotaxique qui concerne l'insertion des feuilles sur la tige est en relation avec le type de plantule. La plupart des espèces à plantule en rosette ont des feuilles alternes. Cependant, les feuilles opposées ou verticillées se rencontrent chez les plantules à tigelle d'emblée allongée.
- **Morphologie des cotylédons:** dans le cas où les cotylédons sont présents et intacts, ils permettent de faire une certaine ségrégation entre les espèces. Parfois, des cotylédons particuliers ou remarquables suffisent à eux seuls à identifier une espèce ou un groupe d'espèces (Fig. 3.6). Généralement, la forme et la taille des cotylédons sont les deux critères les plus utilisés. Les formes de base sont presque les mêmes que celles des feuilles juvéniles (Fig. 3.4). A côté des cotylédons particuliers et les cotylédons ayant une forme géométrique de base, des cotylédons avec des formes dérivatives ou modifiées sont aussi fréquents chez les plantules dicotylédones (Tableau 3.1). Les espèces à rosette ont généralement des cotylédons petits, sessiles et fugaces, tandis que les espèces à tigelle d'emblée allongée ont des cotylédons bien développés, pétiolés et persistants.

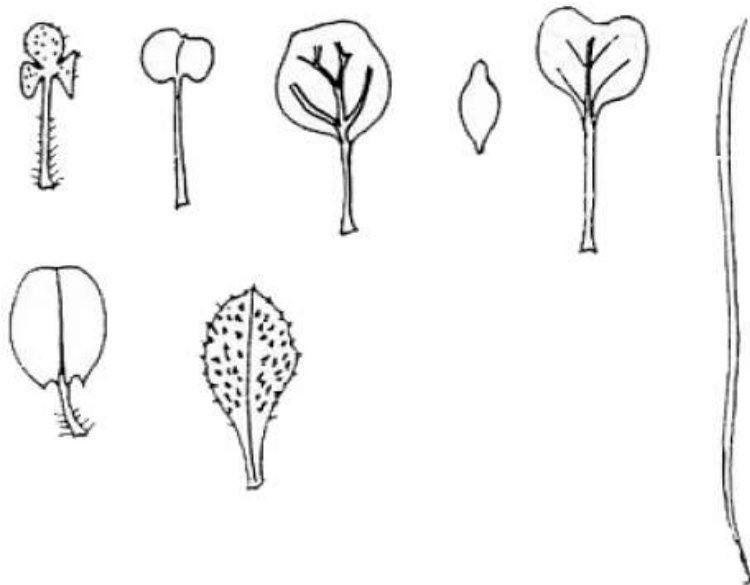


Figure 3.6: Exemples de cotylédons remarquables des plantules (Source: Rodriguez et Mamarot, Acta).

Tableau 3.1: Exemples de formes des cotylédons et des espèces correspondantes.

Formes	Espèces	Formes	Espèces
Cotylédons remarquables			
Citriforme	<i>Misopates orontium</i>	Incisée	<i>Erodium sp.</i>
Réniforme	<i>Geranium sp.</i>	Tulipiforme	<i>Mercurialis annua</i>
Losangique	<i>Stellaria media</i>	Filiforme	<i>Emex spinosa</i>
Cotylédons à forme de base			
Arrondie	<i>Bryonia dioica</i>	Elliptique	<i>Sonchus oleraceus</i>
Ovale	<i>Ranunculus arvensis</i>	Triangulaire	<i>Malva parviflora</i>
Losangique	<i>Anagallis arvensis</i>	Linéaire	<i>Papaver rhoeas</i>
Cotylédons à forme dérivée			
Lancéolé-linéaire	<i>Fumaria parviflora</i>	Elliptique-lancéolée	<i>Polygonum aviculare</i>
Losangique-ovale	<i>Anagallis arvensis</i>	Ovale-triangulaire	<i>Solanum nigrum</i>
Ovale-arrondie	<i>Urtica urens</i>	Ovale-elliptique	<i>Silybum marianum</i>

- **Autres critères:** pour lever l'incertitude ou différencier davantage entre les espèces voisines, on fait appel à d'autres critères tels que le type de germination (hypogée ou épigée), la pilosité (localisation, densité, type), la couleur, l'odeur au froissement, le goût, la pigmentation, etc. La pilosité est un caractère déterminant sur tous les organes de la plantule. Il doit être apprécié à l'œil nu à contre-jour. Un grossissement de x10 est nécessaire pour observer la morphologie des poils. Il est connu que *Chrysanthemum segetum* se distingue du *C. coronarium* par sa couleur glauque, *Chenopodium vulvaria* se distingue des autres chénopodes par son odeur fétide et repoussante et les espèces *Atriplex spp.* se distinguent des chénopodes par leur goût salé.

- **Plantules des graminées**

Comparativement à l'identification des plantules des dicotylédones, celle des graminées est très délicate. Les plantules des graminées sont toutes semblables au stade très jeune. D'autant plus, les caractères distinctifs sont moins nombreux et

apparaissent et se stabilisent à un stade entre trois feuilles et début tallage (Montégut, s.d.b). Par exemple, chez beaucoup de graminées, la ligule est moins développée au stade 1-2 feuilles. Chez le ray-grass, les oreillettes n'apparaissent généralement qu'à partir du stade 2-3 feuilles. Il y a toutefois plusieurs éléments qui permettent de les identifier rapidement et sûrement en se basant sur l'origine de la plantule (repousse végétative ou germination), la préfoliation, les composantes de la feuille (Fig. 3.7) et autres critères telles que la pilosité, la couleur, la pigmentation, etc. Les critères suivants sont largement utilisés pour la reconnaissance des graminées au stade plantule (Montégut, s.d.b):

- **Origine des plantules:** les plantules des graminées peuvent être issues de la germination, de la régénération végétative ou des deux à la fois. La ségrégation entre ces types de plantules est une étape primordiale dans l'identification. Pratiquement, une simple observation du système racinaire d'une plantule déterrée permet de lever cette confusion. Les plantules issues de germination sont caractérisées par une racine séminale (provisoire) qui pourrait garder encore le reste de la semence. Effectivement, les semences récentes et de taille suffisante (>5mm) gardent encore un grand nombre de caractères pour être reconnues. Dans le cas des alpistes (*Phalaris* spp.) par exemple, la semence (caryopse) est d'un secours précieux pour identifier les trois espèces: pas d'écailles à la base du grain chez *P. paradoxa*, présence de deux petites écailles chez *P. brachystachys* et une seule écaille chez *P. minor*. Quant aux plantules rejets, elles sont groupées en colonies avec des racines plus développées et attachées aux fragments du rhizome ou du stolon dont elles émanent.
- **Préfoliation:** la préfoliation précise la disposition des feuilles préformées dans le bourgeon, c'est-à-dire la position du limbe dans la gaine. Deux modes d'enroulement des jeunes feuilles sont relevés chez les plantules des graminées: préfoliation enroulée (la plus répandue) et préfoliation pliée qui est moins fréquente (Fig. 3.7). Certaines espèces, lors de leur développement, passent par les deux modes comme chez *Lolium rigidum* (ray-grass rigide). De même, une gaine aplatie n'est pas associée automatiquement à une préfoliation enroulée. Par exemple, *Setaria glauca* et *Echinochloa crus-galli* ont une préfoliation enroulée avec des gaines aplaties.

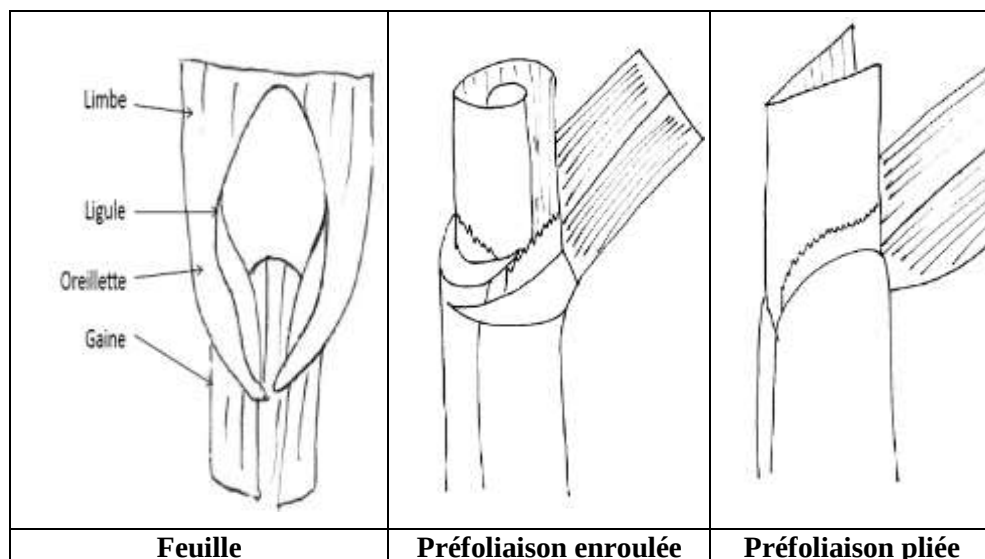


Figure 3.7: Composantes d'une feuille de graminées et types de préfoliation (Crémer, 2014).

- **Oreillettes:** ce sont deux expansions latérales du bord du limbe différenciées à leur point d'attachement avec la gaine. Ce critère est considéré comme l'une des composantes décisives de la feuille dans l'identification des graminées au stade végétatif. Les oreillettes sont absentes (ex. *Avena sterilis*), courtes (ex. *Lolium rigidum*) ou longues embrassantes (ex. *Hordeum murinum*), garnies de poils ou glabres (Fig. 3.8). Sur la base de ce critère, il est possible de distinguer les ray-grass et les orges adventices des autres graminées.
- **Ligule:** c'est une languette qui entoure la tige (le chaume) à l'extrémité supérieure de la gaine entre cette dernière et le limbe. Elle est considérée comme la deuxième composante de la feuille déterminante dans la ségrégation entre les graminées au stade plantule. Ainsi, sa forme, sa grandeur ou son absence sont des caractères sûrs de l'identification. Trois types de ligules sont rencontrés chez les graminées: ligule absente et remplacée par une trace claire (ex. *Echinochloa crus-galli*), ligule remplacée par une ligne de poils (ex. *Cynodon dactylon*) et ligule membraneuse (ex. *Phalaris spp.*). Cette ligule

membraneuse peut être oblongue, courte, aiguë, laciniée, dentée, obtus, tronquée, etc. (Fig. 3.9).

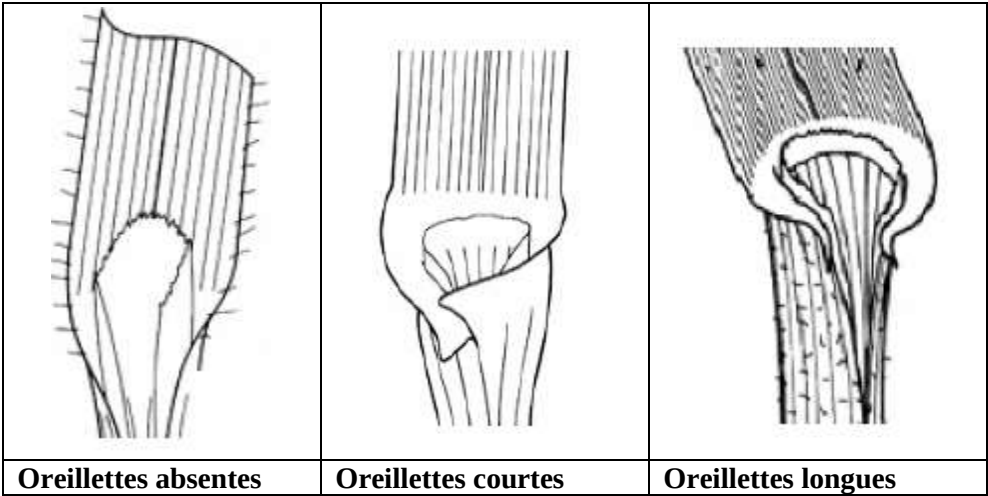


Figure 3.8: Type d’oreillettes des feuilles de graminées (Source: Rodriguez et Mamarot, Acta).

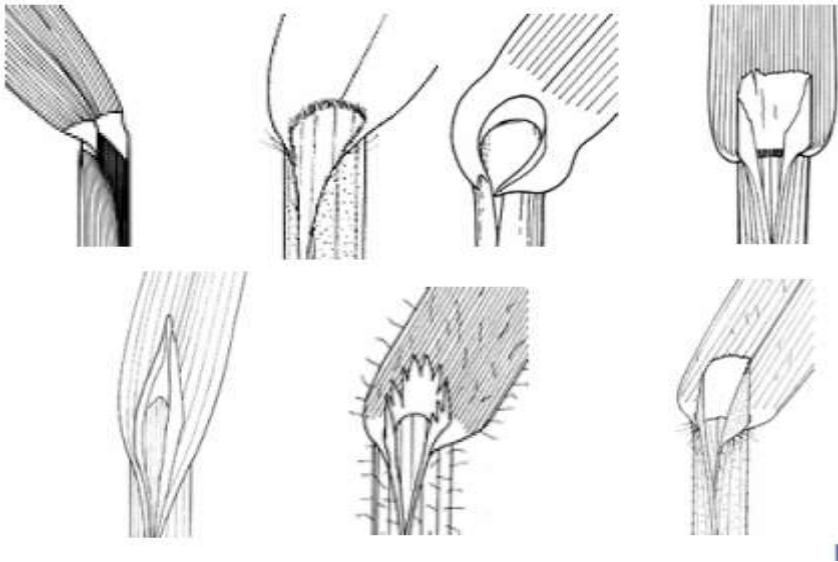


Figure 3.9: Exemples de ligules des feuilles de graminées (Source: Rodriguez et Mamarot, Acta).

- **Pilosité:** la pilosité de la gaine et du limbe (présence, localisation et densité) de la feuille constitue un autre critère distinctif très utile dans l'identification des plantules de graminées. Par exemple, la présence et la densité des poils sur la gaine et le limbe permettent de distinguer les espèces du brome des autres graminées des céréales d'automne. De même, chez l'avoine stérile (*Avena sterilis*), les cils observables à contre-jour sur les bords de la base du limbe permettent de la différencier d'une plantule d'alpistes (*Phalaris* spp.). La vulpie (*Vulpia geniculata*) se rapproche plutôt d'un ray-grass chétif ou d'un pâturin. La présence de cils en marge du limbe et également le long des nervures permettrait d'écarter toute confusion avec le ray-grass et le pâturin (Tableau 3.2).

- **Autres critères:** la taille, la forme, l'aspect sommital et la nervation du limbe ainsi que la gaine anthocyanée, la teinte générale de la plantule et d'autres caractères considérés secondaires sont parfois très utiles pour raffiner davantage l'identification de certaines plantules. Comparativement aux deux autres alpistes, *P. minor* a des racines avec des pointes rouges qui laissent des traces (semblables au sang) sur un papier blanc. L'avoine stérile peut aussi être distinguée par la torsion (sens contraire des aiguilles de la montre) des premières feuilles. Quant aux plantules de ray-grass (*Lolium* sp.), elles ont des feuilles à face inférieure luisante ou brillante. Une couleur vert pâle et des feuilles arquées ou en crochet facilitent la reconnaissance rapide du pâturin annuel (*Poa annua*). En outre, le ray-grass est aussi reconnu par ses gaines basales de couleur rougeâtre. Tandis que les bromes ont des gaines velues avec des nervures de teinte rosée.

Tableau 3.2: Critères d'identification des principales graminées associées aux céréales (Bouhache, 2020).

Origine de la plantule	Préfoliation	Oreillettes	Ligule	Pilosité	Espèce correspondante
Repousse	Pliée	Absentes	Absente (poils)	Légèrement poilue	<i>Cynodon dactylon</i>
Germination	Enroulée	Absentes	Présente	Totalement poilue	<i>Bromus rigidus</i>
				Cils sur les marges du limbe	<i>Avena sterilis</i>
				Glabre	<i>Phalaris brachystachys</i>
					<i>Phalaris minor</i>
					<i>Phalaris paradoxa</i>
		Présentes	Présente	Légèrement poilue	<i>Hordeum murinum</i>
				Glabre	<i>Lolium multiflorum</i>
	Pliée puis enroulée	Présentes	Présente	Glabre	<i>Lolium rigidum</i>
	Pliée	Absentes	Présente	Glabre	<i>Poa annua</i>
				Cils sur les marges du limbe et le long des nervures	<i>Vulpia geniculata</i>

3.3. Clés de détermination

Plusieurs documents spécialisés dans la reconnaissance ou l'identification des adventices au niveau régional ou national ont été élaborés ou édités et d'autres sont en préparation. Les ouvrages suivants sont à recommander pour l'identification des adventices préoccupantes au Maroc:

- Mauvaises herbes des régions arides et semi-arides du Maroc. Edition INRA, Rabat (1988), Tanji A., Boulet C. et Regher D. L.
- Les mauvaises herbes du Souss. Edition actes, I.A.V. Hassan II, Rabat (1991), Boulet C., Bouhache M., Taleb A. et Wahbi M.

- Flore illustrée des principales mauvaises herbes des cultures du Gharb. Thèse Doctorat Es-Sciences agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat (1995), Taleb A.
- Adventices du blé et de l'orge au Maroc. Edition INRA, Rabat (2005), Tanji A.
- Principales adventices des cultures au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie), Rabat (2015), Taleb A.

4. Reconnaissance au stade adulte

4.1. Intérêt de la reconnaissance

Le stade adulte joue un rôle taxonomique important en permettant de déterminer avec précision les espèces difficiles à déterminer aux stades semence et/ou plantule. En outre, la collecte des semences à partir des plantes mûres pour différents besoins (études, expérimentations, multiplication, banque de gènes, etc.) doit être associée à l'identification de ces plantes adultes matures. Le recours à la reconnaissance à ce stade est nécessaire pour le choix des herbicides de post levée tardifs ou de pré-récolte ou pour le désherbage de rattrapage ou de correction.

4.2. Critères de reconnaissance

La détermination ou la reconnaissance des plantes avec certitude au stade adulte n'est pas aussi facile que beaucoup le pensent. L'identification des plantes est basée sur le choix d'un ouvrage ou « flore » le plus exhaustif du territoire considéré. Plus ce dernier est petit, plus le nombre d'espèces est réduit et plus la flore (ouvrage) est efficace comme outil de reconnaissance. Cependant, l'utilisation de ce genre de document nécessite l'acquisition de la méthode d'observation et la compréhension des termes botaniques utilisés pour décrire les plantes (jargon parfois compliqué et qui nécessite un glossaire de ces termes). Les botanistes ont défini un système hiérarchisé de classification et de dénomination universel, regroupant les plantes sur la base de proximités morphologiques et/ou génétiques.

Deux principes sont utilisés pour classer les plantes. Le premier est celui de Linné (1707-1778) qui est basé sur les ressemblances morphologiques, et par conséquent, il s'appuie sur la description de l'appareil végétatif (partie souterraine, tige, feuilles) et de l'appareil reproducteur (inflorescence, fleur, fruit) avec plus d'importance accordée à la structure florale. Le deuxième principe, initié par Hennig (1913-1976), commence à prendre plus d'importance que le premier suite à l'évolution de nos connaissances en génétique et en biologie moléculaire. Il est basé sur les origines phylogénétiques des espèces. Ainsi, ces dernières sont regroupées sur la base de leurs liens de parenté ou leurs transformations lors du

processus évolutif de spéciation. Quelque soit le principe, les flores classent les plantes dans des catégories emboîtées connues: famille, genre, espèce, sous-espèce, variété, forme, etc. A côté, des critères morphologiques, la répartition dans le territoire et les caractères écologiques et physiologiques permettent d'affiner la reconnaissance des taxons.

4.3. Flores de détermination

Plusieurs ouvrages (flores et catalogues) qui couvrent le Maroc et autres pays de l'Afrique du Nord sont disponibles pour identifier les plantes au stade adulte. Les premiers cinq documents ci-dessous ont été beaucoup utilisés avant l'édition de la flore pratique du Maroc à partir de 1999:

- Flore de l'Afrique du Nord. Maire R. (1952- 1987), volumes 1 à 16, Lechevalier, Paris.
- Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Nègre R. (1961-1962), CNRS, tomes 1 & 2, Paris.
- Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Quézel P. & Santa S. (1962-1963), CNRS, Tomes 1 & 2, Paris.
- Flore du Sahara septentrional et central. Ozenda P. (1958), CNRS, Paris.
- Flore et végétation du Sahara. Ozenda P. (2004), CNRS, Paris.
- Flore pratique du Maroc. Fennane *et al.* (1999, 2007, 2014), Institut Scientifique, Rabat, Volumes 1, 2 et 3.
- Catalogue des plantes vasculaires du nord du Maroc. Valdès B. *et al.* (2002), CSIC, Volumes 1 & 2, Madrid.

Deuxième partie:

Reproduction et dissémination des adventices

Page laissée vierge

Chapitre 4: Reproduction sexuée

1. Origine des semences

La flore adventice marocaine est caractérisée par la dominance quasi-totale des angiospermes (99,8%) dont les espèces annuelles (thérophytes) contribuent avec 70,4% à l'effectif spécifique total (voir chapitre 1 sur nature des adventices). Chez cette catégorie de plantes, la semence est le seul moyen de multiplication. Cela ne veut pas dire que la reproduction sexuée est restrictive aux annuelles, mais les bisannuelles ainsi que les pluriannuelles ou les pérennes ont eux aussi ce mode de reproduction bien que moins important. D'ailleurs, aucune différence notable en termes du nombre moyen de semences, n'a été relevée entre ces trois catégories. La reproduction sexuée résulte de la formation d'un nouvel individu à partir de la fusion des cellules reproductrices femelles et mâles. Il est à rappeler que la fleur des angiospermes est caractérisée par des ovules enclos dans le carpelle. L'ensemble des carpelles forme l'ovaire. Après la double fécondation, les ovules évoluent en graines alors que l'ovaire est transformé en fruit qui renferme des graines. Les graines comportent un embryon (jeune plantule emballée) et des réserves (un ou deux cotylédons et/ou albumen) qui sont tous enveloppés par un ou plusieurs téguments ou enveloppes (Fig. 4.1). Chez les graminées et d'autres espèces, la semence correspond au fruit dont les téguments sont soudés à ceux de la graine et sont difficilement séparables. Ainsi, la semence issue de la reproduction sexuée est susceptible de donner une nouvelle plante après son semis, que ce soit une graine ou un fruit.

2. Importance de la semence

L'importance de la semence, comme définie, réside dans les rôles joués pour la vie et la survie des plantes. La classification de Raunkiaer indique que les annuelles ou les thérophytes passent la mauvaise saison sous forme de semences. Dans ce cas, ces dernières assurent la conservation et permettent la pérennité ou la persistance des populations de l'espèce dont elles sont issues. La semence tolère les conditions sévères de l'environnement plus que les organes de multiplication végétative et les plantules. Etant un résultat de la reproduction biparentale et produites en grande quantité, les semences renferment une diversité génétique précieuse et importante qui permet aux espèces d'affronter ou de s'adapter à toutes pressions et/ou conditions différentes de celles qui régnaient dans leurs milieux de production. Un autre rôle important joué par la semence est celui de la dissémination des espèces sur une longue distance pour élargir leur aire de distribution. Effectivement, la semence facilite la colonisation des nouveaux milieux.

Lors de grandes catastrophes ou des perturbations très sévères, la semence joue un grand rôle durant les premières phases d'une succession écologique par l'établissement rapide de populations génétiquement diversifiées. En outre, la semence renferme des réserves nécessaires au développement de l'embryon et/ou à la survie de la jeune plantule après la germination. Par exemple, les semences de la cuscute, qui est une plante parasite, ont des réserves qui permettent à la jeune plantule émergée du sol de survivre de manière indépendante pendant 10 à 14 jours dans l'attente de trouver sa plante hôte. En taxonomie, la semence est utilisée comme critère distinctif et décisif dans l'identification des plantules des dicotylédones et des graminées voisines comme le cas des alpestes et des avoines. Enfin, la semence pourrait être considérée comme un relais entre les différentes générations d'une espèce.

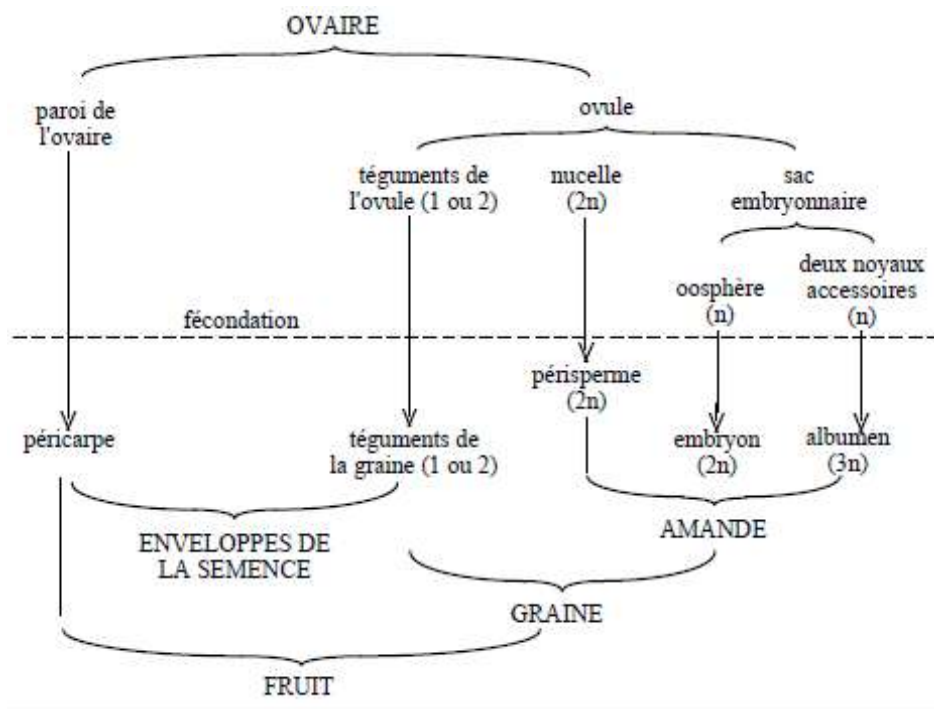


Figure 4.1: Origine des différents constituants de la graine et du fruit des angiospermes (Corbineau et Gendreau, 2016).

3. Aspect quantitatif de la reproduction sexuée

Les adventices sont connues ou caractérisées par leur production de grandes quantités de semences. Dans les conditions de la Californie (USA), Norris (s.d.) avait évalué la production semencière par plante d'*Echinochloa crus-galli* et de *Portulaca oleracea* respectivement à 750 000 et à plus de 2 000 000. La première espèce pourrait atteindre, dans certaines conditions, un million de semences (Norris, comm. pers.). Généralement, plus la taille des semences est petite plus leur nombre est grand. Cependant, la quantité de semences produite par la majorité des espèces varie beaucoup suite à la grande plasticité de leur croissance (Tableau 4.1).

Tableau 4.1: Poids et nombre de semences par plante de quelques adventices (Source: Stevens, 1957).

Espèces	Stevens (1957)		Korsmo (1930)
	Poids de 1000 graines (g)	Nombre/plante	Nombre/plante
<i>Abutilon theophrasti</i>	8,75	4300	-
<i>Amaranthus retroflexus</i>	0,34	117400	-
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	-	38500	21000
<i>Chenopodium album</i>	-	72450	3100
<i>Cichorium intybus</i>	0,8	4600	6500
<i>Echinochloa crus-galli</i>	-	7160	600
<i>Erigeron canadensis</i>	0,052	32000	-
<i>Malva parviflora</i>	3,5	2130	-
<i>Polygonum aviculare</i>	0,9	6380	160
<i>Polygonum convolvulus</i>	-	11900	170
<i>Raphanus raphanistrum</i>	7,65	1875	160
<i>Stellaria media</i>	0,387	600	15000

Le nombre de semences par plante peut varier de zéro à quelques dizaines, centaines ou milliers selon les conditions du lieu de production. Par exemple, chez l'oxalide (*Oxalis pes-caprae*), la production des semences est très rare ou inexistante au Maroc car l'espèce se multiplie uniquement par bulbes, alors que dans son pays d'origine (Afrique du Sud) l'espèce se multiplie par les deux voies de reproduction, sexuée et végétative (Ater, 2005). Les études menées dans le Tadla sur la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) ont montré qu'une plante de cette espèce pourrait porter 50 à 200 baies (fruits) et que chaque baie renferme 30 à 180 graines. Donc, cette espèce peut produire 1500 à 36000 semences/plante dans

les conditions du Tadla (Sud-Est du Maroc) (Bouhache, 2010). De même, la quantité de semences produites par 61 adventices, associées aux blé dur, blé tendre et orge dans les régions des Doukkala, Chaouia et Abda, variait de 17 à 2000 semences par plante (Tanji, 1999). Six espèces ont produit 1000 à 2000 semences /plante, 12 espèces 500 à 1000, 26 espèces 100 à 500 et 17 espèces ont produit moins de 100 semences/plante (Tanji, 1999). Les espèces ayant produit le maximum de semences sont: *Ammi majus*, *Astragalus hamosus*, *Glaucium corniculatum*, *Rumex pulcher*, *Sinapis alba* et *S. arvensis*, tandis que *Vicia monantha* a produit uniquement 17 semences/plante.

Bien que les adventices des cultures produisent des quantités importantes de petites semences, les espèces colonisatrices et éphémères de certains milieux ouverts (clairières) (ex. *Verbascum* spp.) ainsi que les plantes parasites (ex. *Orobanche* spp.) ont des productions en semences qui dépassent celle de la première catégorie (Radosevich *et al.*, 1997). Une grande partie des semences produites par les adventices alimente le stock semencier du sol, une autre partie est disséminée loin du milieu de production, tandis que le reste est utilisé ou détruit par la faune tels que les oiseaux, les insectes, etc. En raisonnant sur la base de populations, les adventices ont la capacité de produire les semences pour compenser les individus perdus. Par exemple, Aldrich (1984) a rapporté qu'une réduction du peuplement d'*Agrostemma githago* n'a entraîné que 10% de sa production semencière. La production des semences en grande quantité et même dans des conditions difficiles de l'environnement sont autant de difficultés qui compliquent les mesures de prévention pour bien gérer les adventices des milieux artificialisés.

4. Facteurs actifs sur la reproduction sexuée

En matière de gestion des adventices, il est important de connaître la production grainière moyenne des espèces, mais, il est difficile de donner la quantité exacte des semences produites par plante. Cette production est avant tout liée à l'espèce elle-même mais aussi aux conditions climatiques et édaphiques du milieu dans lequel croissent les adventices. L'origine géographique, le type de fleurs, la durée du cycle de vie, la précocité, la période de levée, etc. sont autant de facteurs inhérents à l'espèce et actifs sur sa production grainière. A l'instar des cultures, le type du sol et le niveau de sa fertilité ainsi que les conditions climatiques (températures et précipitations) influent beaucoup sur la quantité des graines produites par une plante. En général, les adventices qui croissent avec les cultures produisent moins de semences que dans d'autres situations. Dans ce cas, la nature de la culture, sa densité et l'itinéraire technique de sa conduite sont déterminants. Certaines adventices associées aux céréales d'automne, dans les régions de Doukkala, Chaouia et Abda, ont produit moins de graines dans la culture d'orge que dans le blé dur et le blé tendre (Tableau, 4.2) (Tanji, 1999). La compétition

entre les plantes pour les nutriments, l'eau du sol et la lumière expliquait cette réduction. Les herbicides utilisés pour désherber les cultures ont eux aussi un effet négatif sur la production des semences des adventices non totalement contrôlées. La quantité des semences produite par les adventices pourrait être affectée par la compétition intra et interspécifique et par l'attaque des insectes ou des maladies. Ainsi, il est très fréquent au Maroc d'observer que les semences des capitules des composées tels que les chardons et les centaurees sont partiellement ou totalement détruites par les insectes. De même, des prospections dans le plateau du Saïss ont permis de noter que 78% des capsules d'*Orobanche crenata* sont attaquées par les larves d'une mouche spécifique à cette plante parasite (*Phytomyza orobanchia*) et que la production grainière de ces fruits a été réduite de 93 à 96% (Klein *et al.*, 1999). Tous ces facteurs, parmi d'autres, expliquent la grande variabilité de la production semencière des espèces d'un auteur à l'autre comme relevé dans les tableaux 4.1 et 4.2.

Tableau 4.2: Nombre de semences/plante de quelques adventices des céréales d'automne au Maroc (Tanji, 1999).

Espèces	Blé dur	Orge	Blé tendre
<i>Glaucium corniculatum</i>	1685 ± 320	-	934 ± 124
<i>Astragalus hamosus</i>	1248 ± 390	761 ± 127	-
<i>Lolium rigidum</i>	950 ± 375	336 ± 46	529 ± 39
<i>Plantago afra</i>	638 ± 126	432 ± 65	645 ± 191
<i>Melilotus sulcatus</i>	577 ± 54	507 ± 40	323 ± 40
<i>Raphanus raphanistrum</i>	546 ± 163	110 ± 21	265 ± 37
<i>Bromus rigidus</i>	262 ± 61	117 ± 20	106 ± 18
<i>Avena sterilis</i>	246 ± 20	68 ± 11	100 ± 10
<i>Calendula arvensis</i>	198 ± 18	223 ± 37	381 ± 99
<i>Vicia sativa</i>	99 ± 15	89 ± 9	82 ± 11
<i>Scandix pecten-veneris</i>	77 ± 13	48 ± 7	-
<i>Vicia monantha</i>	17 ± 3	21 ± 4	-

5. Longévité des semences

La longévité ou la durée de vie des semences est la deuxième caractéristique biologique la plus importante des adventices. La connaissance de la longévité des semences enfouies dans le sol d'un agroécosystème est un élément indispensable pour prédire les risques d'infestation des cultures qui y sont (ou y vont être) installées. Cependant, ce paramètre varie d'une année à 17 siècles (Tableau 4.3).

Cette variation dépend de l'espèce et du biotope où elle se trouve. Généralement, les semences des adventices ont des longévités plus grandes que celles des cultures. Les adventices annuelles produisent des semences plus viables que celles des adventices pluriannuelles. De même, les petites semences ont une durée de vie plus importante que les grosses semences. Comparativement aux dicotylédones, les graminées ont des semences (caryopses) moins viables. Bouhache (2020) rapporte que la longévité des semences des principales graminées associées aux céréales d'automne varie d'une année pour le brome à sept ans pour l'avoine stérile. En outre, la longévité des semences enfouies dans le sol est plus grande que celle des semences non enfouies ou conservées à sec ou immergées dans l'eau. La viabilité des semences d'*Echinochloa crus-galli* ne dépasse pas une année sous l'eau, alors qu'elle dépasse 10 ans lorsqu'elles sont enfouies dans le sol (Monaco *et al.*, 2002). Enfin, les semences sont plus conservées dans les sols non ou moins perturbés. Dans les milieux cultivés, la longévité des semences de *Chenopodium album*, *Polygonum aviculare*, *Sinapis arvensis* et *Stellaria media* a été estimée respectivement à 40, 60, 60 et 80 ans, alors que dans les milieux non cultivés, cette longévité est respectivement de 1700, 500, 200 et 500 ans (Tableau 4.3).

Tableau 4.3: Longévité approximative des semences de quelques adventices (Source: Tissut *et al.*, 2006).

Espèces	Longévité (années)	Espèces	Longévité (années)
<i>Bromus</i> spp.	1	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	40
<i>Cerastium glomeratum</i>	5 - 6	<i>Papaver rhoeas</i>	40
<i>Veronica hederifolia</i>	10	<i>Setaria viridis</i>	40
<i>Avena fatua</i>	15	<i>Sinapis arvensis</i>	60 - 200
<i>Polygonum persicaria</i>	20	<i>Polygonum aviculare</i>	60 - 500
<i>Amaranthus retroflexus</i>	40	<i>Stellaria media</i>	80 - 500
<i>Chenopodium album</i>	40 - 1700	<i>Spergula arvensis</i>	1700

Les semences sont classées en trois catégories selon leur durée de survie ou longévité: les semences macrobiotiques, mésobiotiques et microbiotiques. Les semences macrobiotiques survivent plus de 15 ans. Ce sont surtout des semences dites dures et dont les téguments sont imperméables à l'eau. Les semences mésobiotiques restent viables pendant 3 à 15 ans. Ce sont les plus fréquentes. Les semences microbiotiques meurent en moins de trois ans comme *Bromus rigidus*, *Hordeum murinum* et *Lolium rigidum*. La longévité des semences dépend de l'interaction de plusieurs facteurs tels que la dormance des semences, les conditions environnementales du sol (ex. lumière, température, eau, gaz, etc.), la

prédation et l'allelopathie. L'activité de ces facteurs dépend elle aussi des conditions et de la profondeur d'enfouissement des semences dans le sol et la fréquence de perturbation de ce dernier. La grande production de semences et leur grande longévité sont les deux fondements de l'adage qui dit « une année d'adventices, sept années de désherbage ». Explicitement, cet adage renferme deux idées: a) à partir d'une petite infestation initiale se développent des infestations importantes les années suivantes et b) toute semence enfouie dans le sol va y rester pour longtemps.

6. Avantages et inconvénients

Chez les plantes provenant de deux parents, la reproduction sexuée donne une progéniture génétiquement et phénotypiquement très diversifiée. Cette variabilité génétique permet à la population de l'espèce de réduire sa sensibilité aux perturbations, compétitions, ennemis et aux contraintes de l'environnement local. A la longue, les meilleures adaptations seraient capables d'être répandues au sein de l'espèce, surtout dans un milieu qui change beaucoup. En outre, la semence assure la dissémination de l'espèce sur de grandes distances et la colonisation de nouveaux environnements, car la semence tolère mieux la sévérité environnementale que les propagules végétatives. Ceci permet à l'espèce d'élargir son aire de distribution. Si une catastrophe (ex. feu, inondation, etc.) survient, le stock semencier du sol permet à l'espèce de s'établir à nouveau. Ceci souligne le rôle important que la semence joue dans les premières phases des successions écologiques dans un milieu (Yang et Kim, 2016).

La production sexuée des semences est fondée sur la fécondation des gamètes mâle et femelle. Ainsi, beaucoup d'énergie et du temps sont dépensés pour produire et entretenir ces gamètes, pour attirer sexuellement des partenaires et mettre en place des mécanismes de leur transport. En outre, il ne faut pas perdre de vue que la progéniture ne conserve que la moitié des gènes de chaque parent et qu'elle n'est pas obligatoirement aussi bien adaptée au milieu de ses parents. Malgré la diversification et la grande production des semences, peu de ces dernières ont la chance de devenir des plantes adultes et mûres. Une grande mortalité est notée durant leur germination et au stade plantule. Ces pertes sont dues à la faible viabilité des semences, la dormance et l'attaque de la flore et la faune du sol. Effectivement, les plantules jouent un rôle mineur pour la croissance de la population d'une pérenne (Yang et Kim, 2016).

Page laissée vierge

Chapitre 5: Reproduction végétative

1. Types et origine des propagules végétatives

La reproduction asexuée qui est une reproduction uni-parentale englobe l'agamospermie (production de semences sans fécondation) et la reproduction végétative (ou la multiplication végétative ou le clonage végétatif). Cette dernière reste la forme quasiment dominante chez les adventices. La multiplication végétative est une forme de reproduction dans laquelle une partie de l'appareil végétatif (la partie non reproductrice de la plante), racine, tige ou feuille, est susceptible de redonner naissance à une plante entière (Tableau 5.1). La plante obtenue est un clone qui est génétiquement identique à la plante mère. La capacité des végétaux à se reproduire par multiplication végétative est liée à la grande plasticité des tissus végétaux. Les cellules végétales elles-mêmes sont capables de se différencier avant de se multiplier et de donner un massif de cellules indifférenciées, appelé cal, susceptible de redonner naissance à une plante complète.

Tableau 5.1: Taux de régénération (%) du jujubier par différents organes végétatifs (Rsaissi, 2013).

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. **: Plantules issues de l'éclatement des touffes du jujubier et qui partent des racines de ces touffes mères.

La multiplication végétative chez les adventices peut se faire de trois façons. Premièrement, elle peut être obtenue à partir de plantules ou bulbilles comme chez *Poa bulbosa* subsp. *vivipare*. 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. Deuxièmement, la multiplication

végétative peut se faire à partir d'organes non spécialisés. Dans ce cas, une simple fragmentation d'un organe végétal peut aboutir à de nouvelles plantes (Tableau 5.1). La fragmentation peut être naturelle ou artificielle. Cette façon est fréquente chez les espèces pluriannuelles ou les pérennes simples qui se multiplient principalement par graines. Troisièmement, la reproduction asexuée est assurée par des organes spécialisés. Cette façon de reproduction végétative reste la plus importante et la plus fréquente ou répandue chez les adventices vivaces ou pérennes rampantes. Ces dernières ont de nombreux organes comme les tubercules, les bulbes, les cormes, les rhizomes et les stolons qui assurent la reproduction asexuée végétative (Fig. 5.1) à côté de la possibilité de multiplication 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.

La description des propagules végétatives les plus rencontrées chez les adventices pérennes est donnée ci-après:

- **Tubercule:** c'est un organe de réserves nutritives souterrain formé par le renflement de la tige ou de la racine et riche en bourgeons. Il assure la survie des plantes pendant la mauvaise saison ou la période de sécheresse (ex. *Cyperus rotundus*).
- **Bulbe:** c'est un organe de réserves nutritives souterrain formé de plusieurs couronnes de gaines foliaires charnues (tuniques ou écailles) entourant une très courte tige (plateau) qui émet en outre quelques racines adventives (ex. *Oxalis pes-caprae*).
- **Rhizome:** c'est une tige souterraine horizontale gonflée de réserves nutritives dont les feuilles sont réduites à des écailles et sur laquelle apparaissent des bourgeons. Sur toute sa longueur, à intervalles réguliers, se forment des racines adventives et de nouvelles pousses aériennes (ex. *Sorghum halepense*).
- **Stolon:** c'est une tige à croissance horizontale (au ras du sol) et dont les feuilles sont réduites à des écailles. Des racines adventives peuvent se former au niveau des nœuds du stolon, et ainsi permettre la formation d'un nouveau plant. Les individus restent attachés les uns aux autres par le stolon au moins provisoirement (ex. *Cynodon dactylon*).
- **Dragoon:** c'est une tige à croissance verticale issue des bourgeons adventifs qui peuvent se former sur les racines de certaines plantes ligneuses. Les racines sont alors nommées racines drageonnantes.

Les tiges obtenues s'enracinent à leur tour et peuvent même produire d'autres racines drageonnantes (ex. *Solanum elaeagnifolium*).

- **Corme:** c'est un organe très proche d'un bulbe et constitué d'une tige renflée, où sont stockées les réserves nutritives, entourée par quelques feuilles séchées qui forment une enveloppe protectrice. Il est plus aplati que le vrai bulbe (*Ranunculus bulbosus*).

2. Importance de la reproduction végétative

Une des caractéristiques des adventices est leur capacité de se reproduire ou se multiplier végétativement. Ce mode de reproduction asexuée est présent chez 60% des adventices les plus redoutables du globe terrestre. Avec leurs bourgeons dormants, les propagules végétatives jouent un rôle très important dans la conservation et la pérennité des adventices et surtout les vivaces. La reproduction asexuée est un avantage pour les plantes qui ne peuvent pas se déplacer pour s'accoupler ou pour éviter des environnements non convenables. Elle permet ainsi l'établissement d'une nouvelle population à partir d'une plante (ou clone) bien adaptée et testée dans un environnement mais qui reste génétiquement identique à la plante mère. Les adventices qui se multiplient végétativement sont avantagées dans les milieux relativement stables mais avec des perturbations. Ces conditions se trouvent dans plusieurs situations telles que les milieux aquatiques, les formations végétales menacées par les feux fréquents et les terres arables qui sont labourées périodiquement. Effectivement, la reproduction végétative est une caractéristique de la plupart des adventices aquatiques (ex. *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*, *Scirpus maritimus*, *Typha latifolia*, etc.). De même, la représentation des espèces à reproduction végétative est plus importante dans la flore adventice des vergers que dans celle des cultures annuelles (Tableau 2.1) (ex. *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Convolvulus arvensis*, *Solanum elaeagnifolium*, etc.).

Les deux voies de reproduction sexuée et asexuée des adventices ont un avantage certain pour l'espèce. Sinon, et selon le processus évolutif, la voie de reproduction inutile doit être éliminée. Effectivement, la majorité des adventices pérennes utilisent les deux modes ou voies de reproduction. La reproduction végétative permet de produire des individus qui se développent rapidement pour maintenir la population localement (dissémination locale). Alors que la reproduction sexuée 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 de longues distances). 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 pérennes à se reproduire végétativement rend ces espèces plus compétitives et difficiles à contrôler ou à gérer. Les annuelles sont éliminées une fois détruites au ras du sol, alors que les espèces vivaces, ayant développé les propagules végétatives, régénèrent bien une fois détruites. Chez certaines espèces, la destruction de la partie aérienne fait augmenter le nombre de tiges développées suite à l'élimination de la dominance apicale.

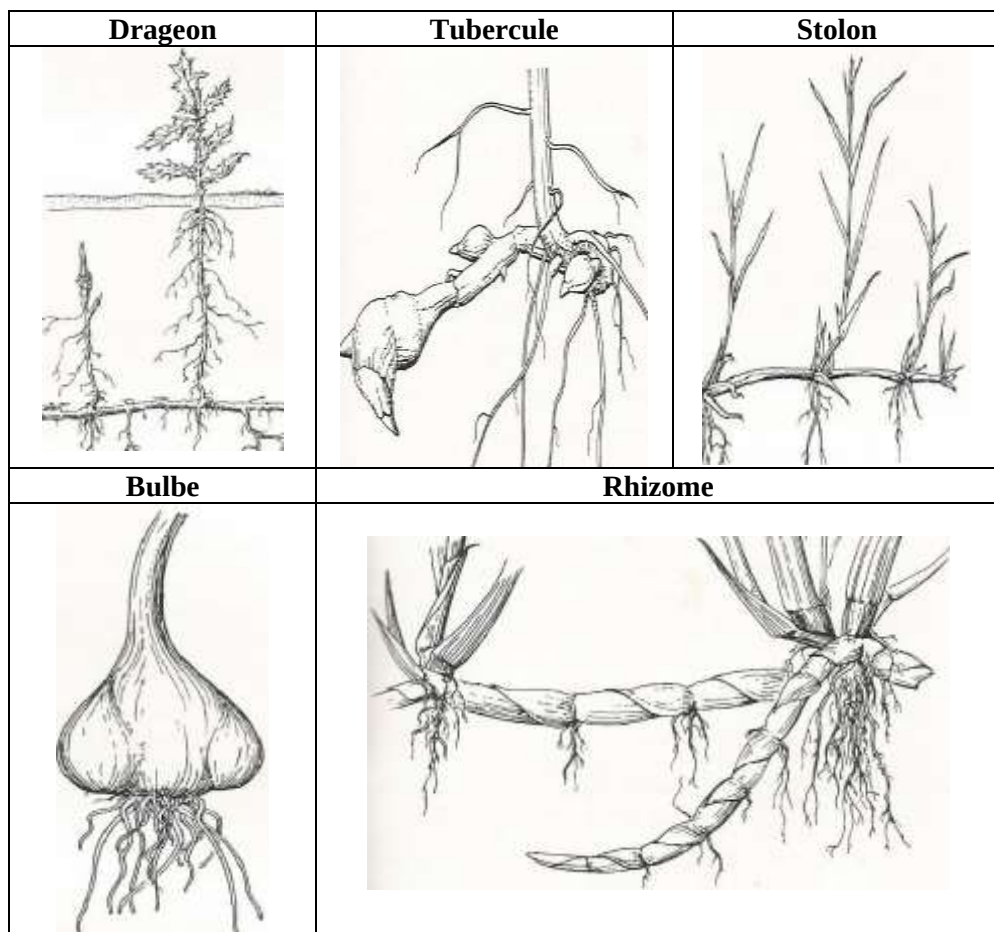


Figure 5.1: Propagules végétatives des adventices vivaces (Source: Ross et Lembi, 1985).

3. Aspect quantitatif de la reproduction végétative

A l'instar des adventices annuelles, une plante ou un individu d'une espèce pérenne à reproduction végétative est capable de produire, en une saison de croissance, des propagules végétatives en grande quantité et riches en bourgeons qui donnent naissance à de nouveaux individus. Cette production est beaucoup plus importante chez les pérennes vivaces que chez les pluriannuelles. Zimdahl (2007) a rapporté qu'une plantule de deux feuilles du *Convolvulus arvensis*, plantée dans un bac, a produit en six mois 197 racines verticales et 34 stolons ayant 122 cm de longueur chacun, ce qui donne 240 m de racines, 41,5 m de stolons et 141 nouveaux individus. De même, Aldrich (1984) a rapporté qu'une plante de *Typha latifolia* arrive à produire un réseau de racines de 3 m de diamètre, et une plante de 14 semaines du *Sorghum halepense* produit 26 m de rhizomes. Selon Colquhoun (2001), un plant de *Cyperus esculentus* peut produire 1 900 nouveaux individus et plus de 6 800 tubercules en une année et qu'une plante de *Cardaria draba* occupe une surface de 3 m de diamètre avec une production de 450 tiges durant la première année de sa croissance. Dans un essai en pots, trois tubercules de *Cyperus rotundus* ont produit 467, 2 893 et 4 472 tubercules/m² en 30, 60 et 120 jours après plantation (Berrichi *et al.*, 2004). Deux espèces des milieux aquatiques, la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) et la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), qui se multiplient végétativement par émission de nombreux bourgeons axillaires qui se développent en stolons dont résultent de nouvelles plantes, ont la capacité de doubler leurs populations tous les 10 à 15 jours (Bouhache et Taleb, 2013, Bouhache, 2019). Effectivement, une étude a montré que 10 plants de la jacinthe d'eau arrivent à produire 655 330 nouveaux individus en huit mois uniquement. Bien que les propagules végétatives soient produites rapidement (moins de temps) et aient de grandes tailles, leurs nombres et leurs diversités génétiques restent de loin inférieurs à ceux des semences produites par les adventices annuelles.

4. Facteurs actifs sur la reproduction végétative

La production des propagules végétatives est influencée par plusieurs facteurs qui sont liés soit à la plante elle-même soit aux conditions de l'environnement où se trouve cette plante. Ces facteurs peuvent avoir un effet isolé ou combiné de deux ou de plusieurs facteurs. La bonne connaissance de ces facteurs pourrait aider à empêcher ou à minimiser l'impact de cette catégorie d'adventices. En dehors de l'action évidente de la durée de la période de croissance et de développement des plantes mères, d'autres facteurs affectent la production des propagules.

4.1. Age

L'âge à partir duquel une nouvelle plante, issue d'une germination ou d'une régénération, acquiert le statut d'une pérenne (début de reproduction végétative),

est très important. A ce stade juvénile, les pérennes se comportent comme des annuelles vis-à-vis des moyens de leur contrôle. A ce stade, toute destruction de la partie aérienne entraîne l'élimination de la plante. Zimdahl (2007) a rapporté que les plantules d'*Agropyron repens*, du *Sorghum halepense* et du *Cyperus esculentus* commencent à produire les propagules végétatives à partir de 6-8, 3-6 et 4-6 semaines après leur germination ou régénération. L'étude du cycle du jujubier (*Ziziphus lotus*) dans la région de Settat a permis de montrer que les plantules, issues de germination, passent au stade vivace en 66 jours après leur émergence (Rsaissi et Bouhache, 2005a). Une étude de l'effet de l'étêtage des plantules de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*), issues de semences, a permis de noter que le taux de régénération est de 0, 17, 45 et 77% pour les plantules âgées de 5, 10, 15 et 20 jours après leur émergence (Tahri *et al.*, 1992). La durée de juvénilité de la morelle jaune a baissé de 10 à 5 jours (Ameur *et al.*, 2004). Ceci montre que l'âge à partir duquel une plantule passe à la reproduction végétative est caractérisé par une certaine plasticité et que sa durée est très courte pour l'assimiler à une plante annuelle.

4.2. Densité

La densité est un autre facteur lié à la plante qui influe beaucoup sur la production des propagules végétatives produites par les plantes pérennes. La production des propagules peut être évaluée sur deux bases, par plante ou par unité de surface. Ainsi, Aldrich (1984) a rapporté que chez le sorgho d'Alep (*Sorghum halepense*), la biomasse des rhizomes par plante et par unité de surface diminue avec l'augmentation de la densité des plantes mères. Alors que chez le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*), l'effet de la densité varie avec la base d'évaluation. Le nombre de tubercules/plante diminue avec l'augmentation de la densité des plantes productrices mères. Alors que ramené à l'unité de surface, plus la densité est grande plus la production des tubercules est importante. Chez *Oxalis pes-caprae*, la production de bulbes par plante décroît avec la densité (Montserrat *et al.*, 2006). Etant donné que peu d'espèces d'adventices ont été étudiées, il est difficile de faire des généralisations, mais on peut admettre que beaucoup d'espèces se comportent comme le sorgho ou le souchet.

La production des propagules végétatives n'est pas sensible uniquement à la densité des individus de la même espèce (compétition intraspécifique) mais aussi à la densité des individus des autres adventices ou des cultures (compétition interspécifique). Riemens *et al.* (2008) ont rapporté que *C. rotundus* et *C. esculentus* arrivent à produire 10 à 30 millions de tubercules/ha en une seule saison en absence de toute compétition. Dans une étude comparant l'effet de plusieurs cultures sur la reproduction végétative de *C. rotundus*, Iqbal *et al.* (2019) ont montré que deux cultures ont sévèrement affecté le nombre de tubercules produits. Le nombre de ces derniers est réduit de 84 et 75% lorsque *C. rotundus* est associé

respectivement aux cultures de sésame et du sorgho. Ainsi, cet effet pourrait être un élément intéressant à considérer pour la gestion de cette vivace redoutable dans les cultures.

4.3. Lumière

La lumière est un facteur environnemental qui agit, par sa quantité, sa qualité et sa durée ou photopériode, sur la quantité et la qualité des propagules végétatives. Cependant, les espèces ne réagissent pas de la même façon aux composantes de la lumière. La majorité des propagules végétatives sont considérées comme organes de stockage des hydrates de carbone (sucres). Ces derniers sont les produits de la photosynthèse qui dépend totalement de la quantité de lumière incidente. Effectivement, Reimens *et al.* (2008) ont rapporté que la réduction de la quantité de lumière reçue par *C. esculentus* affecte sérieusement le nombre et le poids des tubercules produits. Eclairé par les intensités de 37, 5; 16,3 et 9,0 Wm⁻², *C. esculentus* a produit 500, 300 et moins de 50 tubercules/plante avec un poids respectivement de 92, 52 et 27 mg/tubercule. De même, Robin (2011) a rapporté que *Tussilago farfara* produit en moyenne 206-228 rhizomes/m² dans des sites bien ensoleillés contre 0-38 rhizomes/m² dans des sites ombragés, deux ans après plantation. Egalement, Aldrich (1984) a rapporté qu'un ombrage de 85% réduit de 96% le nombre de tubercules produits par *C. rotundus*. Le même auteur a signalé que les lumières blanche, rouge et bleue inhibent la formation des rhizomes chez *C. rotundus*. Cependant, l'infrarouge stimule leur formation. Ceci pourrait expliquer entre autres l'effet de la densité et/ou de l'ombrage sur la reproduction végétative puisque le feuillage des plantes se comporte comme un filtre qui transmet plus d'infrarouge. La durée d'éclairage a aussi un effet sur la production des propagules végétatives. Chez les deux *Cyperus*, plus le jour est long plus la formation des tubercules est réduite (Williams, 1982; Aldrich, 1984).

4.4. Fertilité du sol

Concernant ce facteur, plusieurs études ont montré que, dans un sol ayant une faible fertilité, les pérennes ont tendance à allouer plus de ressources à la reproduction végétative qu'à la reproduction sexuée. D'autres études ont permis de conclure qu'une fertilité favorable d'un sol favorise la production des propagules végétatives plus que celle des semences (Yang et Kim, 2016). Malheureusement, les études ayant pour objectifs d'expliquer ces contradictions sont absentes. En tout cas, l'équilibre ou le compromis entre les deux voies de reproduction varie avec les espèces et dans une espèce, il varie avec le changement spatial ou temporel de l'environnement ou avec l'écotype comme dans le cas d'*Allium vineale* (Yang et Kim, 2016).

Généralement, l'apport de fertilisants et surtout de l'azote favorise la croissance végétative plus que la reproduction. Ainsi, la production des propagules végétatives devrait être réduite avec l'ajout de fertilisants. Dans beaucoup d'études, la réaction des espèces a été étudiée en apportant uniquement différentes doses d'azote. Dans ce cas, Aldrich (1984) a rapporté que les niveaux élevés de l'azote diminuent la production des tubercules chez *C. esculentus* et celle des rhizomes chez *Agropyron repens* et *Tussilago farfara*. Cependant, le sorgho d'Alep avait un comportement inverse.

4.5. Humidité du sol

En général, l'humidité d'un sol favorise la reproduction végétative. Par exemple, *C. esculentus* produit plus de propagules végétatives dans les sols humides. Ceci pourrait être expliqué par la difficulté de pénétration des propagules végétatives dans un sol sec et par le fait que ces unités de propagation végétative sont très sensibles à la dessiccation (Yang et Kim, 2016). L'effet de trois régimes d'irrigation sur la production de nouveaux tubercules chez *C. rotundus* a été étudié par Omezine et Harzallah-Skhiri (2009). L'absence d'irrigation a empêché la germination des tubercules ainsi que la production des pousses et des tubercules. Cependant, la production maximale de nouveaux tubercules (5 nouveaux tubercules/plante) est obtenue dans le cas d'irrigation journalière. Une irrigation par semaine a permis la production de 2 tubercules/plante (Tableau 5.2).

Tableau 5.2: Effet de l'humidité du sol sur la régénération et la production des tubercules chez *C. rotundus* (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009).

Régime d'irrigation	Germination de tubercules (%)	Nombre de pousses /tubercule	Nombre de tubercules/plante
Sans irrigation	0	0	0
Une irrigation/jour	100	3	5
Une irrigation/semaine	100	1	2

4.6. Type du sol et profondeur d'enfouissement

La production des propagules végétatives est influencée par le type du sol et la profondeur d'enfouissement. Chez *C. rotundus*, Omezine et Harzallah-Skhiri (2009) ont trouvé, suite à un essai en pots, que la production de nouveaux tubercules produits par les plantes mères est absente dans un sol argileux et que le maximum de tubercules a été obtenu dans la tourbe. De même, ils ont remarqué

que cette production de tubercules diminuait avec la profondeur d'enfouissement des plantes productrices (Tableau 5.3). La production des rhizomes chez *S. halepense* est aussi influencée par le type du sol. Ainsi, Rocateli et Manuchehri (2019) ont trouvé que la production de nouveaux rhizomes est réduite de 50% dans un sol argileux par rapport à un sol sableux. En comparant deux biotypes de *S. halepense*, Warwick *et al.* (1986) avaient noté que le biotype qui n'hiverne pas produisait très peu de rhizomes à une profondeur de 20 cm.

Tableau 5.3: Effet de type du sol et de la profondeur d'enfouissement sur la production des tubercules chez *C. rotundus* (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009).

Type du sol	Nombre de tubercules/pot	Profondeur d'enfouissement (cm)	Nombre de tubercules/pot
Argileux	0	2	115
Sableux	105	10	340
Sablono-argileux	123	20	350
Sablono-limono-argileux	151	40	102
Tourbe	188	50	62
-		60	3

5. Longévité des propagules végétatives

La durée de vie des propagules végétatives ainsi que les facteurs actifs sur leur persistance dans le sol sont un aspect extrêmement important pour une gestion réussie des pérennes. Les études conduites sur cet aspect ont concerné 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. 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 *S. halepense* ont une longévité de 1 à 2 ans et ceux d'*A. repens* plusieurs années. Quant aux tubercules de *C. esculentus*, ils peuvent rester viables dans un sol pendant 3 à 5 ans (Mulligan et Junkins, 1976).

La longévité des propagules végétatives des adventices est relativement faible par rapport à celle des semences. Elle dépend de plusieurs facteurs qui 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, ainsi que la fréquence de perturbation de ce dernier. Plus la profondeur d'enfouissement est grande plus la longévité des propagules est grande. Par contre, plus le sol est travaillé, plus cette longévité est réduite (Aldrich, 1984). Par exemple, uniquement 5 à 20% des rhizomes du *S. halepense* enfouis à une profondeur du sol de 6 cm étaient viables contre 86% pour les rhizomes enfouis à 25 cm (Hartzler, 1991). Les propagules végétatives sont très sensibles à la dessiccation et au froid extrême. Les tubercules de *C. rotundus* perdent leur viabilité une fois leur humidité est réduite à 15% (Reimens *et 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% lorsque les tubercules sont exposés (pendant quatre heures) respectivement aux températures de -6,5 et -2 C° (Reimens *et 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 stockées, 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 montré que la durée de vie des tubercules augmente avec l'augmentation de leurs poids.

6. Avantages et inconvénients

Provenant d'un seul parent, la reproduction végétative donne une progéniture génétiquement et phénotypiquement identique à la plante mère. Donc, l'espèce épargne l'énergie et le temps dépensés par la reproduction sexuée et garde la totalité des gènes du parent. La progéniture est habituellement adaptée à son environnement de par le succès de la plante productrice mère. Les propagules végétatives sont considérées comme organes de réserve et d'exploration des ressources. Ainsi, elles ont la capacité d'éviter les microsites pauvres pour coloniser ceux qui sont riches. Cette adaptation permet à la population de l'espèce de coloniser rapidement et efficacement un environnement, déjà testé par le parent, en produisant un grand nombre de descendants en peu de temps. En plus, les plantes issues de la reproduction végétative sont vigoureuses, ont une croissance rapide et sont précocement compétitives plus que celles issues des semences (Yang et Kim, 2016).

La densité élevée et l'uniformité génétique rendent la descendance vulnérable vis-à-vis des maladies, insectes et perturbations. En plus, les individus issus de propagules végétatives ont une distribution agrégative et restent à proximité du

parent ce qui favorise l'autopollinisation. Donc, le risque d'être soudainement anéantie par la survenue d'une catastrophe est très grand. La grande taille des propagules végétatives favorise leur dessiccation et réduit leur longévité. Ainsi, il est possible d'éradiquer une pérenne, quelle que soit sa persistance, après quelques années du travail du sol raisonné susceptible d'extirper les propagules (Yang et Kim, 2016).

Page laissée vierge

Chapitre 6: Dissémination des adventices

1. Notion et nature de diaspores

La dissémination ou la dispersion est tout simplement le transport ou le déplacement d'une adventice d'un endroit à l'autre; via plusieurs modes, mécanismes ou agents; d'une façon volontaire ou involontaire. Les adventices se dispersent essentiellement grâce à leurs semences, et dans le cas des espèces pérennes, par les propagules végétatives. La diaspore ou unité de dissémination peut être un organe ou une partie de la plante chargée de la dispersion de l'espèce et qui donne naissance à un ou plusieurs nouveaux individus. Il y a plus d'un siècle que la notion de diaspore a été introduite par Sernander. Les diaspores pourraient être classées sur la base de critères purement morphologiques. Généralement, les diaspores appartiennent à l'une des deux grandes classes, diaspores génératives et végétatives (Saldo *et al.*, 2018).

- **Diaspores génératives:** l'unité de dissémination pourrait être une spore (chez la fougère aigle) graine isolée (ex. *Papaver rhoeas*), un fruit (gousses des légumineuses) ou groupe de fruits (épillets des graminées), l'infrutescence complète ou fragmentée (ex. *Scolymus* sp.) ou la plante mère entière (ex. *Salsola* sp. et certaines amarantes).
- **Diaspores végétatives:** l'unité de dispersion est un organe végétatif ou une partie végétative de la plante mère comme les plantules (chez *Poa bulbosa*), les tubercules (chez *Cyperus rotundus*), les bulbes et bulbilles (chez *Oxalis pes-caprae*), les rhizomes (chez *Sorghum halepense*), les stolons (chez *Cynodon dactylon*), les cormes (chez *Ranunculus bulbosus*), les souches (chez *Ziziphus lotus*), et les fragments de tige (chez *Solanum elaeagnifolium*), de souche (chez *Ziziphus lotus*), de feuille (chez *Portulaca oleracea*) et de racine (chez *Convolvulus arvensis*).

Les types de diaspores qu'une plante adventice peut produire dépend de l'espèce et dans une certaine mesure de son type biologique. Beaucoup d'adventices annuelles se contentent d'un seul type. Tandis que plusieurs adventices vivaces présentent plusieurs types de diaspores comme le cas de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) qui se dissémine par semences, fruits, drageons et fragments de tige et de racines. Les diaspores sont formées soit au dessus du sol (graines, fruits, etc.), soit à des profondeurs variables dans le sol (bulbes, tubercules, rhizomes, etc.). Si la notion de la diaspore individualisée est relativement claire pour les

graines et les fruits, elle l'est moins pour certaines plantes susceptibles d'être fragmentés (racines, tiges, rhizomes, etc.) car chaque fragment, le plus petit possible qu'il soit, pourrait donner une plante individualisée. Les traits ou caractéristiques les plus importants pour les diaspores sont ceux qui jouent un rôle dans a) l'indépendance des diaspores de leurs parents, b) l'exploitation des sites favorables et établis et c) les structures et mécanismes de la dispersion spatiale et temporelle dans le sol (Dekker, 2011).

2. Importance de la dissémination

La dissémination des adventices dans l'espace et dans le temps est la conséquence de l'interaction ou le chevauchement de trois processus, le cycle de vie, la sélection naturelle et l'invasion biologique (Dekker, 2011). En effet, la dissémination est un processus écologique essentiel pour la viabilité des populations végétales en permettant aux espèces, composant les assemblages végétaux, de survivre pendant les périodes durant lesquelles les habitats ne sont pas favorables pour leurs croissances et développements. Ce processus présente plusieurs intérêts biologiques. Premièrement, le transport des diaspores loin des parents évite la compétition intraspécifique vis-à-vis des ressources de l'habitat, protège la plante contre les ennemis attirés ou soutenus par les parents et augmente les chances de survie (Fig. 6.1). Cet éloignement permet aussi de maintenir la diversité génétique de la population par le flux des gènes et d'augmenter la biodiversité d'un milieu par l'immigration. Deuxièmement, la dissémination permet aux diaspores de coloniser, par une large dispersion, des milieux et/ou régions géographiques variables. Dans ce cas, la dissémination sur de longues distances est assurée par les diaspores génératives. Pour jouer ce rôle, les diaspores végétatives ont besoin de l'aide d'agents artificiels de dissémination. Troisièmement, le transport des diaspores suite à leur ingestion par les animaux (l'endozoochorie) joue un rôle dans leur germination en supprimant leurs dormances après avoir été évacuées par l'animal.

En matière de gestion des adventices, la dissémination des diaspores, leur grande production et leur longévité dans le sol rendent le contrôle des adventices très complexe et leur éradication presque impossible. 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. Les adventices sont bien adaptées à des habitats ouverts et régulièrement perturbés tels que les milieux cultivés ou les végétations clairsemées. Cette adaptation est due principalement à l'adoption de deux stratégies évolutionnistes, l'une n'exclue pas l'autre :

- Utiliser des agents de transport efficaces afin d'élargir leur distribution spatiale, et par conséquent, augmenter les chances de trouver un habitat propice (dissémination dans l'espace);
- Miser sur des diaspores capables de rentrer en état de dormance le plus longtemps possible dans l'attente que l'habitat soit de nouveau favorable (dissémination dans le temps).

La connaissance des stratégies de dissémination des plantes en général et des adventices en particulier est très importante, car elle permet de comprendre le processus de leur évolution, d'expliquer leur distribution actuelle et enfin de prédire les changements futurs.

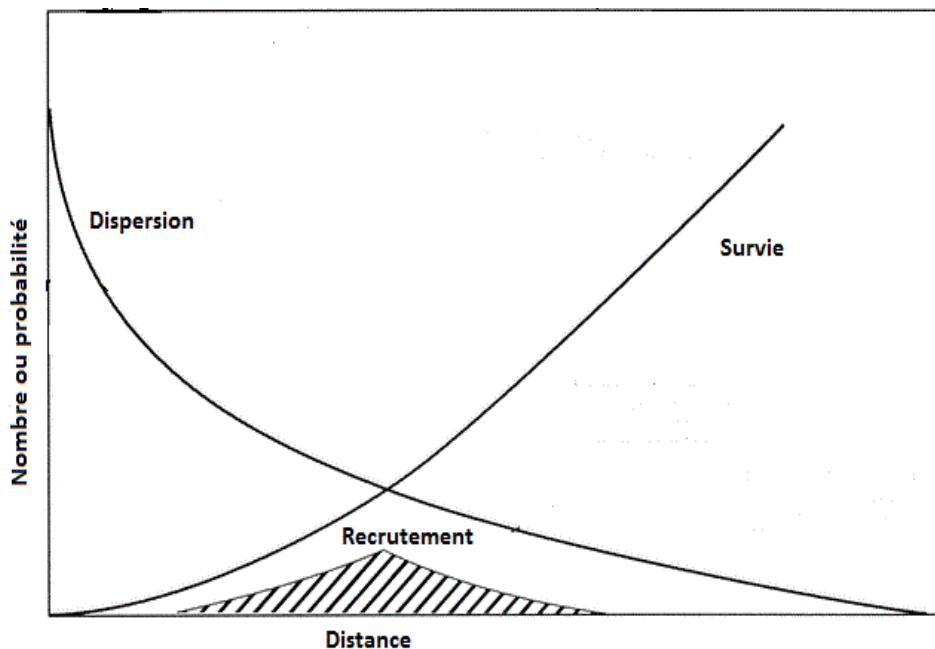


Figure 6.1: Recrutement de nouveaux individus en fonction du nombre des diaspores disséminées et la probabilité de survie (Source: Radosevich *et al.*, 1997).

3. Dissémination dans l'espace

3.1. Facteurs affectant la dissémination spatiale

Comparativement aux animaux qui sont mobiles, les capacités des plantes sont limitées pour trouver un environnement favorable à la progéniture, et par conséquent, elles ont acquis des adaptations pour leur dispersion par les semences et les propagules végétatives. Plusieurs caractéristiques ou structures morphologiques des diaspores peuvent être considérées comme une adaptation aux différents agents (modes ou mécanismes) de leur dissémination (Fig. 6.2). Par exemple, les fruits colorés, juteux et charnus ou les diaspores ayant des crochets ou des épines (Fig. 6.2., G, I, J, K) indiquent une dispersion par les animaux.

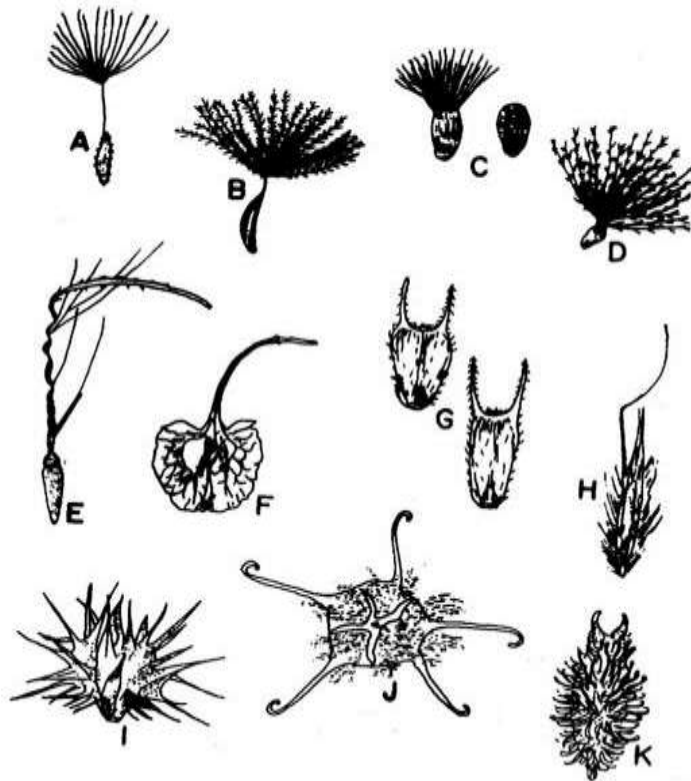


Figure 6.2: Morphologie et structure de certaines diaspores (Source : Radosevich *et al.*, 1997).

Les diaspores ornées de pappus, aigrettes et ailes (Fig. 6.2, A, B, C, D, F) sont candidates pour être transportées par le vent. Ces traits seuls ne sont pas suffisants pour une dissémination réussie, mais d'autres facteurs interviennent. La quantité des diaspores qui arrive dans un milieu ou qui tombe sur une surface du sol dépend de la hauteur et de la distance de la plante mère ou productrice, de la concentration des diaspores à la source, de la dispersibilité des diaspores (traits morphologiques) et de l'activité des agents de dissémination (Harper, 1977). En outre, dans les milieux cultivés ou les habitats périodiquement perturbés, les diaspores sont sujettes à la dissémination horizontale et verticale. La dispersion verticale se passe entre la partie aérienne de la plante où les diaspores sont produites et le sol. Les diaspores qui tombent sur la surface du sol sont incorporées dans le sol par les outils de travail du sol utilisés (deuxième dispersion verticale). Le type d'outil et leur profondeur du travail affectent inéluctablement le profil de distribution verticale des diaspores dans un sol.

3.2. Agents et classes de dissémination spatiale

La classification des diaspores sur la base de leurs structures morphologiques n'a pas beaucoup d'intérêt en comparaison à la classification écologique. Cette dernière utilise comme critère du premier ordre l'agent ou le facteur du milieu le plus efficace pour réaliser la dissémination. Ainsi, les principaux groupes éthologiques de diaspores sont classés selon l'efficacité de leurs adaptations en vue de leur dissémination naturelle ou artificielle par un agent déterminé. Une espèce peut utiliser plusieurs agents de dissémination selon le contexte écologique et la disponibilité du vecteur ou l'agent transporteur.

- **Les anémochores (anémochorie):** la dissémination est assurée par le vent (vient du grec anémos = vent et chor = disperser ou disséminer). Le vent ainsi que les courants atmosphériques sont capables de transporter beaucoup de diaspores sur des centaines de kilomètres. Deux sous-classes sont à distinguer, les diaspores anémochores planeurs qui sont transportées par voie aérienne et les anémochores roulant qui sont transportées par voie terrestre (ex. plante entière, infrutescence, fruit volumineux, etc.). Généralement, les diaspores anémochores planeurs sont de petites tailles et/ou légères (ex. *Orobancha* spp.) ou dotées d'appendices et/ou de structures permettant leur dispersion par le vent (ex. *Conyza canadensis*, *Senecio vulgaris*, *Sonchus oleraceus*, etc.). La distance traversée est fonction de la hauteur de libération des diaspores, la vitesse du vent et la présence ou absence des obstacles sur le chemin de dissémination. La dissémination des diaspores anémochores planeurs est très efficace dans les milieux ouverts et les terrains dégagés.

- **Les hydrochores (hydrochorie):** la dissémination est assurée par l'eau (vient du grec hydros = eau et chor = disperser ou disséminer). En fonction de son volume et de sa vitesse d'écoulement, l'eau transporte de grandes quantités de diaspores abstraction faite de leur morphologie. Mais, certaines espèces ont besoin de certains dispositifs adaptatifs (lacunes aérifères et/ou réserves huileuses assurant la flottabilité et l'imperméabilité des enveloppes, accessoires, etc.) pour bénéficier de ce transport. Les plantes adaptées à ce mode de dissémination vivent en général dans les milieux humides ou le long des berges des rivières. L'eau, agit comme hydrométéore par son impact ou comme transporteur. Dans le premier cas, les gouttes de pluies peuvent libérer les diaspores de certaines espèces. Lors des précipitations violentes, le ruissellement sur un terrain ouvert entraîne de nombreuses propagules. Cependant, l'eau d'irrigation reste l'agent principal de dissémination des diaspores dans les milieux cultivés. Effectivement, Radosevich *et al.* (1977) ont rapporté que 156 piégeages de 15 minutes à un point d'un canal d'irrigation au Colorado (USA) ont permis de collecter des quantités importantes de semences fournies par 81 espèces différentes (Tableau 6.1). Cette technique de piégeage a été également utilisée pour étudier les voies de dissémination de la morelle jaune dans le périmètre irrigué du Tadla (Essadini, 1988). Ce dernier avait récupéré 131 semences de la morelle jaune, dont 69,5% sont viables, suite à six piégeages (de 8 h chacun) effectués à l'entrée d'une parcelle irriguée par un canal d'irrigation durant deux mois, août et septembre. D'ailleurs, l'eau d'irrigation, acheminée par un canal traversant le Tadla, est accusée d'avoir disséminé la morelle jaune dans les champs d'El Kelâa des Sraghna. L'action de l'eau ne se limite pas uniquement à la dispersion horizontale des diaspores, mais aussi à leur dissémination verticale dans le sol. Il a été remarqué dans le Gharb que les semences des adventices sont entraînées profondément dans les horizons des sols argileux (Tirs), avec des fissures élargies et profondes durant l'été, après les premières pluies d'automne ou les premières irrigations (Bouhache *et al.* 1983).

Tableau 6.1: Nombre estimé de semences passées à un point d'un canal de 3,66 m de longueur (Source: Radosevich *et al.*, 1997).

Espèces	Nombre	Espèces	Nombre
<i>Amaranthus retroflexus</i>	1 280448	<i>Rumex crispus</i>	89856
<i>Chenopodium album</i>	1 302912	<i>Setaria viridis</i>	44928
<i>Polygonum convolvulus</i>	157248	<i>Taraxacum officinale</i>	10 355904

- Les zoochores (zoochorie):** la dissémination est assurée par les animaux sauvages ou domestiques (vient du grec zoo = animal et chor = disperser ou disséminer). Les diaspores zoochores ont le potentiel d'être transportées sur des distances plus longues que les anémochores car une fois adhérentes au pelage/toison de l'animal, elles y restent longtemps. Ce mode de dissémination est bien adapté aux milieux fermés. Les diaspores disséminées par les animaux sont nombreuses et présentent des dispositifs extrêmement variés. Deux grandes sous-classes se distinguent. Les épizoochores sont transportées passivement ou activement par les animaux. Dans le cas de l'épizoochorie passive, les diaspores ne sont pas recherchées par les animaux et voyagent accrochées aux animaux par des dispositifs très divers (matière collante, épines, crochets, pappus à crochets, etc.) (ex. *Galium* spp., *Xanthium spinosum*, *Torilis nodosa*, *Bidens pilosa*, etc.). Alors que dans le cas de l'épizoochorie active, les diaspores sont transportées volontairement par les animaux pour se nourrir d'elles ou de leurs sécrétions (semences à éléosomes par exemple). Les rongeurs ainsi que les fourmis jouent un rôle très important dans ce transport actif.

Les endozoochores sont des diaspores transportées suite à leur ingestion par les animaux. Pour qu'elles soient ingérées et que leur dissémination soit réussie, les endozoochores ont développé des moyens d'attraction (la couleur, le goût, l'odeur, etc.) et des résistances à la digestion lors de leur passage par le tractus digestif de l'animal. Ce passage est souvent bénéfique pour ces diaspores car il permet la suppression de la dormance chez certaines espèces. En outre, leur présence dans les déjections offre un milieu riche en fertilisants frais. Une étude sur les modes de dispersion de la morelle jaune dans le Tadla a permis de mettre en évidence que parmi les animaux domestiques seuls les ovins disséminent l'espèce (Tableau 6.2). Le nombre moyen de

graines contenues dans un Kg du fumier d'ovins est supérieur à celui extrait des crottes d'ovins. Ceci laisse supposer que les graines et/ou les fruits (dotés de pédoncules épineux) de la morelle sont à la fois épizoochores et endozoochores. Effectivement, les ovins sont considérés être le principal moyen de dissémination de cette espèce envahissante dans presque toutes les régions du Maroc (Bouhache, 2010).

Tableau 6.2: Dissémination des graines de la morelle jaune par les animaux au Tadla (Essadini, 1988).

Moyen de dissémination	Nombre total des graines isolées	Nombre moyen de graines/kg	Viabilité (%)
Fumier d'ovins	1097	36,6	58
Crottes d'ovins	779	25,9	67
Fumier de bovins	0	0	-
Fumier d'équidés	0	0	-

- Les autochores (autochorie):** la dissémination est assurée par la plante elle-même (vient du grec auto = soit-même et chor = disperser ou disséminer). Ce mécanisme de dissémination de diaspores assure une dispersion indépendante et sans assistance sur de très courtes distances (quelques mètres) et dans toutes les directions. Ce mode de dissémination est très efficace dans les milieux régulièrement perturbés. Généralement, les autochores ont développé au fil des temps des dispositifs d'explosion ou de projection des graines ou de leur mouvement sur le sol. Les projections mécanique et physiologique restent le mode de dissémination le plus fréquent chez les plantes en général. Dans le premier cas, la dissémination se fait par une déhiscence forcée ou une contraction brusque de certains organes (ex. ouverture brusque avec torsion des valves des gousses des Légumineuses, éclatement des capsules des *Euphorbiaceae*, etc.). Dans le deuxième cas, la projection des graines est due à une différence de turgescence entre divers tissus vivants (ex. *Oxalis corniculata*, *Ecballium elaterium*, etc.) (Fig. 6.3). Comme exemple de mouvement sur la surface du sol, les épillets de l'avoine stérile bougent horizontalement et verticalement (dans les crevasses et fissures) grâce à leurs arrêtes qui tournent sous l'effet de l'humidité atmosphérique.



Figure 6.3: Projection des graines par le fruit d'*Ecballium elaterium* (Source: Anderson, 1983)

- **Les barochores (barochorie):** les diaspores sont entraînées par leurs poids pour regagner le sol (vient du grec baros = pesanteur, gravité et chor = disperser ou disséminer). Il s'agit de diaspores répondant à la pesanteur seule. C'est le mode le plus simple parmi les modes de dissémination naturelle. Généralement, les diaspores lourdes ou simples et plus ou moins rondes sont bien adaptées à ce mode de dissémination. La plante mère est dépourvue de structures spéciales, économise les ressources et garantit la germination de nouveaux individus dans un milieu très proche d'elle. Ceci est intéressant pour les annuelles (mais pas pour les vivaces) qui cèdent la place aux nouvelles générations.

- **Les anthropochores (anthropochorie):** la dissémination est assurée délibérément et/ou accidentellement par l'Homme (vient du grec *anthropos* = Homme et *chor* = disperser ou disséminer). Avec ce mode de dissémination, la dispersion des diaspores se fait sur de courtes et de longues distances en fonction des déplacements et/ou des activités humaines. L'Homme est responsable de la dissémination inter et intra continentales des espèces suite à ses multiples voyages (tourisme) et ses échanges commerciaux qui deviennent rapides et diversifiés. En 2009, la F.A.O. avait estimé que sur 10 000 adventices il y a déjà 4 000 qui ont été échangées entre différents pays et 6 000 attendent leur tour pour être échangées (Labrada, comm. pers.). Par exemple, la morelle jaune a été introduite au Maroc les années 1940 sous forme de semences contaminant les lots de semences du cotonnier importés des USA (Uludag et al., 2016, Ben-Ghabrit, 2019).

L'anthropochorie est le seul mode de dissémination artificielle des diaspores des plantes. Ce mécanisme de dissémination a un rôle spécial dans les milieux cultivés. Effectivement, les activités agricoles ont une part déterminante dans la dispersion des adventices à l'échelle intra et inter parcellaires, d'une région et même d'un pays. Les diaspores sont disséminées par les machines et le matériel agricoles, les véhicules de transport des marchandises, les lots de semences des cultures, le fumier, les fourrages, les plants en mottes issus de pépinières infestées. Une étude sur la qualité des semences des céréales a été conduite par Tanji et Nassif (1999) dans la région de la Chaouia en collectant chez les agriculteurs une centaine d'échantillons d'orge, de blé dur et de blé tendre au moment du semis. L'analyse de ces échantillons au laboratoire a permis de confirmer que l'utilisation des semences non certifiées, comme celles produites par les agriculteurs eux-mêmes ou achetées d'un marchand ou de souk, est une source importante d'infestation quantitative et qualitative des cultures (Tableau 6.3). Les outils de travail du sol participent efficacement dans la dispersion des diaspores au niveau parcellaire et entre les parcelles d'une exploitation ou entre les champs d'une région. Au Tadla, l'analyse de 20 échantillons du sol collectés aux différents organes des machines agricoles (tracteurs, cover crops et charrues) a permis de récupérer 592 graines de la morelle jaune dont 52% sont viables (Essadini, 1988). De même, les échantillons du fumier des ovins, prélevés

dans la même région et analysés, contenaient les graines viables de la morelle jaune (Tableau 6.2). 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.

Tableau 6.3: Infestation par les semences d'adventices des lots de semences des céréales utilisés pour le semis en Chaouia (Tanji et Nassif, 1999).

Céréales	Origine des semences	Nombre moyen de semences d'adventices/kg	Nombre d'adventices
Blé dur	Auto-produites	796	10
	Achetées	440	6
	Certifiées	9	2
Blé tendre	Auto-produites	860	11
	Achetées	621	9
	Certifiées	4	1
Orge	Auto-produites	1009	14
	Achetées	7305	11

3.3. Spectre de dissémination

A l'instar du spectre biologique ou éthologique de la flore adventice d'une culture ou d'une région donnée, le spectre de dissémination donne la contribution de chaque mode de dissémination à l'effectif spécifique global. Ainsi, il est déterminé sous forme de fréquence relative (ou pourcentage), brute ou pondérée, des divers types de diaspores. La pondération peut être effectuée par rapport à l'abondance-dominance de chaque espèce dans la communauté mais aussi en affectant, éventuellement, les espèces à plusieurs modes de dispersion. Effectivement, la "polychorie" est très fréquente chez beaucoup d'adventices. Par exemple, la morelle jaune est disséminée par l'eau d'irrigation, les ovins, la paille, le matériel agricole, etc. La connaissance du spectre de dissémination peut renseigner sur les stratégies adoptées par une flore adventice, le type de milieu colonisé et la richesse

faunistique de ce dernier. Au Maroc, aucune étude de la flore adventice marocaine n'a abordé, jusqu'à présent, cet aspect si informatif.

4. Dissémination dans le temps: dormance

4.1. Notion et signification de la dormance

Les adventices productrices de graines ont développé des stratégies de dormance qui empêcheraient leurs semences de germer quand les conditions sont favorables, mais le milieu et/ou la période de l'année ne sont pas optimaux pour la survie et la reproduction future des jeunes plantes. Cette stratégie de survie permet à l'adventice, ou à ses descendants, d'échapper aux mauvaises conditions dans le temps ou dans l'espace, minimisant ainsi les risques de mortalité. Donc, la dormance ainsi que le moment de sa suppression sont deux traits évolutifs ou adaptatifs qui permettent d'optimiser, à l'intérieur d'une population de graines, la régulation de la germination dans le temps. En d'autres termes, la dormance est une adaptation qui permet aux semences de faire coïncider la période de leur germination avec les conditions favorables de l'environnement. De ce fait, la dormance est effectivement une dissémination ou dispersion dans le temps. Ce mouvement dans le temps est très critique pour les espèces qui se multiplient par graine, car cette dernière est considérée comme le seul relais entre les générations de ces espèces.

Plusieurs définitions ont été formulées pour définir la notion de dormance. Tout simplement, une graine morphologiquement normale et viable est qualifiée de dormante lorsqu'elle ne germe pas (ou peu) en présence de tous les facteurs environnementaux favorisant sa germination tels que l'eau, la température, la lumière/l'obscurité, l'oxygène, etc. On parle de dormance lorsqu'il faut attendre plus de quatre semaines avant la première percée radiculaire et/ou lorsque la germination est étalée dans le temps (plus de deux mois pour un lot de graines). Malgré la simplicité de la définition, le phénomène de dormance est très complexe et les mécanismes qui le régissent ne sont pas totalement déterminés et compris. Cette difficulté est due entre autres à la nature des modifications subites par la semence avant et après sa dissémination spatiale, tout au long de sa vie. Ces modifications à leur tour dépendent des traits intrinsèques des semences et des facteurs environnementaux auxquels elles sont soumises (Chadoeuf, 1985).

4.2. Type et causes de la dormance

En considérant les facteurs environnementaux ou génétiques, et en fonction des mécanismes d'induction et/ou de levée de la dormance, différents types de dormance ont été décrits et plusieurs termes ont été utilisés pour les définir, mais non admis par tout le monde (Chadoeuf, 1985; Leblanc *et al.*, 1998; Qasem, 2019).

En évitant toute polémique scientifique, beaucoup de malherbologistes ont adopté une classification simple reconnaissant deux types de dormances (primaire et secondaire) et deux catégories (tégumentaire et embryonnaire). Les deux types font référence à la période de l'acquisition de la dormance et les deux catégories font référence au mécanisme ou à la structure de la semence ou de la graine responsable de l'incapacité à la germination. A ces deux types de dormance, on ajoute la dormance forcée, terme proposé par Harper en 1957, pour désigner les inhibitions de germination dues à l'absence ou l'excès d'un facteur de l'environnement nécessaire à la germination (= quiescence). Dans les conditions naturelles, il est difficile de distinguer ces différents types de dormances. Les semences d'une adventice passent obligatoirement, à un moment donné de leur vie, par une, deux ou trois types de dormance suivants (selon leur ordre d'apparition):

- **Dormance primaire:** appelée aussi « dormance innée », est une dormance endogène qui s'installe au cours de la formation et la maturation morphologique des semences. C'est une dormance contrôlée génétiquement et dont la durée dépend des facteurs de l'environnement. Donc, la dormance primaire résulte de l'interaction entre le génome et les facteurs de l'environnement qui régnaient avant, durant et après la production des semences. L'incapacité à la germination avant la dissémination de la semence réside dans l'embryon qui est incapable de germer ou elle pourrait être due aux enveloppes séminales qui l'entourent (Fig. 4.1), ou les deux à la fois. Dans le premier cas, on parle d'une dormance embryonnaire, alors que dans l'autre cas, on parle d'une dormance tégumentaire ou d'une inhibition tégumentaire primaire. La dormance primaire disparaît progressivement, et parfois rapidement, lors de la maturation physiologique (ou post-maturation) qui conduit la semence de la maturité morphologique à la maturité physiologique. Souvent, la prolongation de la durée de la dormance primaire est imposée par les enveloppes séminales plus que par l'embryon.

Plusieurs facteurs morphologiques et physiologiques causent la dormance primaire en l'occurrence a) la non maturité morphologique et/ou physiologique de l'embryon, b) substances chimiques (composés volatiles, aldéhydes, acides organiques, coumarine, lactones insaturés, acides phénoliques, etc.) qui se trouvent dans les téguments, l'embryon, les cotylédons et à l'intérieur de la semence, c) les équilibres entre les phytohormones (gibbérellines, éthylène, cytokinines, acide abscissique) et d) l'épaisseur et la rigidité des téguments qui font

obstacle physique à la pénétration de l'eau, de l'oxygène, des deux à la fois ou résistent à l'expansion de l'embryon dans la graine. Les téguments constituent aussi une barrière physique pour le passage de l'oxygène car leurs constituants phénoliques fixent l'oxygène dissout dans l'eau et privent ainsi l'embryon d'une oxygénation adéquate (Qasem, 2019). En plus de l'effet génétique, la dormance primaire varie sous l'effet d'autres facteurs en l'occurrence a) la position des graines dans la plante (même dans le fruit), b) l'âge physiologique de la plante et l'échelonnement de leur production, c) les caractéristiques morphologiques et anatomiques des semences issues d'un même pied et d) les conditions agroclimatiques (photopériode, qualité de la lumière, température et humidité du sol) régnant lors de la production des semences (Chadoeuf, 1985; Tissut *et al.*, 2006). Naturellement, tous ces facteurs environnementaux et endogènes interviennent ensemble pour moduler l'aptitude germinative des semences produites, ce qui permet de comprendre les différences de capacités à germer des semences récoltées au sein d'une même population.

- **Dormance forcée:** appelée aussi « dormance imposée », est une dormance exogène qui s'installe chez les semences présentes sur le sol ou dans le sol. En réalité, il ne s'agit pas d'une inaptitude à la germination en relation avec la dormance, mais d'une inhibition de germination causée par les facteurs environnementaux défavorables (lumière, température, humidité du sol et teneurs en oxygène et en gaz carbonique du sol) du milieu dans lequel se trouvent les semences. Dès que ces facteurs ne sont plus restrictifs, les semences retrouvent leurs capacités à germer. Les semences présentes sur le sol sont essentiellement affectées par la qualité et la quantité de la lumière incidente ou réfléchie. A côté de ces facteurs environnementaux, d'autres facteurs extrinsèques pourraient empêcher les semences à germer: profondeur d'enfouissement et présence de substances exogènes dans le sol tels que les composés volatils (éthylène, éthanol, acétaldéhyde, etc.) produits en conditions d'anaérobiose et les composés organiques allélopathiques libérés par les plantes vivantes ou mortes (Chadoeuf, 1985; Qasem, 2019, Tissut *et al.*, 2006). Par exemple, les semences d'orobanche pré-conditionnées ne germent qu'en présence des exsudats racinaires de la plante hôte comme la fève. Dans la plupart des cas, la dormance forcée précède la dormance secondaire.

- **Dormance secondaire:** appelée également « dormance induite », est une dormance endogène acquise par les semences mûres non dormantes ou ayant franchi la dormance primaire suite à leur exposition aux facteurs environnementaux (naturels ou artificiels) défavorables à la germination lors et/ou après leur dissémination. Le retour des conditions favorables, après l'installation de la dormance secondaire, ne garantit pas leur germination. Généralement, cette dormance est profonde, difficile à lever et peut être d'origine embryonnaire ou tégumentaire. Ce type de dormance est fréquent chez beaucoup d'adventices annuelles et responsable du caractère cyclique de la dormance de leurs semences enfouies dans le sol. L'induction de cette dormance se fait principalement par un excès de lumière, de température, de gaz carbonique et de profondeur d'enfouissement et une pénurie d'oxygène et d'humidité dans le sol. Généralement, les facteurs déclenchant cette dormance ne sont pas ceux qui la suppriment. Par exemple, l'effet inhibiteur de l'enfouissement est levé par la lumière chez certaines espèces.

4.3. Suppression de la dormance

La levée de dormance permet aux semences, qui se trouvent à la surface ou dans le sol, de passer de l'état dormant à l'état non dormant. Chez la plupart des adventices annuelles, ce passage est dû naturellement à quatre facteurs principaux: température alternée, lumière, humidité du sol et nitrates (Chadoeuf, 1985; Leblanc *et al.*, 1998). D'autres facteurs tels que les gaz et les microorganismes du sol peuvent participer à la suppression de dormance (Chadoeuf, 1985). Cet auteur a rapporté, sur la base des expérimentations, qu'à partir des semences de 85 espèces adventices, 75% germent mieux à la température alternée qu'à la température constante, 30% préfèrent la lumière à l'obscurité et 50% germent mieux en présence des ions nitrates (NO_3^-). En outre, l'effet combiné de ces facteurs est meilleur lorsqu'ils agissent ensemble. La température a plus d'influence sur le cycle saisonnier de la dormance embryonnaire que les autres facteurs. La dormance des adventices annuelles estivales est levée par les basses températures de l'hiver. Tandis que la dormance des espèces automnales et hivernales est supprimée par les hautes températures de l'été. Quant aux cycles d'hydratation et déshydratation, l'alternance des températures et l'action des microorganismes, ils brisent la dormance tégumentaire des semences dures en créant des ouvertures dans leurs enveloppes séminales.

Pour lever la dormance des semences au laboratoire, plusieurs méthodes ou techniques basées sur l'abrasion, la manipulation de la température et l'utilisation des produits chimiques sont utilisées (Zimdahl, 2007). Pour l'abrasion qui vise à briser les téguments, on utilise la scarification mécanique et chimique (acide sulfurique ou chlorhydrique), décortilage, trempage, lavage, hydratation-déshydratation, etc. Quant à la manipulation de la température, elle consiste à faire alterner la congélation et la décongélation, la stratification et le froid. Les substances chimiques connues pour supprimer la dormance des semences sont l'acide gibbérellique, le nitrate de potasse, la cytokinine, les auxines, etc. D'autres moyens comme l'anoxie sont aussi utilisés pour lever la dormance des semences au laboratoire. Pour lever la dormance de cinq lots de semences de la morelle jaune, récoltées dans le périmètre irrigué du Tadla, Lonchamp et Boulet (1989) ont utilisé l'acide gibbérellique (GA_3), le nitrate de potassium (KNO_3), l'azide de sodium (NaN_3) et les scarifications mécanique et chimique (Acide sulfurique). Ainsi, l'acide gibbérellique était le traitement le plus efficace (Fig. 6.4). Dans la pratique, ces méthodes ou techniques ne sont pas applicables à grande échelle. Puisque le travail du sol agit sur tous les facteurs naturels induisant la dormance, il reste ainsi un bon moyen pour supprimer la dormance des semences au champ. Etant non sélectif des espèces, la perturbation du sol peut aussi induire la dormance secondaire de certaines espèces d'entre elles.

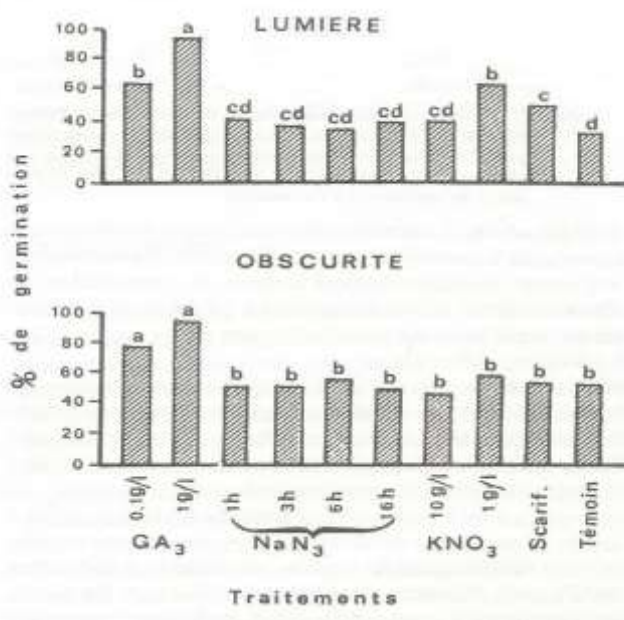


Figure 6.4: Effet des traitements de levée de dormance sur la capacité germinative des semences de la morelle jaune (Lonchamp et Boulet, 1989).

4.4. Dynamique et périodicité de la dormance

Les semences qui atterrissent sur la surface d'un sol, suite à leur dissémination, ont déjà des aptitudes germinatives qui peuvent être modifiées après leur enfouissement dans le sol. La présence des semences dans le sol peut induire une inhibition de germination ou une dormance secondaire. Ces états de dormance ne sont pas constants mais changent tout le temps tant que les semences n'ont pas germé. Cette dynamique ainsi que les relations existantes entre les différents états de dormance des semences sont schématisées dans la figure 6.5. Cette dernière indique, d'une manière implicite, les successions possibles de nombreux cycles de « dormance forcée » alternant avec « dormance secondaire ». Dans ce phénomène cyclique, la dormance primaire constitue le point de départ et la germination le point d'arrivée. Parfois, la dormance secondaire peut se développer à partir d'une dormance primaire sans passer par la dormance forcée. Très peu de semences germent juste après leur dissémination. De ce fait, les sols agricoles renferment une grande quantité de semences d'adventices dont l'âge et le potentiel germinatif diffèrent d'une semence à l'autre. Ceci conduit à une grande hétérogénéité de l'état de dormance des semences présentes dans un sol (Chadoeuf, 1985).

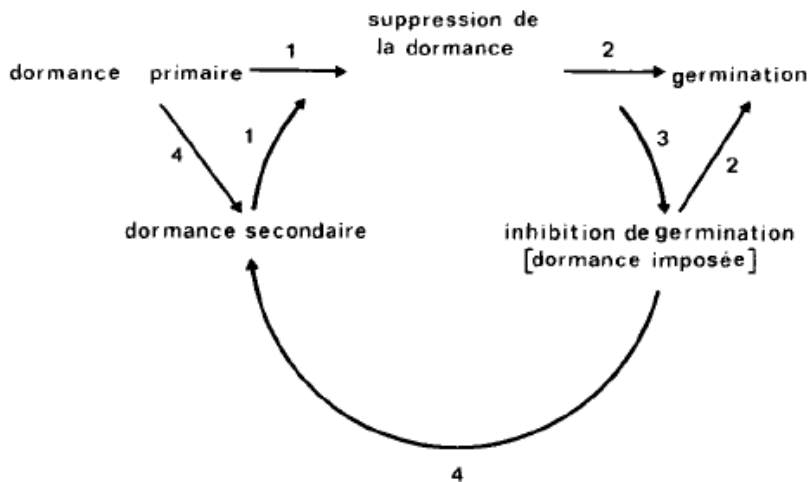


Figure 6.5: Modifications de la dormance des semences d'un sol selon Karssen, avec 1: Facteurs supprimant la dormance, 2: Facteurs correspondant aux exigences germinatives des semences, 3: Facteurs différents des conditions nécessaires à la germination et/ou facteurs inhibiteurs de la germination et 4: Facteurs induisant la dormance (Source: Chadoeuf, 1985).

La plupart des semences d'adventices des sols cultivés passent périodiquement d'un état dormant à un état non dormant et d'une façon réciproque. Ce va et vient entre les deux états se répète tout le temps jusqu'à ce que le travail du sol place les semences dans un horizon qui répond à leurs exigences pour germer. Généralement, il y a une correspondance entre la périodicité de la dormance et celle de la germination et de la levée. Donc, la période d'apparition des adventices dans un champ implique une dormance minimale de leurs semences. C'est pour cette raison qu'on a l'habitude d'observer, pendant une année et sur le même sol, le passage successif des cortèges floristiques des annuelles automnales, hivernales, printanières et estivales. Dans nos régions tempérées, ces apparitions cycliques et successives sont liées à la périodicité climatique qui dépend essentiellement de la température. Par exemple, la dormance des espèces automnales est levée par la chaleur de l'été. Alors que sous les tropiques, c'est l'humidité du sol qui régit la levée des espèces.

4.5. Implications agro-écologiques de la dormance

Avec son caractère cyclique et dynamique, la dormance est un trait adaptatif très évolué qui permet aux adventices de se maintenir en vie dans le sol des dizaines sinon des centaines d'années et de prolonger ainsi l'infestation des cultures. En outre, l'hétérogénéité des états de dormance des semences d'un sol ne permet pas de prévoir facilement la nature et la quantité des futures infestations. La flore adventice réelle qui apparaît à la surface du sol ne représente en moyen que moins de 10 % de la flore adventice potentielle cachée sous forme de semences dans le sol. Cette source d'infestation perpétuelle rend la gestion de cette végétation indésirable une tâche relativement difficile. Ainsi, si on arrive à maintenir toutes les semences d'un sol dormantes ou à stimuler leurs germinations d'un seul coup, le contrôle des adventices serait un pari gagné avec moins d'effort, mais hélas !!

La dormance primaire a un rôle agro-écologique très important pour les adventices car elle empêche la germination des semences sur pied de la plante productrice ou elle retarde les semences de donner des plantules dès leur dissémination et qui courent le risque d'être détruites par des conditions défavorables. C'est pour cette raison que ce type de dormance est considéré comme une « stratégie prévisionnelle », alors que la dormance secondaire et la dormance forcée, qui s'installent dès que les conditions environnementales deviennent insupportables, sont qualifiées de « stratégie consécutive ». La combinaison des trois dormances donne des possibilités aux adventices de s'adapter à tout contexte écologique, c'est la « stratégie adaptative » (Chadoeuf, 1985).

Plus de deux tiers des plantes (70%) ont une photosensibilité positive, c'est-à-dire la présence de lumière est exigée pour leur germination. L'action de ce facteur naturel est liée à la concentration de deux formes du phytochrome présent dans

l'embryon. Les formes sont interconvertibles sous l'effet de la lumière. Le phytochrome P660 (ou Pr.), qui absorbe dans la lumière rouge avec un maximum à la longueur d'onde de 660 nm, est qualifié de forme inactive, tandis que le P730 (ou Pfr), qui absorbe dans le rouge sombre ou infrarouge avec un maximum à 730 nm, est considéré comme la forme biologiquement active. Donc, la lumière du jour convertit Pr en Pfr, alors pendant la nuit le Pfr. est reconverti en Pr. Le taux de Pfr. dans une semence est considéré responsable de sa germination. La lumière n'est pas le seul facteur responsable de la conversion de ces deux phytochromes, mais il y en a d'autres (Fig. 6.6). Dans un champ, l'ombrage créé par la végétation change la qualité de la lumière incidente. La lumière transmise par le feuillage, à la surface du sol, est très riche en lumière sombre car les feuilles absorbent le rouge. Ainsi, les semences des espèces photosensibles, qui se trouvent sur le sol, acquièrent la dormance forcée pour éviter toute compétition fatale pour les jeunes plantules. Il est connu que plus la densité d'un peuplement d'une culture est grande ou sa couverture du sol est rapide plus le taux de germination des adventices est faible. D'ailleurs, l'avantage de la technique de repiquage est basé entre autres sur ce phénomène.

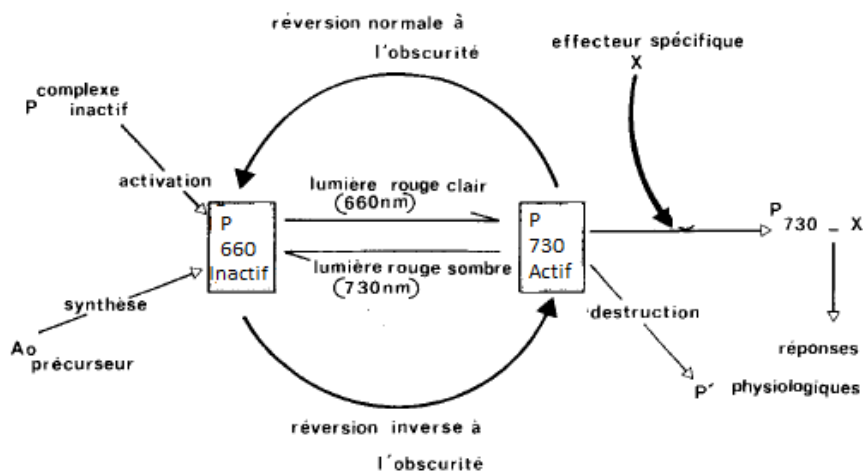


Figure 6.6: Transformations subies par le phytochrome selon Smith (1975) (Source: Chadoeuf, 1985).

Le besoin en lumière (qualité, quantité et durée) des semences est considéré comme un caractère adaptatif surtout pour les adventices ayant des semences de petite taille (faibles réserves) car elles ne peuvent pas survivre lorsqu'elles sont enfouies profondément dans le sol. La lumière incidente est presque absente dans le sol au-delà de 2 mm de profondeur. Ainsi, l'enfouissement peut entraîner une inhibition de germination suivie probablement d'une dormance secondaire pour empêcher toute germination suicidaire des semences qui n'ont pas suffisamment de réserves pour arriver à la surface du sol. En dehors de cette spécificité relative à la taille de la semence, le besoin en lumière pour la levée de dormance des semences enfouies dans le sol est un mécanisme répandu chez beaucoup d'espèces. Chez ces espèces, la suppression de la dormance peut être faite même après une très brève exposition à la lumière du jour (Wesson et Wareing, 1969). Ce flash de lumière est perçu par les semences imbibées lors des ouvertures du sol créées par le labour. Tant que ces semences ne sont pas éclairées, elles resteront dormantes dans le sol et sujettes à la prédation, la sénescence ou la pourriture. Ceci est peut être réalisé ou obtenu par l'adoption de la technique de semis direct ou zéro labour, surtout pour les adventices dicotylédones (Fig. 6.7). Egaleme nt, une réduction de l'infestation des cultures par les adventices peut aussi être obtenue par le labour durant la nuit en privant les semences du flash de lumière, nécessaire à leur réveil, même en créant des ouvertures dans le sol. Les expériences conduites par Scopel *et al.* (1994), sur des parcelles infestées essentiellement par *Amaranthus retroflexus*, *Solanum nigrum* et *S. sarrachoides*, ont confirmé ceci en indiquant que les parcelles labourées pendant la nuit ont été cinq fois moins infestées que celles labourées sous la lumière du jour (Fig. 6.8).

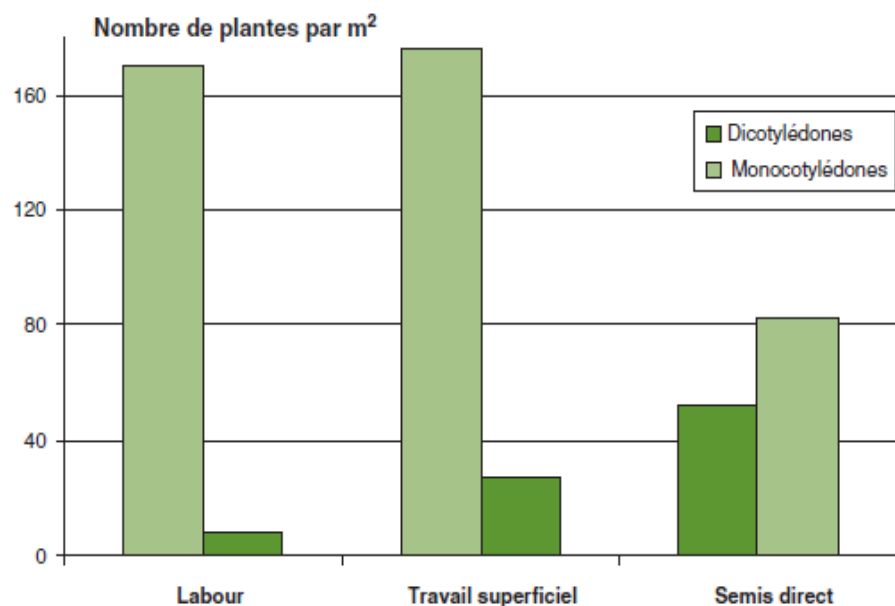


Figure 6.7: Effet du travail du sol sur la constitution des communautés adventices (Source: Chauvel *et al.*, 2011).

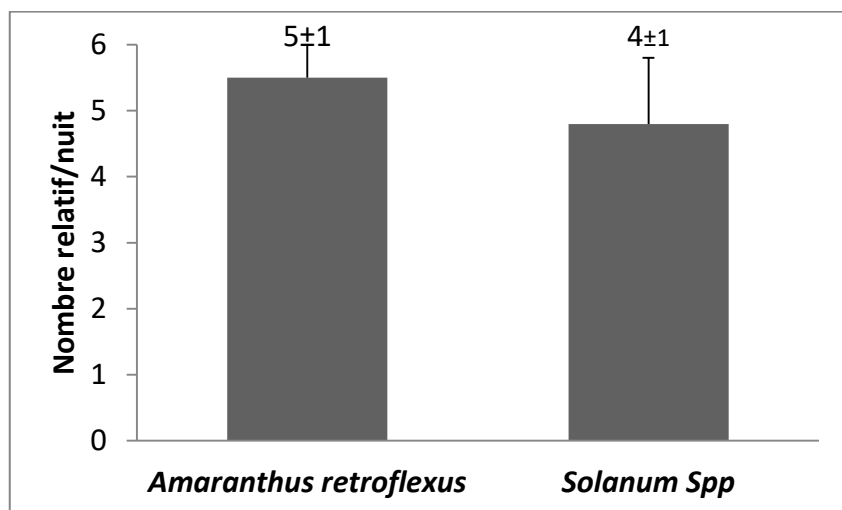


Figure 6.8: Effet du labour du jour et de la nuit sur l'émergence des plantules des adventices (Scopel *et al.* 1994).

Page laissée vierge

Chapitre 7: Stock semencier du sol

1. Importance et composition

Le stock semencier d'adventices d'un sol revêt de grands intérêts agronomiques et écologiques. Il donne des indications sur les problèmes passés et futurs liés aux adventices d'une parcelle, constitue une source permanente de nouvelles infestations, aide à étudier la dynamique des populations d'adventices et permet la planification des stratégies de gestion des adventices à court et à long termes. En définitive, l'aspect qualitatif et quantitatif du stock semencier du sol d'un champ est utilisé comme indicateur du succès ou d'échec d'un système de culture sur le plan de stratégies de gestion de ses adventices. Ces dernières sont aussi qualifiées d'espèces pionnières des successions écologiques. Ainsi, leur stock semencier joue également un rôle majeur 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.

Le stock semencier ou la flore potentielle est l'ensemble des semences viables, dormantes ou aptes à germer, présentes sur le sol ou enfouies dans le sol. Il comprend des semences récemment produites et des semences âgées persistantes dans le sol depuis plusieurs années. En plus de semences des espèces qui se multiplient par graines, le stock semencier contient également des propagules végétatives des vivaces (bulbes, tubercules, rhizomes, fragments des organes de la plante, etc.). La quantité et la composition du stock semencier varient énormément selon le site, la culture, la communauté adventice, le système de culture et l'historique des parcelles. Dans ce dernier cas, il est fréquent de trouver dans le stock semencier d'un sol les semences des cultures précédentes perdues avant et pendant l'opération de la récolte. Radosovich *et al.* (1977) ont rapporté que le stock semencier d'adventices dans les sols arables pourrait varier de 4 000 à 140 000 semences/m² sur une profondeur de 30 cm. En d'autres termes, un hectare pourrait renfermer 4 000 000 jusqu'à presque un milliard et demie de semences d'adventices. Alors que la betterave à sucre est semée à une densité entre 80 000 et 120 000 graines/ha et le blé entre 4 et 6 millions de graines/ha selon le PMG (poids de 1 000 grains) et la dose de semis d'une variété. Le peu d'études des stocks semenciers des adventices dans les sols marocains ont permis de souligner la grande diversification spécifique (6 à 29 espèces) et l'ampleur du stock de semences cachées dans nos sols cultivés (714 à 89 000 semences/m²) (Tableau 7.1). Le stock semencier de certaines espèces annuelles et vivaces problématiques au Maroc a été évalué à l'échelle d'une région ou d'une culture. Dans certaines

situations, le stock semencier d'une espèce comme la morelle jaune dépasse de loin le stock semencier de toutes les espèces d'un biotope (Tableau 7.2).

Malgré la diversification floristique d'un stock semencier du sol, 50 à 90% du stock est fourni par quelques espèces qui sont fréquentes, adaptées au système de culture ou ayant développé des mécanismes pour échapper aux mesures de contrôle (Tableau 7.1). Le reste du stock est alimenté par des espèces adaptées à la région mais moins fréquentes et non adaptées au système de culture, des espèces nouvellement introduites, des espèces très persistantes qui germent rarement ou pas (mais vivantes) et/ou des semences de cultures précédentes. Par exemple, *Echinochloa crus-galli* (adventice redoutable du riz) à elle seule pourrait fournir jusqu'à 49% du stock semencier total dans le sol de certaines rizières du Gharb (Bouhache *et al.*, 1983). De même, 90% du stock semencier d'une parcelle de céréales, conduite en semis direct à Jemaa Shaïm (Abda), est constitué par les semences de trois espèces: *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas* et *Convolvulus arvensis* (Hajjaj *et al.*, 2018).

Tableau 7.1: Stock de semences viables des adventices dans les sols agricoles du Maroc.

Localité/Biotope	Profondeur du sol (cm)	Nombre moyen de semences par m ²	Nombre d'espèces	Espèces dominantes	
				Nbre	% du stock
Oued Zem/ céréales SD (1)	10	2 354	11 + non identifiées	6	71
Chaouia /céréales SD (2)	10	1 890	29 + non identifiées	6	51
Sidi El Aïdi/ céréales SD (3)	30	13 774	18	4	50
Sidi El Aïdi/ céréales SC (3)	30	12 004	18	4	50
Jemaa Shaïm/ céréales SD (3)	30	5 325	6	3	90
Jemaa Shaïm/ céréales SC (3)	30	9 499	8	3	50
Gharb/ riz (4)	60	714 – 89 000	29	1	0-49

(1) Tanji *et al.* (2017 a); (2) Tanji *et al.* (2017 b); (3) Hajjaj *et al.* (2018); (4) Bouhache *et al.* (1983); SD: semis direct; SC: semis conventionnel.

Tableau 7.2: Stock de semences viables de quelques adventices problématiques du Maroc.

Espèces	Région	Biotope	Profondeur du sol (cm)	Nombre moyen par m ²	Source
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Gharb	Riz	60	1285	Bouhache <i>et al.</i> (1983)
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Tadla	Bordures	60	33 672	Tahri <i>et al.</i> (1989)
		Jachères	60	13 206	
		Vergers	60	20 460	
		Cultures annuelles	60	9 253	
<i>Bromus rigidus</i>	Saïss	Céréales SD	30	2 704	Hamal (2005)
		Céréales SC	30	602	
<i>Oxalis pes-caprae</i>	Chaouia	Céréales	15	314	Rsaïssi et Bouhache (2005b)
	Tétouan	Hors cultures	30	1 643	Ater (2005)
<i>Cyperus rotundus</i>	Haouz	Vergers	?	1 986	Hilali (1995)
	Kénitra	Agrumes	45	788	Bensellam et Bouhache (2005)

2. Types de stocks semenciers

Les agronomes et les malherbologistes s'intéressent beaucoup au stock semencier du sol vu les problèmes à gérer suite aux germinations futures et intermittentes des espèces issues de ce stock. Généralement, un stock semencier du sol est caractérisé par l'état de dormance de ses espèces et par leurs durées de viabilité dans le sol. Sur la base de la dormance, deux types de stock semencier sont à distinguer, le **stock semencier actif** (constitué de semences aptes à germer) et le **stock semencier dormant** (constitué de semences dormantes et persistantes pendant plusieurs années). Cependant, la classification basée sur la durée de viabilité des semences reste la plus utilisée et permet de distinguer quatre types de stocks semenciers d'adventices dans le sol (Tissut *et al.*, 2006):

- **Stock semencier éphémère:** constitué de semences qui disparaissent après une année. Les espèces qui alimentent ce stock sont faciles à contrôler car le renouvellement annuel de leur stock est beaucoup plus lié à la production annuelle des semences qu'à leur persistance dans le sol (ex. bromes, orges, etc.).

- **Stock semencier transitoire:** constitué de semences qui disparaissent complètement au bout de 3 à 5 ans (ex. *Avena sterilis*, *Lolium rigidum*, *Galium* spp., etc.).
- **Stock semencier moyennement persistant:** constitué de semences qui disparaissent complètement après 7 à 8 ans (ex. *Sinapis arvensis*, *Papaver rhoeas*, *Chrysanthemum* spp., etc.).
- **Stock semencier persistant:** dans ce cas, 45 à 5% du stock initial persiste encore après sept ans. Les semences enfouies sont toujours à l'origine de l'infestation des champs, même en absence de nouvelles semences, pendant plusieurs années (ex. *Anagallis arvensis*, *Solanum nigrum*, *Amaranthus retroflexus*, etc.).

A côté de ce stock semencier du sol, il ne faut pas perdre de vue les semences qui restent attachées aux plantes mères, pendant une certaine période, dans l'attente de regagner le sol ou d'être disséminées plus loin du lieu de leur production. Ce stock est qualifié de **stock semencier aérien** et qui a un intérêt certain dans certains habitats ou milieux tels que les prairies, les vergers, les parcelles conduites en semis direct ou zéro labour, etc. (Hossain et Begum, 2015).

3. Distribution du stock semencier

A cause du phénomène de dormance des semences, il faut admettre que la distribution d'un stock semencier des adventices dans le sol a deux dimensions indépendantes, une dimension temporelle et une dimension spatiale. La première est liée aux différents états de dormance des semences (voir chapitre 6 sur la dissémination des adventices), tandis que la deuxième donne une idée sur les distributions horizontale et verticale des semences dans un sol. La distribution des semences dans un sol n'est pas de tout homogène ni horizontalement ni verticalement aussi bien sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif. Plusieurs facteurs ont une influence directe sur la distribution des semences dans le sol tels que le travail du sol (nature et outil), le type du sol, la position des semences dans le profil du sol, les caractéristiques morphologiques des semences et certains facteurs naturels (eau, vent et animaux) (Naylor, 2002). Pour ces derniers facteurs, l'eau et le vent ont plus d'effet sur les semences présentes sur la surface du sol, tandis que les animaux agissent aussi bien sur les semences de surface que sur les semences enfouies.

En plus de son action sur la distribution temporelle d'un stock semencier, le travail du sol reste un des facteurs les plus importants qui agissent sur la distribution spatiale des semences dans les sols cultivés. Plusieurs études comparatives, de l'effet des techniques de travail du sol sur la distribution des semences dans le sol,

ont montré que plus le travail du sol est réduit ou son retournement est faible plus les semences des adventices se concentrent à la surface du sol. Ce constat est valable aussi bien pour le stock semencier de l'ensemble de ses espèces constitutantes (Tableau 7.3) que pour le stock semencier d'une seule espèce (Tableau 7.4) comme dans le cas de comparaison entre le travail conventionnel et le semis direct.

Tableau 7.3: 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 *et al.*, 2018).

Horizon du sol	Sidi El Aïdi				Jemaa Shaïm			
	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

Tableau 7.4: Effet du semis direct et du labour profond sur la distribution verticale des semences du brome raide (*Bromus rigidus*) dans un sol du Saïss (Hamal, 2005).

Horizon du sol	Semis direct		Labour profond	
	Nombre/m ²	%	Nombre/m ²	%
0 – 4 cm	2 589	95,9	276	44,7
0 – 15 cm	88	3,3	168	28,9
15 – 30 cm	24	0,8	159	26,4
Total	2 701	100	603	100

L'outil utilisé pour travailler un sol a certainement un effet notoire sur la distribution verticale (Fig. 7.1) et horizontale des semences dans un sol. Dans ce dernier cas, Naylor (2002) a rapporté qu'expérimentalement le type d'outil et les séquences des travaux du sol agissent bien sur la distribution horizontale des semences. Par exemple la herse, la charrue et le semoir déplacent les semences sur une distance respectivement de 1,6; 0,36 et 0,26 m à partir de la source. Par contre, la séquence de passage de ces outils sur un sol pourrait faire déplacer les semences sur une distance de 15 m. Ces distributions horizontales affectent inéluctablement

la dynamique des infestations localisées dans une parcelle. La qualité du travail de sol avec un outil donné dépend également du type du sol travaillé. Naylor (2002) a rapporté également qu'une étude, relative à l'effet du type de sol sur les distributions verticale et horizontale des semences des graminées, avait montré que ces semences sont profondément plus enfouies dans un sol sableux que dans un sol argileux

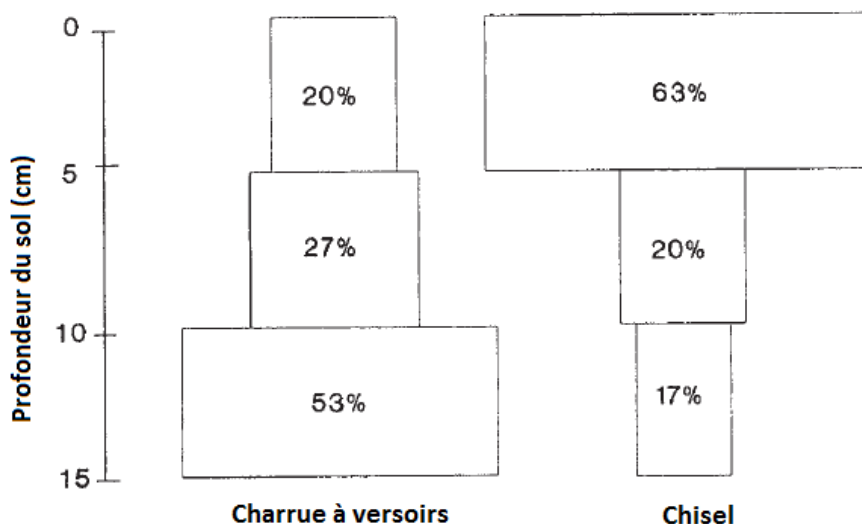


Figure 7.1: Effet de l'outil du travail du sol sur la distribution verticale des semences d'adventices dans le sol (Source: Zimdahl, 2007).

4. Dynamique du stock semencier

4.1. Evolution du stock semencier

En analogie avec une banque financière, les anglo-saxons appellent le stock semencier du sol « seed bank » c'est-à-dire la banque des graines ou des semences vu la similitude de la dynamique entre les deux systèmes bancaires. Les deux banques ont des entrées ou apports, des sorties ou retraits et un stock permanent pour assurer l'équilibre entre les différentes transactions, et par conséquent, garantir la durabilité du système. La dynamique du stock semencier d'un sol est influencée principalement par l'arrivage de nouvelles semences et les pertes de semences du sol (Fig. 7.2). Ces pertes dépendent des espèces constituant le stock et

de l'environnement. Régulièrement, l'alimentation du stock semencier du sol (flux de semences) se fait par deux sources: la production semencière des plantes sur place et les apports externes au site et acheminés par les différents agents de dissémination spatiale. Généralement, 95% de ses apports sont assurés par la première source. La période d'approvisionnement dépend de la période de dissémination des espèces dominantes de la communauté adventice locale. Déposées sur le sol, les nouvelles semences sont incorporées au sol par plusieurs facteurs, mais le travail du sol reste le moyen le plus important qui assure une redistribution des semences dans le profil du sol. Une fois incorporées, ces semences vont être soumises aux changements cycliques d'aptitude et d'inaptitude à la germination ou de dormances.

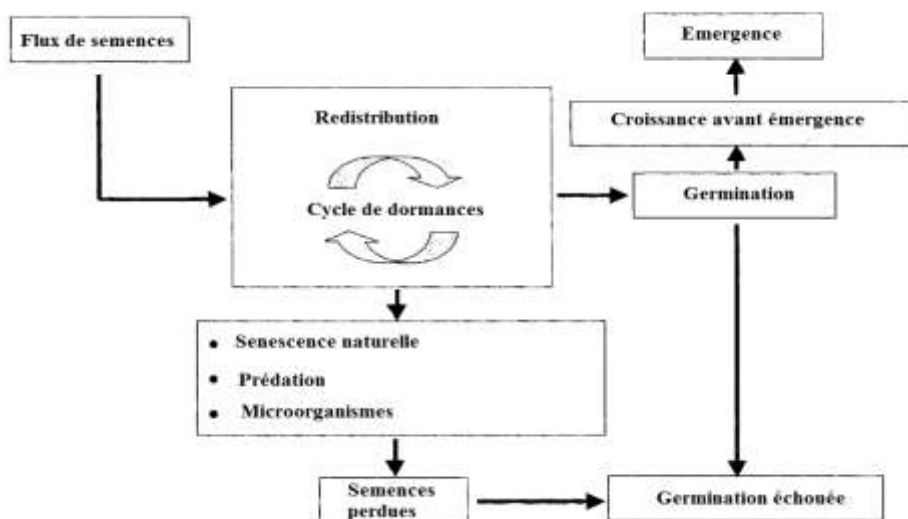


Figure 7.2: Diagramme simplifié de la dynamique du stock semencier d'adventices dans le sol (Naylor, 2002).

Les pertes de semences d'un stock sont dues à la germination, la prédation, la sénescence et la mortalité. Les semences présentes à la surface ou près de la surface du sol sont sujettes à une destruction par les prédateurs (coléoptères carabiques, criquets, fourmis, petits mammifères, oiseaux, etc.), les microorganismes (bactéries, champignons), les fluctuations hydrothermiques et les équipements agricoles. La sénescence des semences est causée par des dommages

physiologiques ou chimiques au niveau de l'embryon. Les semences riches en lipides ou ayant des enveloppes séminales moins épaisses vieillissent rapidement. Les grandes pertes du stock semencier du sol reviennent aux germinations réussies et échouées. L'échec de germination est dû principalement à la profondeur d'enfouissement, aux conditions climatiques et à la structure de la surface du sol. Certaines semences de petite taille germent dans le sol mais n'arrivent pas à émerger soit par l'insuffisance des réserves de la semence pour parcourir la profondeur de germination soit par l'existence d'obstacles à la surface du sol comme les mottes ou la croûte de battance. Malheureusement, toutes les germinations réussies n'arrivent pas au stade de maturation pour produire les semences et alimenter de nouveau le stock semencier. Cette réduction des peuplements des adventices après germination est causée essentiellement par les conditions climatiques, la compétition intra et interspécifiques, le parasitisme, la prédation, etc.

4.2. Taux annuel de décroissance

Le taux annuel de décroissance du stock semencier d'un sol (TAD) est une facette pratique de la dynamique des semences d'adventices dans un sol arable. Le TAD est un paramètre agronomique important qui donne des informations sur l'espérance de vie d'une population de semences d'une espèce donnée, dans un milieu précis, et permet de suivre sa viabilité dans le temps. Ainsi, il permet d'estimer, en conditions agronomiques, la densité des semences restantes après une année de culture. Il est exprimé en pourcentage du stock initial des semences. Cependant, il ne faut pas confondre la mortalité annuelle des semences d'un sol et le déclin du stock semencier (TAD) qui résulte à la fois de la mortalité des semences et de la germination. De ce fait, le TAD est un élément qui aide à choisir des moyens agronomiques à utiliser pour une meilleure gestion des adventices d'une culture.

Ce paramètre utile est lié, entre autres, à l'espèce adventice, à la culture en place, aux conditions climatiques, au type et à la fréquence de travail du sol, à la profondeur d'enfouissement et au type de sol. Par exemple, le TAD est plus élevé chez les graminées que chez les légumineuses. Les TAD élevés sont également notés dans le système de culture où le travail du sol est réduit comme le semis direct. De même, le TAD des sols sableux est plus élevé que celui des sols argileux (Tissut *et al.*, 2006). Théoriquement, les espèces ayant un TAD élevé sont faciles à éliminer. Par contre, un TAD faible signifie que les espèces sont difficiles à éliminer. Sur la base de leurs TAD, on peut distinguer quatre types de stocks semenciers d'adventices dans le sol: stock semencier éphémère (TAD compris entre 95% et 100%), stock semencier transitoire (TAD compris entre 70% et 85%), stock semencier moyennement persistant (TAD compris entre 40% et 60%) et stock semencier persistant (TAD compris entre 10% et 35%) (Tissut *et al.*, 2006).

La figure 7.3 indique le nombre d'années nécessaire pour qu'un type de stock semencier dans le sol soit complètement disparu en absence de tout apport nouveau de semences. Par exemple, le stock semencier éphémère disparaît totalement après une année d'enfouissement. Cependant, un stock moyennement persistant devrait disparaître totalement après huit ans.

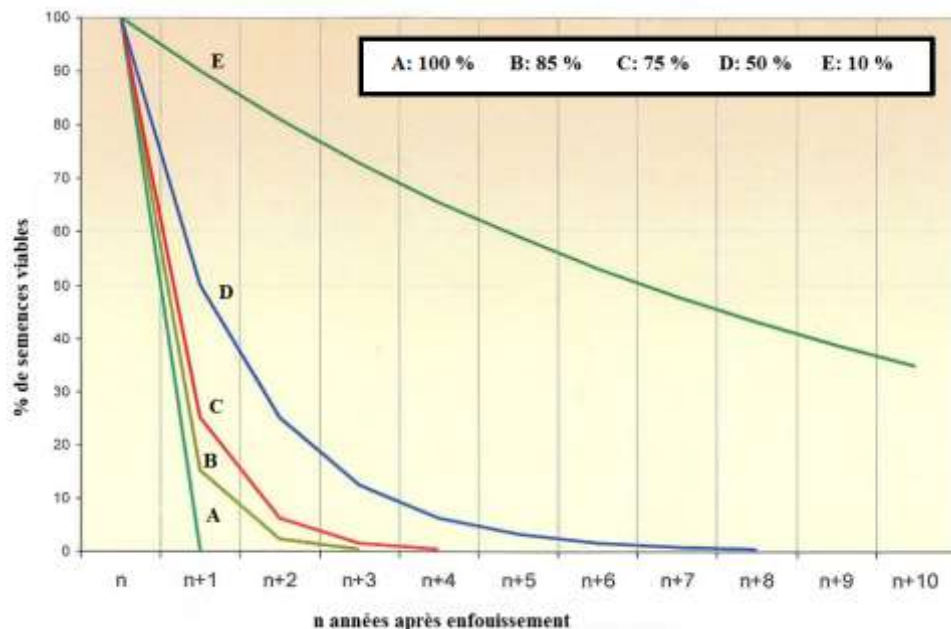


Figure 7.3: Evolution du stock semencier dans le sol en fonction du TAD (Tissut *et al.*, 2006).

5. Relation entre la flore réelle et la flore potentielle

Bien que la germination soit la cause de grandes pertes de semences d'un sol, la flore adventice qui émerge à la surface du sol (flore réelle) est négligeable par rapport à la grande quantité de semences viables renfermée dans le sol (flore potentielle). Par analogie aux grands blocs de neige polaires (icebergs) qui flottent à la surface de l'eau des océans, la flore réelle est considérée comme la tête de l'iceberg. Cela signifie que la flore cachée dans le sol dépasse de loin la flore qui apparaît à la surface. Sur le plan quantitatif, en moyenne moins de 10% de la flore potentielle lève au cours d'une année culturale (Chadoeuf, 1985). La faiblesse du

taux de levée est influencée par l'espèce elle-même, le système de culture et les conditions de l'environnement auxquelles les semences sont soumises. Une étude comparant les flores potentielle et réelle des parcelles conduites en semis direct et en travail conventionnel à Sidi El Aïdi et à Jemaa Shaïm a permis de montrer que la flore de surface (réelle) ne représentait que 4,1 et 4,6% du stock semencier respectivement en semis direct et en travail conventionnel. Par contre, la flore réelle n'est que 1,9 et 3,9%, respectivement au deuxième site (Hajjaj *et al.*, 2018). Ce pourcentage de levée variait de 0 à 25% selon l'espèce, le type de conduite des parcelles et le site. Les taux de levée élevés sont enregistrés par les graminées (Tableau 7.5). En plus de la grande quantité de semences produites par les adventices, de leur grande longévité dans le sol et la grande diversification des moyens de leur dissémination, le faible taux de levée renforce l'adage qui dit « une année d'adventices, sept années de désherbage ».

Sur le plan qualitatif, il est fréquent d'observer l'absence de certaines espèces du stock semencier dans la flore de surface et vice versa. Effectivement, Hajjaj *et al.* (2018) ont noté dans la parcelle en semis direct à Jemaa Shaim la présence de *Cynodon dactylon* et de *Sonchus oleraceus* dans la flore de surface et leur absence dans le stock semencier. A l'inverse, *Emex spinosa* et *Papaver rhoeas* ont été présentes dans le stock semencier et absentes au niveau de la flore de surface. Dans la parcelle en travail conventionnel à Jemaa Shaim, cinq espèces ont été présentes au niveau de la flore de surface mais absentes au niveau du stock semencier, il s'agit de *Chenopodium murale*, *Diplotaxis catholica*, *Papaver rhoeas*, *Polygonum aviculare* et *Sonchus oleraceus*. Ces différences sont dues essentiellement à la méthodologie d'étude de stock semencier du sol et les conditions environnementales de germination exigées par chaque espèce. L'absence dans la flore de surface des espèces présentes dans le stock semencier du sol devrait être considérée comme information sur les adventices qui pourront potentiellement émerger dans les prochaines années !!

Tableau 7.5: Taux de levée (%) de la flore de surface par rapport au stock de semences viables dans le sol (Hajjaj *et al.*, 2018).

Espèces	Sidi El Aïdi		Jemaa Shaim	
	Semis direct	Travail Conven.	Semis direct	Travail Conven.
<i>Anagallis foemina</i> Mill.	1,2	1,9	1,7	0,9
<i>Avena sterilis</i> L.	4,5	6,7	-	-
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	13,7	6,2	-	7,7
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	1,3	1,4	-	-

Tableau 7.5 (Suite)

<i>Centaurea diluta</i> Aiton	4,5	1,2	-	-
<i>Chenopodium album</i> L.	1,9	2,0	1,4	1,2
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	-	0,5	-	-
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	1,9	-	2,4	-
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	3,4	3,7	0	0,6
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	0,7	2,1	-	-
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	0,3	0,9	-	-
<i>Glaucium corniculatum</i> L.	2,5	3,8	-	-
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	-	-	-	0,7
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	12,9	18,8	-	8,8
<i>Papaver rhoeas</i> L.	3,7	5,1	0	-
<i>Phalaris brachystachys</i> Link	15,2	25,0	-	8,3
<i>Polygonum aviculare</i> L.	0,2	0,3	-	-
<i>Scolymus maculatus</i> L.	1,3	0,8	-	-
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,9	0,8	-	-
<i>Spergula arvensis</i> L.	-	-	1,0	2,6
<i>Torilis nodosa</i> L.	2,9	1,3	-	-
Moyenne	4,1	4,6	1,1	3,9

6. Méthodes d'étude du stock semencier

L'étude du stock semencier d'adventices dans le sol est une activité à la fois onéreuse et fastidieuse car toutes les méthodes ou techniques utilisées sont basées sur le prélèvement des échantillons de sol, l'extraction de semences contenues dans ces échantillons et leur comptage.

6.1. Echantillonnage

L'échantillonnage de sol est une composante déterminante dans les études des stocks semenciers d'adventices dans le sol. Etant donné que la distribution des semences dans un sol n'est pas homogène, mais plutôt agrégative, l'échantillonnage n'est pas une tâche facile à réaliser. Un plan d'échantillonnage comprend la quantité de sol à prélever, la distribution spatiale des échantillons et la période de prélèvement. La quantité de sol à échantillonner, pour une bonne représentativité du stock semencier, dépend du nombre et de la taille des carottes de sol. Une carotte est un échantillon de sol prélevé avec un outil en acier ou en fer. La taille de la carotte dépend à son tour de sa surface ou de son diamètre et de la profondeur de son prélèvement.

Généralement, les échantillons de sol sont prélevés avec des tarières qui donnent des carottes de sol cylindriques ou cubiques et dont la taille diffère d'une étude à l'autre. L'utilisation d'un grand nombre de carottes de petite taille est préférable pour toucher le maximum d'espèces que moins de carottes avec une grande taille. Les carottes cylindriques de 5 cm de diamètre sont largement utilisées, car faciles à manipuler et convenables pour détecter les semences. Cette taille est modulable en fonction de type de sol. Une taille plus grande est recommandée pour un sol humide avec un taux d'argile élevé. Dans ce cas, il faut utiliser une huile non toxique pour éviter le colmatage du sol avec la tarière. Une petite taille de la carotte est plus pratique que la taille de 5 cm dans les sols secs ou compactés (Forcella *et al.*, 2005).

Le nombre de carottes à prélever reste variable et lié à plusieurs facteurs y compris les contraintes techniques. La synthèse d'une étude conduite dans plusieurs pays, différentes cultures et plusieurs types de sol a permis de mettre en évidence une relation étroite entre la densité moyenne du stock semencier et sa variance (Dessaint *et al.*, 1996, in Forcella *et al.*, 2005). Ainsi, le nombre d'échantillons (carottes de sol) est donné par l'équation:

$$N = 10^{0,45} (m/509)^{-0,59} D^{-2}$$

avec N = nombre d'échantillons (carottes de 5 cm de diamètre), m = densité moyenne de semences/m² et D = niveau de précision (D = ES/m avec ES = Erreur Standard de la densité moyenne). Le tableau 7.6 donne le nombre d'échantillons à prélever, pour une bonne représentativité du stock semencier, selon la densité moyenne et le niveau de précision. Pour cette dernière, la valeur de 0,3 est une valeur pratique et acceptable. Même une valeur de 0,5, qui est moins précise que 0,3, peut être acceptable selon certains objectifs de l'étude (Forcella *et al.*, 2005). Le nombre d'échantillons donné au tableau change si le diamètre de la carotte est différent de 5 cm. Plus la taille est inférieure à 5 cm, plus le nombre d'échantillons est grand et vice versa.

Une fois le nombre d'échantillons est déterminé, il faut distribuer les points de prélèvement dans l'espace. Cette distribution spatiale est un autre aspect très important à considérer vu la répartition agrégative des semences sur et dans un sol. Ainsi, les carottes de sol sont distribuées régulièrement ou systématiquement selon une grille ou un parcours en W, X ou en étoile de telle façon que l'échantillonnage couvre la longueur et la largeur de la parcelle ou du champ étudiés. La quantité du sol d'une carotte dépend également de sa profondeur. Cette dernière dépend des objectifs de l'étude et du système de culture. En général, une profondeur de prélèvement de 10 à 30 cm est recommandée pour prospecter la profondeur de la couche arable ou travaillée. Parfois, cette profondeur est fractionnée en plusieurs tranches pour avoir une idée sur la distribution verticale du stock semencier dans le

profil d'un sol. La période de prélèvement est aussi très importante et pourrait changer toute relation quantitative ou qualitative entre la flore de surface et le stock semencier du sol. Dans ce cas, la règle générale à respecter est de prélever les échantillons de sol durant les périodes qui suivent la production des semences mais avant leur germination.

Tableau 7.6: Nombre d'échantillons (carottes de 5 cm de diamètre) nécessaire pour l'estimation du stock semencier du sol en fonction de densités moyennes de semences et de niveaux de précision (Source: Forcella *et al.*, 2005).

Densité moyenne de semences/m ² (m)	Niveau de précision (D)			
	0,2	0,3	0,4	0,5
10	716	318	179	115
50	277	123	69	44
100	184	82	46	29
500	71	32	18	11
1 000	47	21	12	8
5 000	18	8	5	3
1 0000	12	5	3	2

6.2. Traitement des échantillons

Plusieurs techniques ou méthodes sont utilisées pour traiter les échantillons de sol prélevés afin d'estimer le stock semencier d'adventices d'un sol. Généralement, elles peuvent être divisées en deux catégories: a) techniques de dispersion suivies de flottaison et tamisage puis tri direct ou « méthode directe ou méthode de Malone » (Malone, 1967) et b) technique de mise en germination sous serre froide ou en conditions contrôlées « méthode indirecte ».

- **Méthode directe:** c'est une technique conseillée pour les études de la dynamique des populations des adventices. Les échantillons sont traités individuellement ou regroupés selon les objectifs, les moyens et la disponibilité du personnel technique. Les semences sont séparées du sol par lavage ou par flottaison. Le lavage sous jet d'eau peut se faire dans un seul tamis à maille inférieure à la taille de la plus petite semence ou dans une série de tamis emboîtés avec des mailles différentes. En série, le tamis du fond doit avoir une maille de 0,2 mm pour retenir la plupart des petites

semences. Parfois, le trempage des carottes de sol dans une solution à base d'hexamétaphosphate de sodium (10 g/200 ml d'eau) pour disperser les petites mottes d'argile et libérer les semences est nécessaire avant tout lavage ou tamisage. La flottaison est souvent utilisée, après la libération des semences des constituants du sol, en utilisant le bicarbonate de sodium (5 g/200 ml d'eau) et le sulfate de magnésium (25 g/200 ml d'eau) pour faire monter les semences et les débris végétaux à la surface de l'eau.

Les semences récupérées sont desséchées, triées, identifiées et comptées sous la loupe binoculaire. Ces semences sont mortes ou viables. D'où la nécessité de faire appel au test de chlorure de tétrazolium (TZ), qui est simple et rapide, pour distinguer les deux types de semences. Les semences sont trempées dans une solution de 0,1 à 0,2% de TZ pendant quelques heures ou jours selon l'espèce. Seules les semences dont l'embryon est coloré en rose ou en rouge sont considérées vivantes. Pour les grosses semences, il est nécessaire de les couper en deux, tout en gardant une seule moitié, pour faire exposer l'embryon au TZ. Dans le cas de petites semences, une ponction avec une aiguille est suffisante pour créer une ouverture pour le passage du TZ. Cependant, les microorganismes qui se trouvent sur les semences mortes et/ou les débris végétaux non écartés des semences peuvent réagir avec le TZ et donner les mêmes colorations, et par conséquent, surestimer la quantité de semences viables (Forcella *et al.*, 2005).

- **Méthode indirecte:** ou méthode de mise en germination qui consiste à mettre les carottes de sol en germination directe sous serre sans aucun traitement ou après réduction de volume de sol (concentration de semences). Donc, c'est une méthode utilisée principalement pour estimer le stock de semences viables. Généralement, les carottes de sol échantillonnées sont rassemblées et mélangées par unités logiques ou traitements étudiés et étalées directement dans des terrines ou après réduction de volume du sol sous jet d'eau continu. Les terrines, protégées contre toute contamination externe ou perturbations, sont mises en germination en serre en conditions de lumière naturelle avec ou sans conditions contrôlées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec la réduction du volume de sol et l'étagage sur un voile de tergal dans des terrines remplies aux deux tiers avec du

sable stérilisé au préalable (autoclavage pendant 2 heures à 120 °C). La couche du sol doit être fine, moins d'un centimètre d'épaisseur (Bouhache *et al.*, 1983). Le sable est utilisé pour garder le lit de semences humide tout le temps. Tandis que le voile de tergal est utilisé pour empêcher toute contamination provenant du sable et pouvoir remuer le sol de temps en temps pour stimuler la germination.

La plupart des semences non dormantes germent rapidement et souvent 70% de plantules émergent au bout de deux semaines après la mise en germination des terrines. Ces plantules sont identifiées, comptées et arrachées. Celles non reconnues sont transplantées dans des pots et gardées pour une identification ultérieure. Quand les levées sont absentes, il faut remuer le sol pendant des durées pouvant aller jusqu'à 3 ans. Certaines espèces demandent quatre cycles de germination, mais deux cycles sont largement suffisants pour la plupart. Pour réduire la durée de mise en germination, il faut procéder à la levée de la dormance secondaire. Ainsi après trois cycles de germination, les échantillons sont stratifiés à une température de 4°C pendant quatre semaines suivies de l'alternance de températures avant le retour des terrines sous serre. La dormance est levée après la flottaison des semences qui sont récupérées, séchées, identifiées et mises en germination dans des boîtes de Pétri en présence d'acide gibbérellique (1 g/L). Les boîtes sont placées, pendant 11 jours, dans une chambre de croissance à des températures alternées de 25°C le jour et 15°C la nuit et sous éclairage journalier de 12h (Bouhache *et al.*, 1983). Etant donné la difficulté de garantir les conditions de germination exigées par toutes les semences récupérées, la méthode indirecte est taxée de sous estimer la quantité de semences viables d'un stock semencier.

Page laissée vierge

Chapitre 8: Germination des semences

1. Processus et phases de germination

Les termes de semence et graine sont utilisés indifféremment pour désigner l'unité de reproduction sexuée. La germination des semences est une étape déterminante dans le cycle de vie d'une adventice car elle est considérée comme un pont de liaison entre les générations d'une espèce. Elle détermine quand et combien de semences viables non dormantes peuvent potentiellement lever au champ. L'acte de germination permet donc à l'adventice de passer d'un stade où la semence vit au ralenti (quiescence) à un stade de vie active où la jeune plantule entame sa croissance. Ce passage résulte des transformations physiologiques complexes dans la semence suite à une exposition à certains facteurs internes et externes. La germination est considérée comme une suite d'événements qui commence avec le début de l'imbibition de la semence sèche et s'achève juste avant l'allongement de l'axe embryonnaire (radicule). Pratiquement, il est difficile de cerner visuellement les deux limites physiologiques de la germination (Chadoeuf *et al.*, 1985). Pour cette raison, il est admis que le processus de germination est la phase comprise entre l'hydratation de la semence et la percée des enveloppes séminales (téguments) par la radicule (Bewley, 1997). Avec une radicule de 1 à 1,5 mm de longueur, la semence est déclarée germée selon les auteurs. Chez certaines espèces comme *Salsola* spp., la percée des téguments est faite par la tigelle au lieu de la radicule. Contrairement aux physiologistes, la percée des téguments de la semence est le critère visuel largement utilisé par les malherbologistes et les écologistes pour qualifier une semence germée. Cependant, beaucoup d'agronomes et d'agriculteurs considèrent la levée comme la fin du processus de germination d'une semence. Or, la levée est un processus intimement lié à la germination et qui survient après celle-ci sur le plan physiologique. Pour les semences non enfouies ou localisées à la surface du sol, effectivement la germination et la levée sont confondues. Le processus de germination dure quelques heures à quelques semaines selon les espèces et les conditions de germination auxquelles les semences sont soumises.

La cinétique de l'absorption de l'eau par les semences mûres et sèches se passe en trois étapes successives; phase I, phase II et phase III qui correspondent également aux phases de la germination (Fig. 8.1 et 8.2) (Bewley, 1997). Ces trois étapes sont aussi observées pour l'activité respiratoire.

- **Phase I:** ou phase d'imbibition, caractérisée par l'absorption rapide de grandes quantités d'eau. L'imbibition est une phase de germination passive et réversible. Elle implique un mouvement

d'eau dans le sens du potentiel hydrique décroissant. Cette entrée d'eau est accompagnée également d'une consommation importante d'oxygène attribuée à la reprise de l'activité mitochondriale. Une déshydratation de la semence à cette étape n'est pas fatale et la semence pourrait reprendre à nouveau le processus de germination si les conditions internes et externes sont réunies.

- **Phase II:** ou phase d'activation ou de germination au sens strict, caractérisée par une absorption stable de l'eau et de l'oxygène. Cette phase est considérée la plus importante parce qu'elle détermine le développement ultérieur de la semence. Elle est marquée par la reprise intensive des activités enzymatique, respiratoire et hormonale. Cette activité métabolique intense a pour rôle la mobilisation des réserves accumulées au cours de la maturation et dont la dégradation apportera par la suite l'énergie nécessaire à la croissance de l'embryon et de la plantule. Cette phase est aussi réversible c'est-à-dire que tout arrêt du processus de germination à ce niveau n'est pas fatal pour la semence. La phase d'activation se termine physiologiquement avec l'allongement de la radicule et pratiquement avec la percée des téguments.
- **Phase III:** ou phase de croissance, caractérisée par une absorption importante d'eau et d'oxygène. Durant cette phase, on assiste à une continuation de la mobilisation des réserves nutritives stockées et à la reprise de la division et de l'élongation cellulaires. Cette phase est le dernier événement qui marque la fin de la germination. Ainsi, la phase III est irréversible c'est-à-dire que la semence ne pourra pas revenir en arrière dans le processus de germination suite à un blocage.

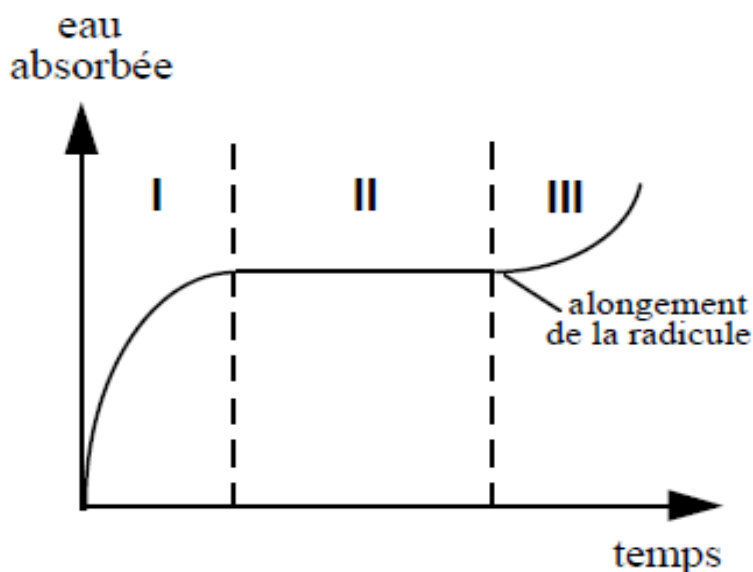


Figure 8.1: Différentes étapes de la germination, I: phase d'imbibition, II: phase d'activation, III: phase de croissance (Bewley, 1997).

2. Facteurs écologiques de la germination

La germination est considérée comme une réaction des semences au chevauchement de leurs besoins internes (dormance et autres) et les besoins externes (conditions environnementales). Normalement, les semences morphologiquement normales, viables et non dormantes sont capables de germer facilement sous les principales conditions écologiques favorables d'humidité, de température, d'oxygénation et de lumière, etc. En fait, c'est l'effet combinée de ces facteurs qui stimule ou inhibe la germination. Par exemple, la présence d'eau est obligatoire, mais pas suffisante car il faut aussi que la température soit convenable, que l'embryon soit suffisamment oxygéné et que la lumière soit présente ou absente selon le type de semence.

2.1. Eau

Les semences déshydratées (5 à 20% d'humidité) ont besoin de l'eau du sol a) pour leur imbibition qui est indispensable à la mise en marche des activités métaboliques nécessaires au processus de germination (surtout au niveau de la phase II) et b)

pour le transport et la distribution des substances hydrosolubles et les solutés dans la semence. La vitesse d'imbibition et la quantité d'eau absorbée par les semences varient d'une espèce à l'autre et dépendent de la composition de la semence, la perméabilité des téguments et la disponibilité de l'eau dans le sol. Par exemple, la semence de *Verbesina encelioides*, adventice envahissante nouvellement introduite au Maroc, arrive à absorber une quantité d'eau équivalente à une et plus que deux fois son poids respectivement en 3 et 12 heures (Fig. 8.2) (Taleb *et al.*, 2010). Pour la plupart des espèces, la germination est idéale à une humidité du sol comprise entre le point de flétrissement (PF) et la capacité au champ (CC). Certaines espèces parviennent à germer au-delà de ces extrêmes tels que *Chenopodium album* qui germe à une humidité du sol inférieure au PF et *Echinochloa crus-galli* (adventice des rizières) qui germe au-delà de CC. Pour certaines espèces, plus l'humidité du sol s'approche du PF, plus le taux et/ou la vitesse de germination baisse. Généralement, les optima d'humidité se situent entre 55 et 100% de CC selon les espèces. Par exemple, l'optimum d'humidité du sol pour la germination de la folle-avoine se situe entre 50 et 75% du CC (Tissut *et al.*, 2006).

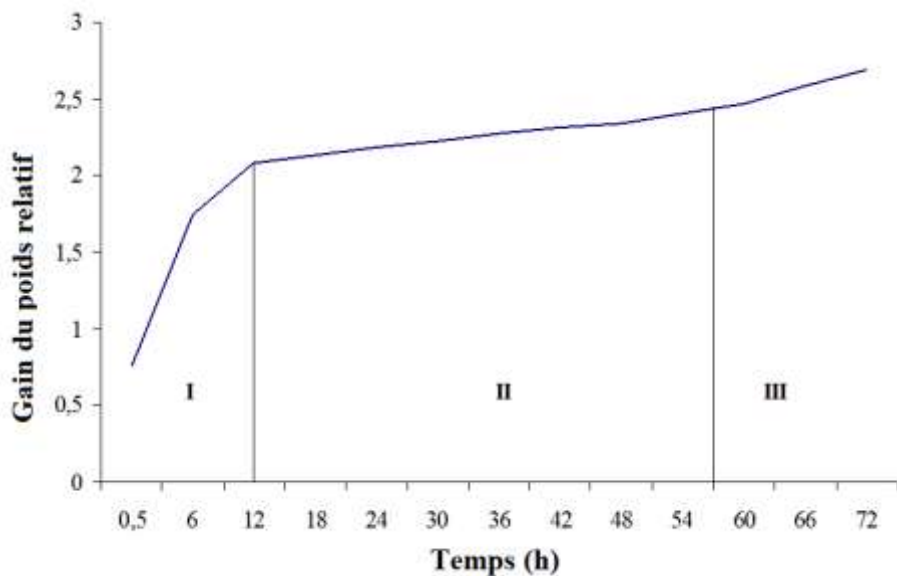


Figure 8.2: Cinétique de l'absorption de l'eau par les semences de *Verbesina encelioides* (Taleb *et al.*, 2010).

L'humidité du sol est aussi exprimée sous forme du potentiel hydrique du sol. En général, plus ce potentiel diminue plus le taux de germination des semences est réduit (Fig. 8.3). L'action de l'eau ne se limite pas uniquement à l'hydratation des semences ou de ses tissus, mais aussi elle entraîne l'oxygène dissout vers l'embryon. Également, l'humidité du sol contribue à la levée de dormance: l'alternance des états hydratés et déshydratés des semences (non profondément enfouies) favorise la levée de la dormance tégumentaire. De même, l'eau de pluie ou d'irrigation contribue énormément à laver les produits inhibiteurs de la germination qui se trouvent autour de la semence, dans la semence ou même dans l'embryon

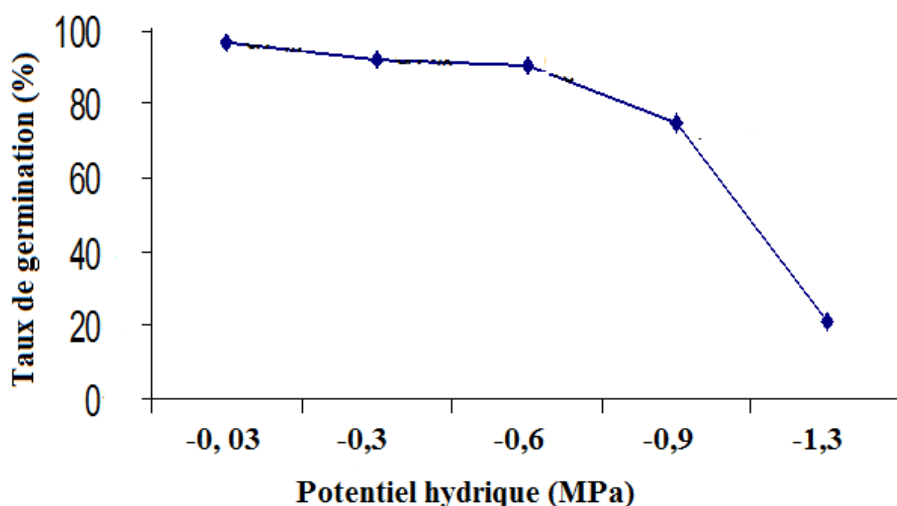


Figure 8.3: Effet du potentiel hydrique sur la germination des semences de *Verbena encelioides* (Taleb *et al.*, 2010).

2.2. Température

La température est un facteur écologique nécessaire à l'initiation du processus de germination. En dehors de son rôle dans l'absorption de l'eau lors de la phase d'imbibition, la température influe directement sur la vitesse de toutes les réactions chimiques impliquées dans la germination et indirectement dans l'oxygénation de l'embryon. La solubilité de l'oxygène dans l'eau d'imbibition diminue avec l'élévation de température. Ainsi, la respiration, l'hydrolyse des réserves et les activités enzymatiques demeurent sous la dépendance de la température. Si l'oxygène n'est pas limitatif dans le sol, la germination des semences n'a lieu qu'à

l'intérieur d'une plage de températures spécifique à chaque espèce et limitée par la température minimale et la température maximale. Au-delà de ces limites, aucune semence ne germera. Par contre, le maximum de germination est obtenu à une température optimale. Entre la température minimale et la température optimale, toute élévation de température engendre une augmentation de taux de germination des semences. Alors que le contraire est observé entre les températures optimale et maximale (Fig. 8.4). L'effet de la température constante sur la germination du jujubier (*Ziziphus lotus*), adventice des régions arides et semi arides du Maroc, a été étudié en utilisant des graines de cette adventice, collectées à El Brouj (Chaouia). L'augmentation de la température de 20 à 35°C a entraîné une augmentation de taux de germination des graines du jujubier avec un maximum à la température de 35°C (Fig. 8.4). Au-delà de cette température optimale, toute élévation de température a entraîné une chute de taux de germination accompagnée d'une réduction de la viabilité des graines (Rsaissi, 2013). Il est à indiquer qu'à l'intérieur des populations d'une espèce, des écotypes peuvent avoir des besoins en température différents. Généralement, ces besoins sont beaucoup liés à l'origine géographique de l'espèce. Les adventices originaires des régions froides ont une température optimale très basse, tandis que les adventices tropicales ont des températures optimales plus élevées. Tissut *et al.* (2006) ont rapporté que Lauer en 1953 avait classé les espèces des milieux cultivés en six catégories sur la base de leurs besoins en températures (Tableau 8.1).

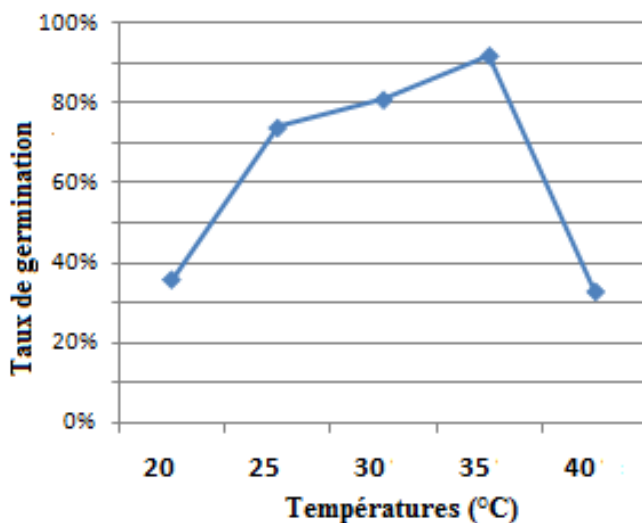


Figure 8.4: Effet de la température constante sur le taux de germination des graines du jujubier collectées à El Brouj en Chaouia (Rsaissi, 2013).

Tableau 8.1: Classification de Lauer selon les températures minimale, optimale et maximale de germination (Source: Tissut *et al.*, 2006).

Catégorie d'espèces	Températures de germination (°C)			Exemple d'adventices
	Minimale	Optimale	maximale	
Eurythermiques		0 – 35		<i>Agrostemma githago</i>
Microthermiques	2 – 5	2 – 13	25	<i>Sherardia arvensis</i>
Micro-eurythermiques	2 – 5	2 – 13	35	<i>Stellaria media</i>
Méso-eurythermiques	2 – 5	13 – 20	35	<i>Chenopodium album</i>
Macro-eurythermiques	2 – 5	25 – 40	40	<i>Sonchus asper</i>
macrothermiques	20	25 – 40	40	<i>Echinochloa crus-galli</i>

A l'image de ce qui se passe naturellement, la germination de plusieurs espèces est favorisée par l'alternance thermique entre le jour et la nuit. Il paraît que ces températures alternées agiraient au niveau des cellules embryonnaires pour stimuler la germination et pourraient substituer le besoin en lumière (Leblanc *et al.*, 1998). Généralement, les semences qui se trouvent à la surface ou dans les premiers centimètres du sol sont plus exposées à ces alternances. Comme dans le cas des températures constantes, le maximum de germination est obtenu à une température optimale alternée. La réaction de six lots de semences de la morelle jaune (collectées au Tadla) aux différentes températures a permis de montrer que le maximum de germination est obtenu à la température alternée optimale 30-20°C (12h/12h) avec un taux de germination de 59% à l'obscurité contre 1% à 15-10°C, 2% à 20-15°C et 3% à 40-30°C (Lonchamp *et al.*, 1989). En essayant les régimes thermiques: froid (hiver), frais (printemps) et chaud (été), Taleb *et al.* (2010) ont montré que les semences de *Verbesina encelioides* germaient mieux à la température alterne de 25-15°C et à la thermopériode de 14h/10h (Fig. 8.5).

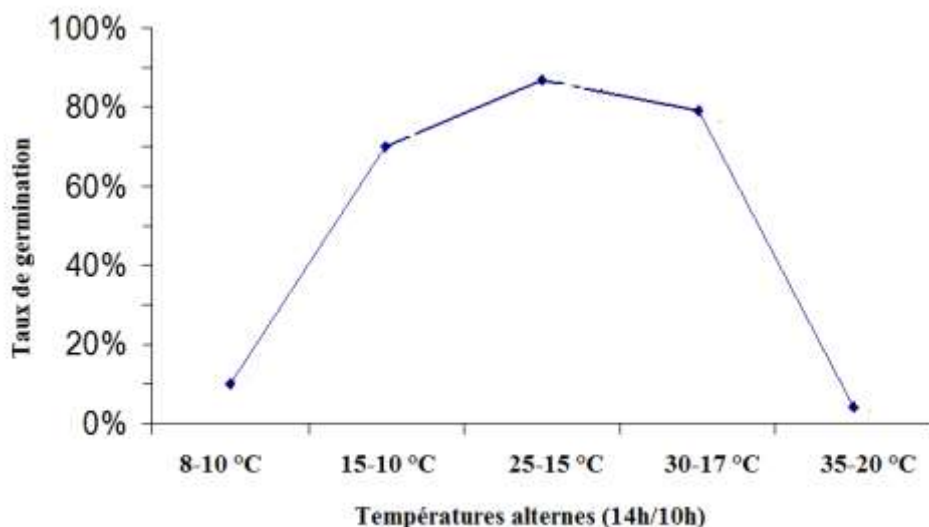


Figure 8.5: Effet des températures alternées sur la germination des semences de *Verbena encelioides* (Taleb *et al.*, 2010).

2.3. Oxygène

L'oxygène (O_2) est l'un des gaz biologiquement actifs dans un sol. Pour qu'une semence puisse germer, son embryon doit être bien oxygéné pour respirer et produire l'essentiel de l'énergie nécessaire au processus de la germination. Dans un sol, la teneur en oxygène est comprise entre 10 et 20% et se raréfie avec la profondeur. De même, cette teneur diminue avec l'inondation, l'hydromorphie ou le tassement du sol, car les pores du sol sont remplis d'eau ou fermés, ce qui limite la diffusion du gaz dans le profil du sol. Généralement, il existe une étroite relation entre la disponibilité en oxygène, la profondeur de localisation des semences dans le sol, la température, l'humidité du sol et la texture et la structure du sol. Le besoin en oxygène dépend des espèces. Par exemple, les semences de *Veronica persica* germent à une teneur d'oxygène de 1 à 4%, tandis que celles de *Stellaria media* et de *Sonchus asper* germent à une teneur de 8% (Tissut *et al.*, 2006). Généralement, les semences qui se trouvent près de la surface du sol germent mieux à cause de la concentration très élevée de l'oxygène dans cet horizon du sol. L'excès d'oxygène peut empêcher la germination de certaines espèces. Quant à l'absence d'oxygène dans un sol, elle agit en inhibant la germination elle-même ou en stimulant les réactions anaérobiques qui produisent des inhibiteurs de la germination.

2.4. Lumière

La lumière est un facteur naturel à action très complexe et ne provoque pas à elle seule la germination des semences mais interagit avec d'autres facteurs et surtout avec la température. La réaction des espèces à la lumière est sous la dépendance de la conversion des phytochromes inactif (Pr.) et actif (Pfr.) (Fig. 6.6). Cette photoconversion ne se fait que lorsque les phytochromes sont bien hydratés. En outre, la conversion des phytochromes est influencée par la température et la profondeur d'enfouissement des semences dans le sol. En définitive, la présence du Pfr. en quantité suffisante (c'est-à-dire le taux de Pfr. par rapport à Pr. + Pfr.) qui déclenche la germination des semences. Cependant, la réaction des adventices vis-à-vis de la lumière dépend des espèces, de la durée d'exposition à la lumière et de la qualité de cette dernière, mais cette réaction peut être modifiée à tout moment par les facteurs de l'environnement et l'âge des semences. Généralement, les nouvelles ou jeunes semences sont plus sensibles à la lumière que les vieilles semences.

La sensibilité des espèces à la lumière permet de distinguer des adventices à photosensibilité positive (70% des espèces) dont la germination est favorisée par la lumière, des adventices à photosensibilité négative (25%) dont la germination est favorisée par l'absence de la lumière et des adventices non photosensibles (5%) qui germent à l'obscurité et à la lumière. Beaucoup de cultures ont été sélectionnées pour être non photosensibles. Il a été observé que les semences fines ont tendance à être positivement photosensibles, alors que les grosses semences tendent à être négativement photosensibles. Certaines espèces peuvent avoir une photosensibilité cyclique c'est-à-dire une fois positive et une autre fois négative (Leblanc *et al.*, 1998). Les semences qui germent à l'obscurité n'ont pas besoin de la formation du Pfr. par la lumière car elles sont supposées avoir une quantité suffisante de Pfr. endogène. Par contre, les semences positivement photosensibles ont un niveau du Pfr. endogène faible et ont besoin d'être éclairées pour former plus de Pfr. pour atteindre le taux exigé ou spécifique à chaque espèce. Par exemple, les semences de *Verbesina encelioides*, soumises aux photopériodes de 10/14, 12/12, 14/10, 16/8 et 0/24 heures d'éclairage et d'obscurité à la température optimale de 25 – 15°C, germaient aussi bien en absence qu'en présence de lumière (Taleb *et al.*, 2010). Par contre, la mise en germination de cinq lots de semences de la morelle jaune, récoltés dans cinq Centres de Mise en Valeur Agricole (CMV) à Béni Amir au Tadla, a permis de montrer que cette adventice envahissante germe mieux et rapidement en absence de lumière (Tableau 8.2).

Tableau 8.2: Taux de germination (G) et Temps Moyens de Germination (TMG) des semences de la morelle jaune en présence et en absence de lumière (Lonchamp *et al.*, 1989)

Lots de semences	Lumière		Obscurité	
	G (%)	TMG (j)	G (%)	TMG (j)
CMV 503	21	11	43	10
CMV 507	30	10	44	9,9
CMV 506	-	-	66	9,3
CMV 504	-	-	71	8,5
CMV 502	46	10	71	8,2
Moyenne	32	10,3	59	9,2

2.5. Gaz carbonique et éthylène

En plus de l'oxygène, deux autres gaz naturels, le gaz carbonique (CO₂) et l'éthylène ont une action non négligeable sur le processus de germination des semences dans le sol. La concentration de CO₂ très différente de celle de l'air et oscille entre 0,25 à 10%. Une teneur en gaz carbonique supérieure à 5% inhibe la germination des semences. Alors qu'une concentration entre 2 et 5% stimule la germination de beaucoup d'espèces. L'effet inhibiteur du CO₂ augmente avec la profondeur d'enfouissement des semences du moment que sa concentration a tendance à augmenter dans les horizons profonds du sol. La production du CO₂ dans le sol dépend de la température, de l'humidité, de la porosité du sol et de la disponibilité de l'oxygène qui influe sur les activités biologiques du sol (Leblanc *et al.*, 1998).

Quant à l'éthylène, considéré aussi comme régulateur de croissance, stimule la germination lorsque sa quantité est suffisante. A une pression oscillante entre 0,05 et 1,2 MPa, l'éthylène stimule la germination de plusieurs espèces. Le mécanisme de son action n'est pas bien élucidé, mais certains auteurs l'associent à l'activité des nitrates ou nitrites (Travlos *et al.*, 2020). La production de ce gaz est favorisée par une humidité importante du sol, sa richesse en matière organique, une température élevée et une faible concentration en oxygène (Leblanc *et al.*, 1998). Il a été rapporté que des pathovars de la bactérie « *Pseudomonas syringae* » produisent de grandes quantités d'éthylène dans le sol pour stimuler la germination de deux plantes parasites, *Striga aspera* et *S. gesnerioides* (Travlos, *et al.*, 2020).

3. Autres facteurs actifs sur la germination

A côté des facteurs écologiques ou naturels, la germination dépend d'autres facteurs dont l'effet affecte son processus. Le travail du sol est une pratique culturale qui change les conditions du sol environnant les semences. Ainsi, il est considéré comme un important levier agronomique qui pourrait être exploité pour réduire le stock semencier d'un sol (voir dormance). Toute perturbation superficielle du sol a) expose les semences enfouies à un flash de lumière, b) permet une grande diffusion de l'oxygène dans le sol et du gaz carbonique hors du sol, c) enfouie les résidus végétaux et d) favorise la dessiccation du sol, et par conséquent, augmente la fluctuation des amplitudes thermiques et favorise la minéralisation de l'azote. Tous ces facteurs sont connus pour leur action sur la dormance, et par conséquent, sur la germination des semences. Effectivement, les agriculteurs savent que tout travail du sol est suivi automatiquement par une germination et une levée importante d'adventices. Tandis que le labour profond place une partie des semences dans des horizons où ces conditions sont défavorables à la germination. Ainsi, la germination des semences dépend de la profondeur de leur enfouissement et chaque espèce a une profondeur optimale de germination. La majorité des semences d'adventices germent dans les 5 premiers centimètres du sol. Généralement, la profondeur de germination augmente avec la taille des semences. Dans un essai où les semences de *Verbesina encelioides* ont été semées à des profondeurs allant de 0 à 20 cm a permis de montrer que cette adventice germe à la surface du sol. Le maximum de germination est obtenu à 1,5 cm de profondeur et aucune germination n'a lieu à 7, 14 et 20 cm de profondeur (Fig. 8.6) (Taleb *et al.*, 2010). Par contre, les semences de la morelle jaune ont une profondeur optimale de germination de 4 cm (Tableau 8.3). Non seulement la profondeur affecte le taux de germination, mais aussi sa vitesse comme démontré dans le cas de la morelle jaune où une différence de quatre jours de retard en moyenne a été notée entre certaines profondeurs testées (Tableau 8.3) (Baye, 2004).

La fertilisation, surtout azotée, est une pratique agricole très courante dans les milieux cultivés et qui influe sur le processus de germination. Plusieurs travaux ont montré que les engrais qui contiennent les nitrates ou les nitrites favorisent la germination de plusieurs espèces, lorsqu'ils sont combinés à d'autres facteurs tels que la lumière, les fluctuations de températures et l'éthylène. Cependant, le mécanisme d'action de ces fertilisants n'est pas encore élucidé. Il paraît qu'ils agissent au niveau des membranes en activant les récepteurs qui s'associent aux phytochromes activés (Pfr.) par la lumière (Travlos *et al.*, 2020). La présence de substances chimiques volatiles ou allélopathiques dans le sol stimule ou inhibe la germination de certaines espèces (voir chapitre 12 sur l'allélopathie). Dans ce cas, il est connu dans le Tadla que les semences de l'avoine stérile ne germent pas dans

un sol ayant comme précédent cultural le cotonnier, car les racines de ce dernier laissent dans le sol des substances inhibitrices. De même, il a été montré que la luzerne contient des substances qui inhibent la germination de la morelle jaune (Bouhache et Assali, 1995). Par contre, les semences pré-conditionnées de l'orobanche (plante parasite) ne germent qu'en présence des exsudats racinaires libérées par les plantes hôtes (la fève, la féverole, le pois-chiche, la lentille, etc.) dans le sol (voir chapitre 13 sur le parasitisme).

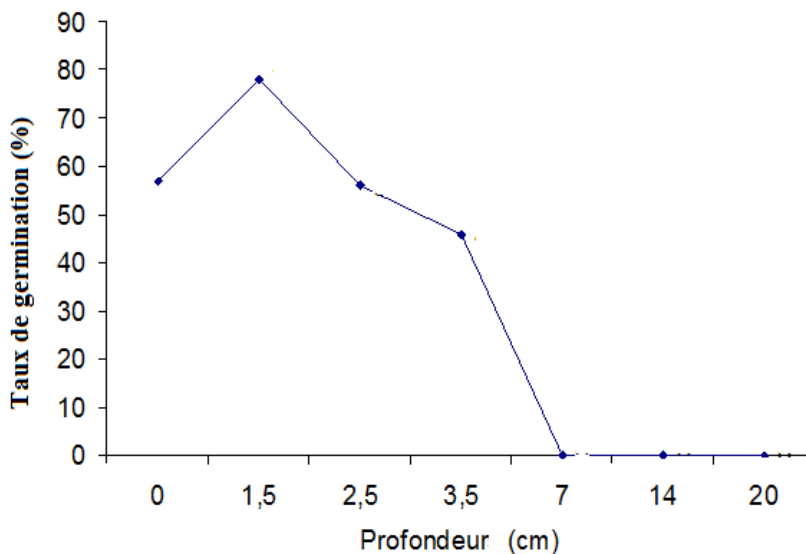


Figure 8.6: Effet de la profondeur de semis sur la germination (sens agronomique) des semences de *Verbescina encelioides* (Taleb et al., 2010).

Tableau 8.3: Effet de la profondeur de semis sur la germination (sens agronomique) des semences de la morelle jaune (Baye, 2004).

Profondeur (cm)	Taux de germination (%)	Taux moyen de germination (jours)
0	44,6	18,0
2	59,6	14,5
4	73,5	15,5
6	60,4	15,6
8	47,5	18,3
10	12,9	18,3

4. Processus et importance de la levée au champ

La levée au champ des adventices est un événement qui fait suite à la germination aussi bien dans l'espace que dans le temps. Elle constitue une phase cruciale dans le cycle de développement des annuelles et des pérennes simples. Sans levée, ces plantes ne pourront pas boucler leurs cycles biologiques avec succès. Le processus de levée commence à la fin du processus de germination de la semence (percée des téguments) et s'arrête lorsque la jeune plantule atteint la surface du sol. Donc, c'est une phase de croissance souterraine de la racine et du coléoptile des graminées ou d'hypocotyle des dicotylédones. C'est une phase très fragile, vulnérable et irréversible c'est-à-dire que tout arrêt du processus de levée entraîne automatiquement la mort de la future plante. Ce processus peut durer quelques semaines à quelques mois. Au champ, la levée des adventices correspond à l'apparition des premiers organes végétatifs visibles tels que les cotylédons ou les premières feuilles (Jauzein, 1986). Malgré le grand stock semencier d'adventices dans le sol, la flore adventice qui lève ne représente en moyenne que moins de 10% des semences cachées dans le sol. L'échec de la levée est l'une des causes de ce faible taux d'émergence. Effectivement, la levée au champ est soumise à plusieurs facteurs liés à l'environnement et aux pratiques culturales qui agissent sur la croissance et la sortie du sol de la jeune plantule (germe) issue de la germination. La connaissance de ces facteurs ainsi que les exigences de germination des semences d'adventices pourraient aider à faire des prédictions quant à l'infestation des parcelles et de prendre à temps les moyens de gestion appropriés.

5. Facteurs actifs sur la levée au champ

La levée au champ des adventices est considérée comme une résultante des événements successifs: la suppression de la dormance des semences, leur germination, l'élongation du germe et son émergence du sol. Tous ces événements sont contrôlés par des facteurs intrinsèques et extrinsèques des semences. Etant donné que le nombre de plantes levées dépend du nombre de semences non dormantes ayant germé, tous les facteurs qui agissent sur l'état de dormance et la germination des semences sont des facteurs qui affectent directement ou indirectement la levée des adventices au champ. Effectivement, c'est difficile de faire une séparation très nette car la levée commence dès la germination de la semence. D'ailleurs, une certaine confusion est notée dans le cas des semences qui se trouvent à la surface du sol et dont la germination et la levée sont soumises aux mêmes conditions. Par contre, les facteurs actifs sur la germination et la levée des semences profondément enfouies ne sont pas forcément les mêmes (Leblanc *et al.*, 1998). En tout état de cause, tous les facteurs dont dépendent la croissance du

germe et son émergence du sol sont des facteurs qui interfèrent directement avec la levée au champ.

Après la percée des téguments de la semence, le germe doit grandir et émerger à la surface du sol pour réussir sa levée. Ainsi, la jeune plantule issue de germination a certaines exigences physiologiques de croissance et des obstacles physiques à franchir pour sortir du sol. Cette croissance souterraine a besoin d'une température du sol favorable, d'une humidité adéquate, d'une oxygénation convenable et l'absence d'attaques parasitaires. Ces exigences varient avec les espèces et les régions. Une baisse importante de température du sol peut arrêter ou ralentir la croissance du germe, et par conséquent, retarder ou réduire la levée au champ. De même, l'inondation d'un sol, pendant plusieurs jours, a un effet certain et rapide sur la levée à cause de l'anoxie qui provoque la mort du germe. Aussi, le manque d'humidité dans un sol, pendant une longue période, entraîne la déshydratation du germe dont les cellules pourraient être endommagées d'une façon irréversible (Leblanc *et al.*, 1998). Il est fréquent de trouver des situations où la levée des adventices est partiellement ou complètement inhibée par la présence des résidus d'herbicides dans le sol. Par exemple, l'utilisation du piclorame pour lutter contre la morelle jaune dans le Tadla a empêché la levée de beaucoup d'espèces y compris le blé pendant 3 à 4 ans (observation personnelle). Chez certaines plantes parasites comme l'orobanche, la compétition intraspécifique réduit de 70% l'émergence des germes d'orobanche ayant réussi à se fixer sur la racine de la plante hôte (voir chapitre 13 sur le parasitisme).

La texture et la structure du sol constituent la principale barrière physique que la jeune plantule doit dépasser pour émerger à la surface du sol. Les agronomes et les agriculteurs connaissent bien que les sols sableux offrent une traversée facile aux jeunes plantules et se réchauffent rapidement, ce qui favorise la précocité des levées. Cependant, ces sols sableux ont l'inconvénient d'accélérer la mort des germes en cas de déficit hydrique. Quant aux sols argilo-limoneux ou limoneux, ils sont connus pour leur caractère battant en cas de pluies suivies par des vagues de chaleur ou de vents secs. La croûte de battance formée ralentit la diffusion de l'oxygène, diminue le réchauffement et constitue un obstacle physique à l'émergence des plantules. Leblanc *et al.* (1998) ont rapporté que cet obstacle pourrait empêcher l'émergence de 97% des semences germées dans le sol. Devant cette situation, le hersage, le sarclage et l'apport fréquent de petites irrigations conduisent à libérer les germes qui se trouvent sous la croûte. Lorsque cette dernière est cassée, on observe que les germes n'ont pas arrêté leur croissance mais ils sont tortueux à cause de la grande résistance physique imposée par les croutes. Une autre barrière physique non négligeable qui empêche les plantules de sortir du sol est constituée par les mottes, les cailloux ou une couche de résidus végétaux qui

se trouvent à la surface du sol. En outre, les semences des adventices trouvent des difficultés énormes à germer et à lever dans un sol compacté ou très tassé.

La profondeur d'enfouissement agit sur le taux, le temps et l'uniformité de l'émergence. Lorsqu'une semence germe dans un horizon profond, son émergence est retardée et sa vigueur est faible puisque le germe a épuisé une grande partie de ses réserves nutritives pour émerger à la surface du sol. Si une semence n'a pas suffisamment de réserves pour parcourir la distance entre sa position et la surface du sol, sa levée est vouée à l'échec. La profondeur maximale de germination-levée dépend des espèces (Fig. 8.6 et Fig. 8.7, Tableau 8.3). Généralement, les espèces ayant de petites semences émergent mieux dans les couches du sol moins profondes (5 premiers centimètres) que les espèces ayant de grosses semences qui germent à une profondeur de 10 à 20 cm. Le travail superficiel fréquent du sol est connu comme un moyen favorisant la levée des mauvaises herbes. Dans cet horizon, les changements climatiques se font très rapidement et créent des conditions favorables à la germination de plusieurs espèces. C'est d'ailleurs la base de la technique de faux semis utilisée pour la réduction de l'infestation des adventices avant l'installation d'une culture.

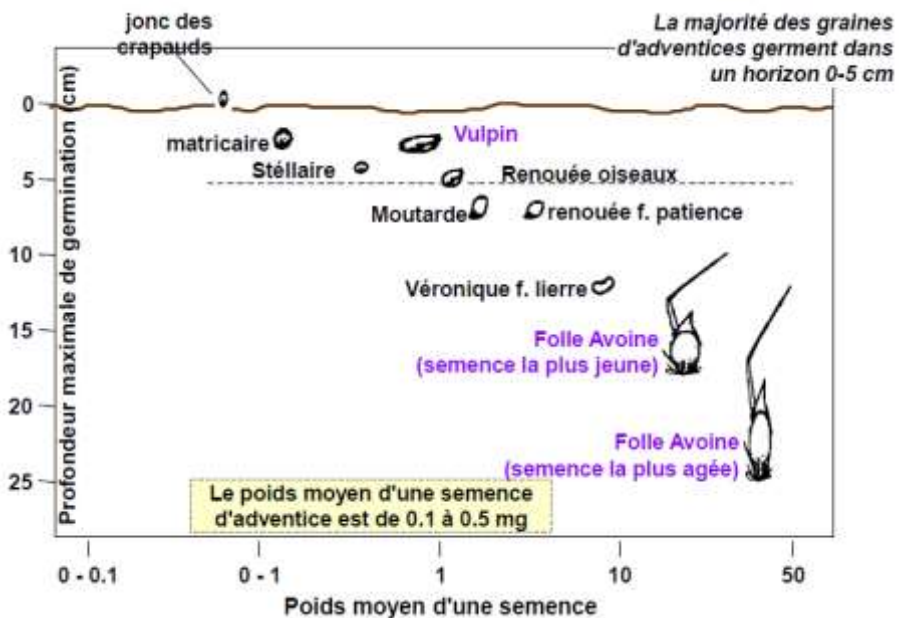


Figure 8.7: Relation entre la taille de la semence et la profondeur de germination-levée de certaines adventices (Vacher et Bouttet, s.d.).

6. Echelonnement et périodicité de la levée

L'échelonnement et la périodicité de la levée au champ des adventices sont deux phénomènes complémentaires. Ils permettent d'observer la présence d'un cortège floristique dans un champ toute l'année, chaque fois que le sol est perturbé ou qu'une culture est installée, avec une densité et une composition qui changent sous l'action de plusieurs facteurs. Etant donné que la levée est liée intimement à la germination, son échelonnement dépend de l'échelonnement de la germination. Ainsi sur le terrain, la levée est un critère tangible qui prouve que la germination a lieu. Des levées importantes indiquent que les semences présentes dans le sol se trouvent dans un état physiologique favorable à la germination. Suivant le rythme climatique des saisons, pour une espèce donnée, les plantules d'une espèce donnée apparaissent à différentes périodes de l'année, et des espèces différentes se succèdent dans le temps. En d'autres termes, chaque espèce a une périodicité de ses levées c'est-à-dire ses exigences physiologiques qui ne sont satisfaites qu'à certaines périodes de l'année (Jauzein, 1986).

Le défilé de plusieurs contingents de levées des espèces est régi par plusieurs facteurs qui interagissent: a) l'hétérogénéité intrinsèque des semences (génétique, position sur le pied-mère, b) historique vécu lors de la maturation sous l'action des conditions environnementales, etc.), c) les facteurs cultureux (travail du sol, irrigation, fertilisations, etc.), d) les facteurs édapho-climatiques (texture et porosité du sol, pluviométrie, etc.) et e) les exigences germinatives (gaz, lumière et température) (Jauzein, 1986). Cependant, dans les régions à climat tempéré où les saisons changent régulièrement, la température reste de loin le facteur le plus important et déterminant quant au calendrier d'apparition et l'étalement des levées des espèces. La température agit par le degré thermique atteint et par les alternances ou le cycle annuel des températures (Jauzein, 1986). L'humidité du sol change le temps de germination-levée à l'intérieur de la période définie par la température. Alors que, dans les régions tropicales où la fluctuation des températures n'est pas importante, la périodicité d'apparition des plantules est liée à l'humidité du sol (Chadoeuf, 1985).

Sur le plan agronomique, la perturbation du sol est une technique culturale qui favorise l'émergence des adventices tant que la température et l'humidité du sol sont favorables à la germination et la croissance. L'effet du travail du sol n'agit que dans les limites imposées premièrement par la température et secondairement par l'humidité du sol. Explicitement, le travail du sol, à différents moments de l'année et à différents degrés d'intensité, modifie le degré d'infestation, la nature des espèces et l'échelonnement de la levée des adventices. Ainsi, la combinaison de la dernière façon culturale, les exigences germinatives des semences et le cycle

climatique annuel entraîne une certaine régularité chronologique de l'apparition des adventices dans une parcelle. Certaines adventices lèvent durant une période ou saison bien déterminée de l'année, d'autres chevauchent sur les périodes ou saisons suivantes. Tandis qu'une autre catégorie d'espèces lève durant toute l'année (Fig. 8.8). La connaissance de la périodicité d'émergence des adventices est un élément indispensable pour une lutte raisonnée car elle permet d'optimiser le moment d'intervention chimiquement et/ou physiquement. Jauzein (1985) et Tissut *et al.* (2006) ont rapporté que Montégut (1975) avait classé les adventices, sur la base de leur calendrier des levées, en cinq principales catégories suivantes:

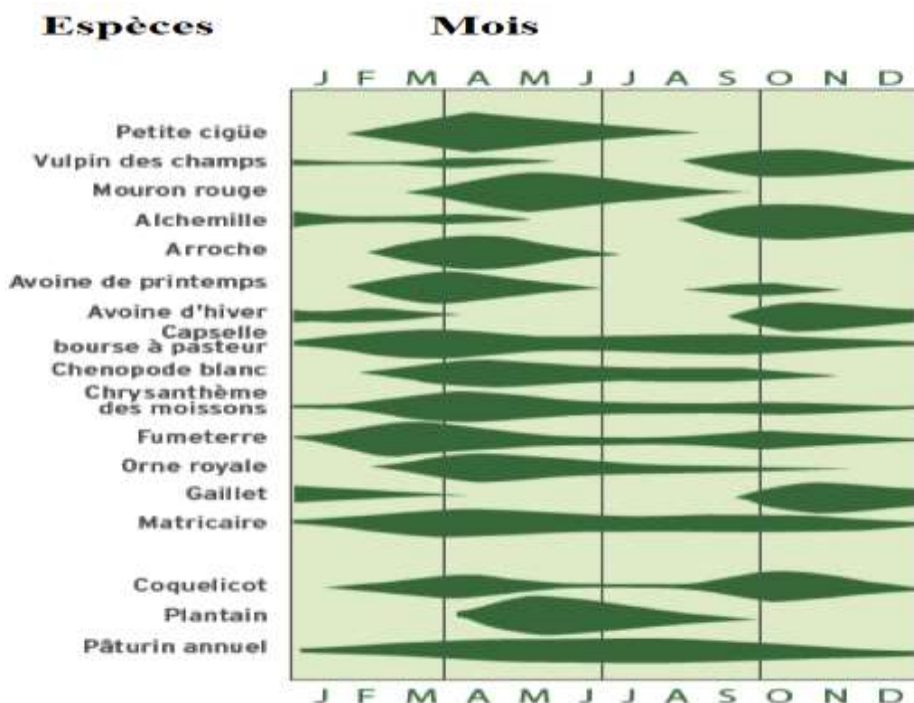


Figure 8.8: Périodes préférentielles de la levée de certaines adventices (Chadoeuf *et al.*, 1988).

- **Espèces indifférentes:** cette catégorie renferme un nombre important d'espèces peu exigeantes (amplitudes thermiques de germination très larges) et qui lèvent toute l'année. Elles peuvent boucler plusieurs cycles de développement à partir des semences

des années précédentes ou des semences produites par les générations successives. Trois sous-groupes peuvent être distingués: espèces totalement, partiellement et apparemment indifférentes. Les espèces totalement indifférentes sont des espèces cosmopolites et ubiquistes qui n'ont pas de dormance primaire et présentes toute l'année en marquant un léger ralentissement en hiver. Les espèces partiellement indifférentes ne lèvent pas durant la période correspondante aux températures hivernales très basses (<5). Les espèces apparemment indifférentes ont une période de germination non différenciée à cause de la grande hétérogénéité des semences qui donnent des contingents de levées échelonnées, ce qui donne une impression d'indifférence.

- **Espèces automnales:** ce sont des espèces dont la dormance est levée par la chaleur d'été et qui passent l'hiver sous forme de semences ou plantules selon les espèces. Deux sous-groupes font partie de cette catégorie, les automnales strictes et prolongées. Le premier sous-groupe comprend des espèces à cycles variables et indifférentes au photopériodisme. Ces automnales strictes ont besoin d'une vernalisation au stade rosette pour fleurir fin hiver ou début printemps. Les automnales prolongées ont besoin de courte durée de vernalisation sous forme de semences imbibées ou très jeunes plantules. Elles peuvent germer au printemps, et leur besoin en jours longs implique que la floraison a lieu fin printemps.
- **Espèces hivernales:** ces espèces sont considérées comme un cas spécial des automnales car elles sont des intermédiaires entre les automnales et les printanières. Cette catégorie acquiert l'état vernalisé lors de la germination et exige des températures très basses (1 à 5°C) pour la germination et la levée.
- **Espèces printanières:** ces espèces ont besoin d'une longue période de froid (4 à 6 semaines entre 0 et 5°C) pour lever la dormance de leurs semences. Cependant, leur germination nécessite des températures supérieures à 10°C. Contrairement aux automnales et hivernales qui passent par le stade rosette, les printanières ont un port d'emblée allongé (pour les dicotylédones). Ces espèces infestent surtout les cultures printanières et estivales.

- **Espèces estivales:** ce sont des espèces dont la dormance, acquise en automne, est levée par le froid hivernal ou tout simplement par le vieillissement, par la lumière ou par l'alternance des basses et hautes températures. Leur germination et/ou levée nécessitent des températures moyennes à élevées (20 à 30°C) c'est-à-dire de fin printemps et début été. Comme les printanières, ces espèces ont aussi un port d'emblée allongé et leur floraison est induite par les jours courts.

Page laissée vierge

Chapitre 9: Régénération végétative

1. Importance et types de régénération

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. Par exemple, l'infestation des cultures annuelles et des vergers par les rejets de la morelle jaune, dans les zones d'action de trois Centres de Développement Agricole (CDA) au périmètre du Tadla, est presque trois fois (71%) plus importante que celle des plantules issues de graines (Fig. 9.1) (Baye, 2004). 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 est fournie par la régénération végétative.

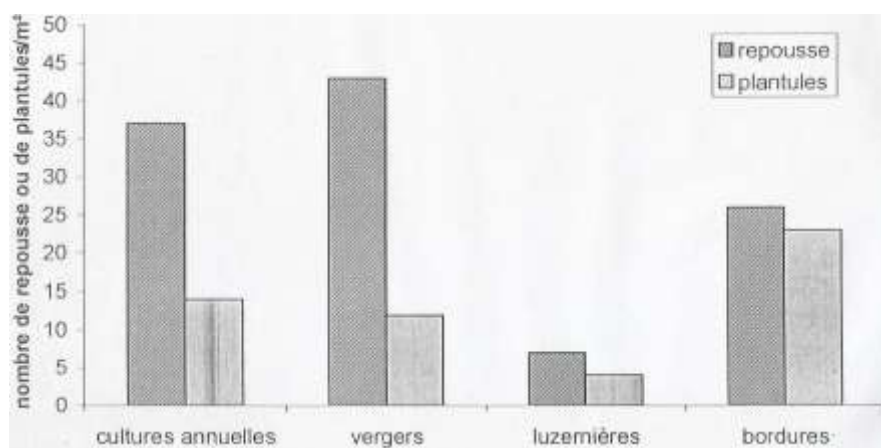


Figure 9.1: Origine de l'infestation des champs par la morelle jaune au CDA 506 du périmètre irrigué du Tadla (Baye, 2004).

La régénération végétative est une stratégie d'adaptation des vivaces aux différentes perturbations naturelles ou accidentelles. Ainsi, la régénération des propagules végétatives est une étape très importante dans le cycle de vie d'une vivace, surtout chez les espèces qui se multiplie uniquement par la reproduction

végétative, pour renouveler les organes végétatifs qui assurent la pérennité de l'espèce dans le milieu infesté. En outre, la régénération végétative détermine quand et combien de ces organes viables non dormants peuvent potentiellement lever au champ. La régénération végétative des adventices est classée en trois types, additive, nécessaire et régénérative (Fig. 9.2).

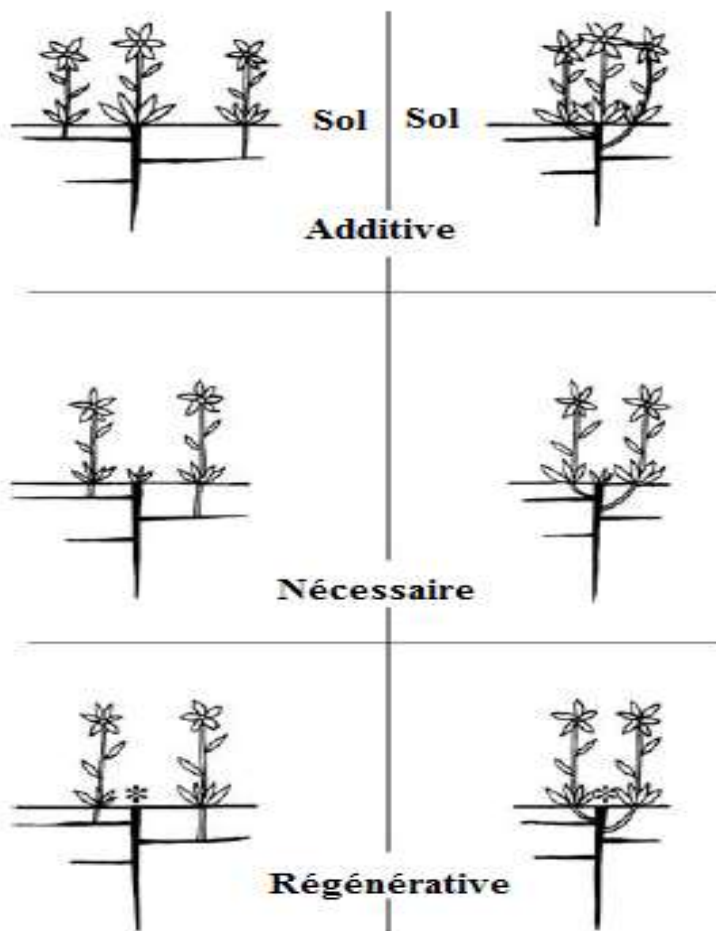


Figure 9.2: Types de régénération végétative. A gauche, rejets à partir des racines horizontales. A droite, rejets à partir des racines principales. Astérisque : blessure ou destruction (Klimesova et Martinkova, 2004).

Par exemple, dans le cas de la régénération à partir des racines, la régénération additive signifie que les rejets émanent des racines d'une façon normale selon le développement ontogénique et ne sont pas nécessaires pour compléter le cycle de vie. Concernant la régénération nécessaire, la régénération des rejets est indispensable pour fleurir ou pour passer la mauvaise saison. Dans le cas de la régénération régénérative, les rejets sont produits après blessure ou destruction partielle ou totale de la plante mère (Klimesova et Martinkova, 2004). Ces auteurs rapportent que d'autres termes sont utilisés pour désigner des régénérations presque similaires aux premières: régénération obligatoire, facultative et régénérative. De même, on peut distinguer la régénération naturelle d'une régénération accidentelle ou artificielle. La régénération est assurée par les bourgeons portés par ces organes. Un bourgeon est considéré régénéré ou germé lorsque la pousse sortie est égale ou inférieure à 0,5 cm (Nkurunziza, 2010). Ainsi, la régénération est l'initiation de la croissance à partir d'un bourgeon. L'acte de régénération est le résultat de la libération de la communication intercellulaire, via les plasmodesmes, ce qui permet la remobilisation de l'eau et des réserves des hydrates de carbone à l'instar du processus de germination des semences. Donc, la régénération végétative dépend de la quantité de bourgeons stockés sur et dans le sol d'un milieu ou tout simplement de stock ou banque de bourgeons. Le processus de levée commence à la fin du processus de régénération des bourgeons et s'arrête lorsque la jeune repousse est visible à la surface du sol.

2. Caractéristiques du stock de bourgeons

Le stock ou banque de bourgeons revêt la même importance que le stock semencier du sol quant à son utilisation comme indicateur et aux rôles agronomiques et environnementaux joués. La notion de banque de bourgeons a été introduite pour la première fois par Harper (1977) qui a défini le stock de bourgeons comme des populations de méristèmes cachés dans le sol. Donc, ce stock est composé par une accumulation de méristèmes dormants et formés sur les organes végétatifs (stolon, rhizome, bulbe, tubercule, corme, etc.) dans le sol. En d'autres termes, ce stock comprend tous les bourgeons potentiellement utilisables dans le processus de régénération végétative. La présence des bourgeons est liée à la présence des plantes mères sur place. Ainsi, sa diversité génétique est très limitée comparativement à celle du stock semencier. En outre, il n'y a pas beaucoup de différences entre les espèces régénérées et celles présentes dans le sol. Mais, le nombre de bourgeons stockés diffère d'une espèce à l'autre. Les bourgeons ne se disséminent pas tous seuls, mais avec les organes végétatifs et/ou les fragments porteurs.

A l'instar du stock semencier, deux types de stocks de bourgeons sont à distinguer, un stock aérien porté par des plantes comme les chaméphytes et les phanérophytes et un stock souterrain porté par tous les organes végétatifs et les fragments enfouis

dans le sol. Le stock souterrain varie de quelques centaines à quelques milliers de bourgeons/m² (Klimesova et Klimes, 2007). Le profil de distribution verticale de ce stock dans le sol est influencé par plusieurs facteurs entre autres le travail du sol. La longévité des bourgeons est corrélée à celle des organes végétatifs qui les portent, mais pas nécessairement à celle des plantes mères. Elle est relativement très réduite par rapport à celle des semences. A l'image de ces dernières, la durée de vie des bourgeons est liée au phénomène de dormances innée (endodormance), induite (paradormance) et imposée (ecodormance). Ces dormances sont causées et/ou levées par les mêmes facteurs que celles des semences (Aldrich, 1984). D'ailleurs, une graine et un organe végétatif ayant la même taille que la graine, contenant un seul bourgeon ou un bourgeon dominant, fonctionnent de la même façon (Klimesova et Klimes, 2007). La dominance apicale, absente chez les semences, est une autre dormance (paradormance) qui participe à la survie des bourgeons. Cette dernière est levée par fragmentation ou blessure de la plante. Etant une banque, le stock de bourgeons est dynamique en accusant des apports et des retraits de bourgeons (Fig. 9.3).

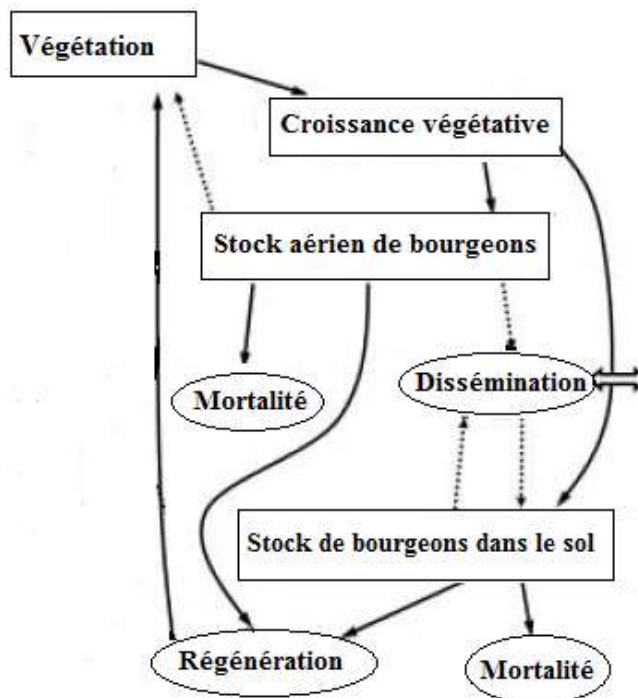


Figure 9.3: Dynamique du stock de bourgeons (Klimesova et Klimes, 2007).

Le stock des bourgeons est alimenté par les organes végétatifs produits par des plantes non perturbées et en croissance végétative et par les fragments, disséminés naturellement ou accidentellement suite aux activités humaines. Cependant, l'épuisement de ce stock est dû à la mortalité des bourgeons et la régénération végétative. La mortalité est causée par les mêmes facteurs que dans le cas des graines. Le processus de régénération reste la principale cause létale des bourgeons et comprend une série d'événements qui les conduit à la levée: imbibition, augmentation de la respiration, remobilisation des réserves et leur métabolisation ou utilisation (Aldrich, 1984). Donc, la régénération et/ou la levée dépendent de plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques des bourgeons. Comme pour les semences, ces facteurs n'agissent pas séparément, mais ils ont un effet combiné.

3. Effet des facteurs intrinsèques

La régénération suivie de la levée sont influencées par certains facteurs liés aux bourgeons tels que la périodicité, la dominance apicale, l'âge, le type et la taille d'organes végétatifs, les réserves, etc. La connaissance de l'effet de ces facteurs est très importante pour mieux gérer et avec succès la problématique des vivaces dans un biotope.

3.1. Périodicité

Etant donné que le processus de levée est lié étroitement à celui de la régénération, la période d'activation du premier dépend de celle du second. Ainsi sur le terrain, la levée est un critère tangible qui prouve que la régénération a lieu. Des levées importantes indiquent que les bourgeons présents dans le sol se trouvent dans un état physiologique favorable à la régénération. A l'instar des semences, la régénération végétative est soumise elle aussi au phénomène de périodicité ou cyclisation. Cette dernière est liée à l'interaction entre les exigences de régénération (température, humidité, lumière, régulateurs de croissance, etc.) et l'état de dormance des bourgeons. Suivant le rythme climatique des saisons, les repousses d'une espèce apparaissent à différentes périodes de l'année, et les différentes espèces se succèdent dans le temps. En d'autres termes, chaque espèce a une périodicité de ses régénérations et ses levées. Comme pour les annuelles, le phénomène de périodicité fait défaut chez certaines vivaces ou pérennes c'est-à-dire que les espèces croissent durant toute une année. Dans les régions tempérées, la température est un facteur qui agit en premier lieu sur la périodicité de régénération des espèces. Par exemple, la morelle jaune qui est une espèce printanière estivale, on voit ses premières repousses végétatives émerger qu'à partir de fin-février avec un optimum de régénération-levée noté entre mi-mars et mi-avril (Fig. 9.4). Au-delà de juin, la régénération se raréfie et l'espèce entre dans le repos végétatif de décembre à février (Tanji *et al.*, 1984).

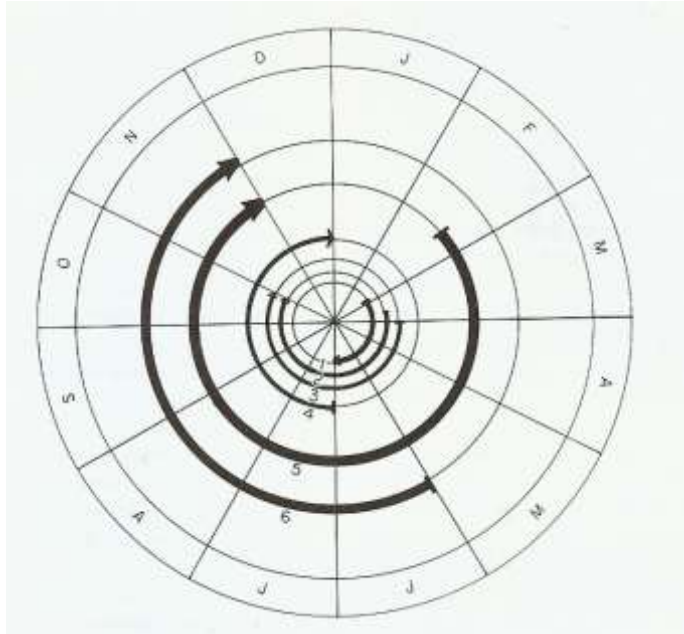


Figure 9.4: Cycles annuels des types biomorphologiques de la morelle jaune au Tadla: (1) germination et régénération; (2) optimum et fin de végétation; (3) floraison; (4) fructification; (5) type biomorphologique développé et (6) type biomorphologique nanifié (Tanji *et al.*, 1984).

Les mêmes tendances ont été notées chez d'autres adventices vivaces infestant les champs marocains. Ainsi, la régénération et la levée du jujubier (racines) dans la Chouia sont observées entre mi-février et mi-avril (Rsaissi, 2013). Quant aux trois graminées vivaces infestant la canne à sucre du périmètre irrigué de Loukkos, leurs régénérations végétatives (rhizomes) sont notées à partir de février, mars et avril, respectivement pour *Panicum repens*, *Cynodon dactylon* et *Paspalum paspalodes* (Bouhache *et al.*, 2005). La régénération et la levée du souchet à tubercule commencent à partir d'avril dans les cultures et vergers du périmètre irrigué de Moulouya (Maroc oriental) (Berrichi *et al.*, 2005). Les premières repousses issues des bulbilles d'*Oxalis pes-caprae*, dans les céréales de la Chaouia, apparaissent avec les premières pluies en automne. A partir d'avril, l'oxalide commence à se dessécher pour rentrer dans le repos végétatif et pouvoir reprendre à l'automne suivant (Rsaissi et Bouhache, 2005b).

3.2. 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. Dans un essai comparatif de tubercules du *Cyperus rotundus* avec ou sans apex, il a été montré 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). Même tendance a été observée dans le cas du *Sorghum halepense* où la présence de l'apex inhibe sévèrement les bourgeons successifs sur les fragments des rhizomes (Aldrich, 1984). Ainsi, le taux de régénération est de 88% pour les bourgeons du sommet contre moins de 8% pour les autres bourgeons. L'ablation de l'apex améliore le taux de régénération des bourgeons du centre et de la base des fragments des rhizomes (Tableau 9.1).

Tableau 9.1: Effet du méristème apical sur le taux de régénération des bourgeons des fragments du *Sorghum halepense* ayant trois nœuds de longueur (Source : Aldrich, 1984).

Méristème apical	Position des bourgeons sur les fragments		
	Sommet	Centre	Base
Présent (74 fragments)	88%	5%	7%
Absent (67 fragments)	55%	28%	16%

Deux théories ont été avancées pour expliquer cette dominance, la théorie trophique et la théorie hormonale. Dans le premier cas, les substances nutritives sont accaparées par l'apex au détriment des bourgeons axillaires. Alors que dans le deuxième cas, la dominance est due au rapport de deux hormones actives sur la régénération des bourgeons, les cytokinines et les auxines. En général, la quantité de l'auxine diminue progressivement de haut vers le bas et celle de la cytokinine

augmente de bas vers le haut. Cette paradormance est généralement levée par la suppression des bourgeons de l'apex ou la séparation des bourgeons axillaires de l'apex (Tableau 9.1). Dix rhizomes du *Cyperus rotundus* ayant 1, 2, 3 ou 4 tubercules chacun ont été plantés pour étudier l'effet du nombre de tubercules d'un rhizome (chaîne de tubercules) sur leur régénération. Les tubercules ayant régénéré et les repousses émergées ont été comptés et éliminés tous les 15 jours jusqu'à la régénération du dernier tubercule de la chaîne (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009). 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 (Tableau 9.2). Donc, l'utilisation d'un outil à dent pour travailler le sol permettrait de casser les liens entre les tubercules d'une plante du cyperus. 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.

Tableau 9.2 : Effet de la longueur de la chaîne de tubercules du *Cyperus rotundus* sur leur régénération (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009).

Chaîne de tubercules	Nombre de tubercules régénérés / nombre total de la chaîne de tubercules			
	15 jours après plantation	Élimination des bourgeons régénérés		
		Vague 1	Vague 2	Vague 3
1 tubercule	10/10	-	-	-
2 tubercules	10/20	10/10	-	-
3 tubercules	10/30	10/20	10/10	-
4 tubercules	10/40	10/30	10/20	10/10

3.3. Age

La connaissance de l'âge à partir duquel les plantules, issues de germinations des graines, acquièrent le statut de vivace détermine la stratégie de lutte à adopter. Avant cet âge, les jeunes pousses sont assimilées aux annuelles qui sont relativement faciles à gérer. Cet âge dépend des espèces, mais plus les plantules avancent dans leur cycle biologique plus leur capacité régénérative augmente. Par exemple la décapitation au ras du sol des plantules de la morelle jaune, issues de graines, a permis de noter que le taux de régénération végétative est de 0, 17, 45 et 77% respectivement pour les plantules âgées de 5, 10, 15 et 20 jours après leur

émergence (Tahri *et al.*, 1992). La durée de juvénilité de la morelle jaune a été ramenée de 10 à 5 jours lors d'une autre étude conduite par Ameer *et al.* (2004). Donc, avant 5 jours, les plantules de la morelle jaune ne sont pas capables de produire les bourgeons épiphrasicaux pour assurer leur régénération végétative. Une autre étude a montré que les plantules du jujubier, issues de graines, ont besoin d'environ 66 jours après leur émergence pour passer au stade de vivace (Rsaissi, 2013). En outre, il est à rappeler que la dominance apicale est affaiblie avec l'âge chez beaucoup d'espèces.

3.4. Type d'organes végétatifs

La régénération et la levée des bourgeons végétatifs dépendent de 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 perturbation. Une étude sur la capacité régénérative de la morelle jaune a démontré 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 à partir des fragments du système racinaire et des tiges dans les parcelles cultivées (Tahri, 1987). L'auteur a également montré que la morelle jaune a pu régénérer à partir d'un seul bourgeon prélevé avec un morceau de l'écorce. Les fragments issus du système racinaire vertical de la morelle jaune régénèrent mieux et rapidement que ceux originaires du système racinaire horizontal (Fig. 9.5) (Baye, 2004). 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 5.1).

3.5. 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 *et 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 9.3). 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).

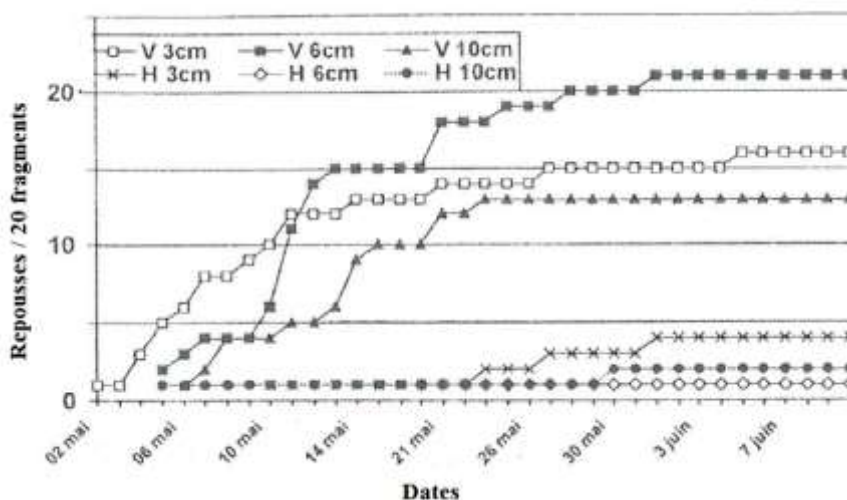


Figure 9.5:Régénération des fragments des racines verticale (V) et horizontale (H) de la morelle jaune, enfouis à 3, 6 et 10 cm de profondeur (Baye, 2004).

Tableau 9.3: Effet de la taille d'organe végétatif du jujubier et de la profondeur d'enfouissement sur le taux de régénération (%) (Rsaissi *et 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

Les tubercules de différents poids du *Cyperus rotundus* ont été plantés dans deux profondeurs du sol et suivis pour leur régénération et émergence (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009). Dans cette étude, il a été mis en évidence que généralement la taille des tubercules n'a pas beaucoup d'effet sur leur génération, mais elle affecte essentiellement le taux de leur émergence. 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 même quand ils se trouvent à 40 cm de profondeur (Tableau 9.4). Cependant, un effet inverse a été noté chez certaines espèces. Aldrich (1984) a rapporté que la régénération des rhizomes du *Sorghum halepense* et d'*Agropyron repens* est inversement proportionnelle à la longueur des 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 9.4: 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
0,5	90,5	85,5	96,4	60,8
1,0	96,4	92,7	95,2	92,4
1,5	99,5	98,9	98,6	95,2

3.6. Réserves nutritives

Les adventices vivaces sont caractérisées par le stockage des réserves nutritives sous forme d'hydrates de carbone ou glucides (saccharose, glucose, fructose, amidon, fructanes, etc.) dans les organes porteurs de bourgeons végétatifs, ce qui leur permet de survivre quelques années. La quantité et la nature des réserves glucidiques stockées dépendent de l'organe et de l'espèce. Par exemple, le saccharose et le fructose sont les principaux sucres hydrosolubles présents dans les tubercules et les rhizomes du *Cyperus rotundus* collectés des vergers d'agrumes dans la région de la Moulouya (Berrichi *et al.*, 2003). Quant à Bensellam (2005), il a montré que les principaux sucres hydrosolubles dans les tubercules du cyperus et les rhizomes du chiendent (récoltés dans un verger d'agrumes au Gharb) sont le saccharose, le glucose et le fructose. La nature et le taux de ces sucres varient

d'une saison à l'autre. Sur le plan quantitatif, les organes végétatifs des vivaces étudiées au Maroc ont des réserves glucidiques maximales qui varient de 33 à 69% de leurs biomasses sèches (Tableau 9.5). Ces niveaux de réserves sont généralement observés durant la période de repos végétatif qui précède celle de la régénération comme c'est le cas de la morelle jaune au Tadla (Fig. 9.6). 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.

Tableau 9.5: Réserves glucidiques et points de compensation des organes végétatifs de quelques adventices vivaces du Maroc.

Espèces	Organe	Réserves (%)	Point de compensation	Références
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Racine	33	Initiation florale (Avril)	Bouhache <i>et al.</i> (1993)
<i>Cyperus rotundus</i>	Tubercule	65	Début stade végétatif (Mai)	Berrichi <i>et al.</i> (2005)
<i>Cynodon dactylon</i>	Rhizome	47	Début floraison (Juin)	Bouhache <i>et al.</i> (2005)
<i>Panicum repens</i>	Rhizome	58		
<i>Paspalum paspalodes</i>	Rhizome	55	Floraison (Juillet)	Rsaissi <i>et al.</i> (2012b)
<i>Ziziphus lotus</i>	Racine	69	Stade végétatif complet (Avril)	

La quantité des réserves nutritives stockées dans les organes végétatifs fluctue au cours de l'année (Fig. 9.6). La capacité régénérative d'une plante dépend étroitement du niveau de ces réserves. Plus les réserves sont importantes plus la régénération est importante. L'évolution saisonnière de ces réserves passe par un niveau maximal et un niveau minimal du stock. Ainsi, on parle du point de compensation qui correspond à un stade où les réserves glucidiques produits par la photosynthèse arrivent à compenser celles utilisées par la respiration et la régénération végétative. Ce point varie d'une espèce à l'autre et revêt un grand intérêt dans la maîtrise de la régénération d'une vivace (Tableau 9.5). A ce point, la plante est affaiblie et produit moins de rejets. 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 à arrêter sa régénération. Expérimentalement, le fauchage répété de la morelle jaune au stade initiation

florale (Fig. 9.6), pendant trois années d'essai, a permis de réduire l'infestation de cette adventice vivace dans le Tadla (Ameur *et al.*, 2005).

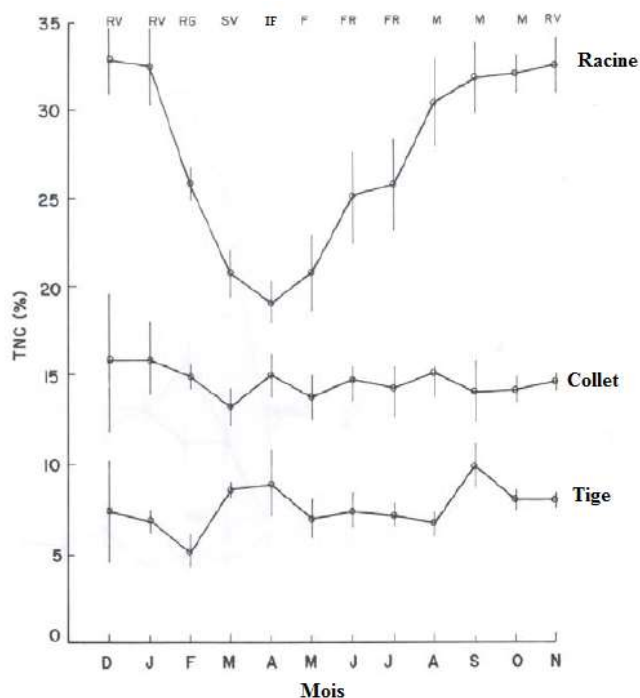


Figure 9.6: Evolution mensuelle des hydrates de carbone non structuraux (TNC) dans les différents organes de la morelle jaune. RV: repos végétatif, RG: régénération, IF: initiation florale, F: floraison, FR: fructification et M: maturation (Bouhache *et al.*, 1993).

4. Effet des facteurs extrinsèques

Les facteurs intrinsèques sont nécessaires mais ne sont pas suffisants pour la régénération et/ou la levée des vivaces. D'autres facteurs extrinsèques tels que le travail du sol, la profondeur d'enfouissement, la température, l'humidité et le niveau de fertilité du sol sont également importants et déterminants pour la réussite de cette étape décisive dans le cycle biologique des vivaces.

4.1. Travail du sol

Le travail du sol est une pratique culturale courante dans les milieux cultivés et qui change les conditions du sol environnant les organes porteurs de bourgeons végétatifs. En général, l'infestation des vivaces qui se multiplient végétativement a tendance à être plus importante là où le sol est travaillé. Effectivement, les infestations de la morelle jaune issues de la régénération végétative sont plus importantes dans les cultures annuelles et les vergers que dans les bordures et les luzernières du Tadla (Fig. 9.1). Dans ces derniers biotopes, le sol est moins perturbé en comparaison à la fréquence de passage du cover crop avant l'installation des cultures et dans la conduite des vergers (Baye, 2004). L'effet du travail du sol dépend de la période et la fréquence d'intervention, la profondeur travaillée et l'outil utilisé.

Une parcelle d'un hectare bien infestée par le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) du domaine expérimental de l'INRA de Dérouta (Tadla) a été divisée en deux sous-parcelles. La première a subi un travail superficiel du sol à l'aide d'un cover croppage avant le semis du blé. La deuxième a été travaillée profondément avec une charrue à disque (profondeur de travail supérieure à 30 cm). Le niveau d'infestation du liseron, noté avant la récolte du blé dans les deux sous-parcelles, est de 30 et 9 rejets/m², respectivement dans le cas du travail superficiel et le travail profond (Baye, 2016). Généralement, plus le travail du sol est superficiel ou réduit, plus la régénération est importante. Effectivement, les agriculteurs ayant adopté la technique de semis direct se plaignent de l'invasion des vivaces. De même, l'utilisation des outils à dents ou à lames tranchantes facilite la coupure des organes végétatifs des vivaces en petits morceaux. De ce fait, plusieurs parcelles sont complètement envahies à partir d'une touffe. En plus de la fragmentation des organes végétatifs et la suppression de leur dominance apicale par la suite, le travail du sol affecte aussi la profondeur d'enfouissement de ces organes dans le profil du sol.

4.2. Profondeur d'enfouissement

Comme pour les semences, la profondeur d'enfouissement agit sur le taux, le temps et l'homogénéité de la régénération et/ou de la levée des bourgeons végétatifs. Lorsqu'un bourgeon régénère profondément dans le sol, son émergence est retardée et sa vigueur est faible puisque la jeune repousse a épuisé une grande partie de réserves nutritives, stockées dans son organe porteur, pour émerger à la surface du sol. Si un organe végétatif n'a pas suffisamment de réserves pour parcourir la distance entre sa position et la surface du sol, sa levée est vouée à l'échec (Tableaux 9.3 et 9.4, Figures 9.5 et 9.7). Aussi bien pour les fragments de racines (morelle jaune et jujubier), de rhizomes (liseron des champs) et de souches (jujubier) que pour les tubercules (souchet à tubercule ou cyperus), le nombre de

repousses régénérées à partir de ces organes est inversement proportionnel à la profondeur de leur enfouissement. Le séjour des organes végétatifs à une profondeur donnée affecte aussi leur capacité régénérative lorsqu'ils sont ramenés à une profondeur optimale. Des fragments de racines verticales (10 cm de longueur) de la morelle jaune ont été prélevés à différents horizons du sol et plantés dans des pots, à une profondeur de 2 cm, pour tester leurs capacités régénératives. Les fragments prélevés à une profondeur située entre 0 et 10 cm ont donné 45 repousses/pot contre 22, 15, 8 et 5 repousses/pot, respectivement pour les profondeurs de prélèvement situées entre 10 et 25, 25 et 50, 50 et 75 et 75 et 100 cm (Tahri, 1987). L'effet de la profondeur d'enfouissement n'agit pas en soi, mais plutôt via la variation de la température, l'humidité, la lumière, les concentrations des gaz, l'activité des microorganismes, etc. dans chaque horizon du sol. Ces facteurs sont connus pour leurs actions sur la viabilité, la dormance et les conditions de croissance des bourgeons végétatifs d'un sol.

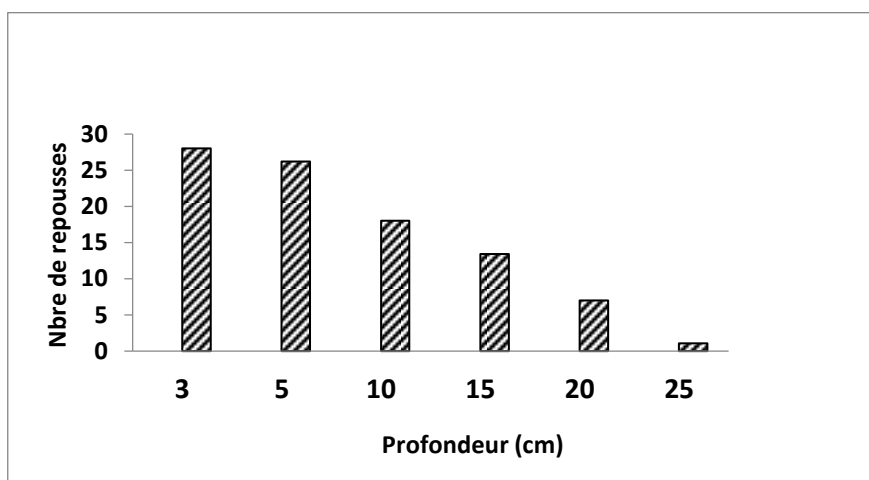


Figure 9.7: Effet de la profondeur d'enfouissement sur la régénération des rhizomes du liseron des champs (Baye, 2016).

4.3. Température

La température est un facteur environnemental qui influe beaucoup sur la régénération et qui détermine la période de régénération des adventices, surtout dans les régions tempérées. Comme les semences, les bourgeons végétatifs ont

aussi des températures minimales, optimales et maximales de régénération. Pour déceler les exigences thermiques de la régénération végétative de la morelle jaune au Tadla, des fragments de racines de 5 cm de longueur ont été plantés dans des bacs et soumis à une série de températures. La régénération et levée de ces fragments n'a eu lieu qu'à des températures supérieures à 15°C. Mais, ce sont les températures comprises entre 22 et 30°C qui sont les plus favorables ou optimales (Fig. 9.8). Au-delà de 30°C, toute élévation de la température entraîne une baisse de la régénération végétative. Ceci confirme bien qu'il s'agit d'une adventice printanière et/ou estivale. Au Tadla, ces conditions sont fréquentes entre le mois de février et juillet (Baye, 2004). D'ailleurs la régénération de la morelle jaune est fréquemment observée à partir du février dans cette région (Fig. 9.4). Pour plusieurs espèces, la régénération végétative est stimulée surtout par l'alternance des températures. Effectivement, beaucoup de vivaces régénèrent mieux dans les horizons superficiels du sol où l'alternance de températures est fréquente, comparativement aux horizons profonds.

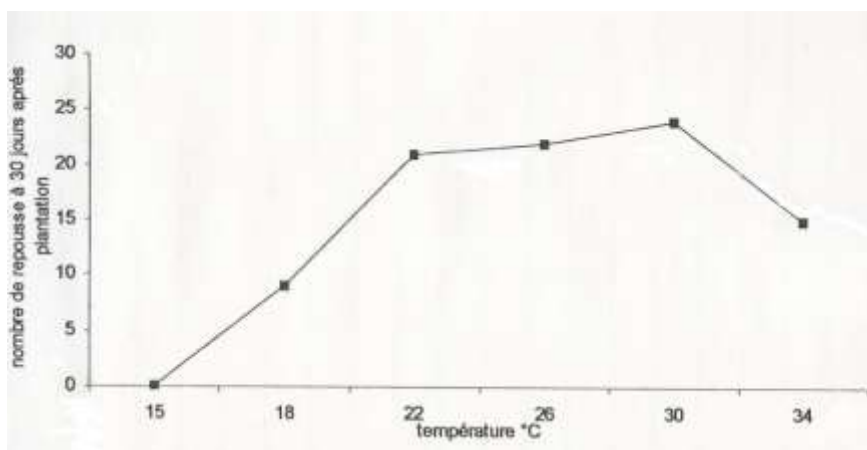


Figure 9.8: Effet de la température sur la régénération végétative des fragments de racines de la morelle jaune (Baye, 2004).

4.4. Humidité

L'humidité du sol est indispensable pour la régénération végétative et la levée des vivaces. Si la température détermine la période de la régénération, l'eau du sol agit

sur le moment de déclenchement de ce processus de régénération. Ce dernier commence par l'imbibition des bourgeons végétatifs et la remobilisation des solutés hydrosolubles. De même, la croissance des jeunes repousses dépend de la disponibilité de l'eau dans le milieu de croissance. Le besoin en eau varie d'une espèce à l'autre. L'étude de l'effet de l'humidité du sol sur la régénération de la morelle jaune a permis de montrer que le maximum de régénérations des fragments souterrains verticaux est obtenu quand le sol reçoit les 2/3 de l'humidité de saturation (Hcc) avec trois irrigations espacées d'une semaine (Ameur *et al.*, 2004). L'effet de trois régimes d'irrigation sur la régénération des tubercules de *C. rotundus* a révélé que l'absence d'irrigation a empêché la régénération et la levée des tubercules (Omezine et Harzallah-Skhiri, 2009). Cependant, la production maximale de nouveaux rejets est obtenue dans le cas d'irrigation journalière avec 3 repousses/tubercule. Une irrigation par semaine a permis la production d'une seule repousse /tubercule (Tableau 5.2).

4.5. Fertilité du sol

La fertilisation joue un rôle très important sur la croissance des plantes ainsi que sur la régénération végétative des vivaces. Une fertilisation abondante supporte la formation des bourgeons végétatifs, lève leur dormance et facilite la croissance de nouveaux rejets. Cependant, un effet opposé peut être aussi noté chez certaines espèces (Klimesova et Martinkova, 2004). Aldrich (1984) a rapporté plusieurs travaux qui montrent l'effet de la fertilisation azotée sur la régénération des rhizomes d'*Agropyron repens* et du *Sorghum halepense*. Chez la première espèce, il a été montré que la richesse du sol en azote est associée à la concentration de l'azote dans ses rhizomes. En outre, les rhizomes riches en azote régénèrent mieux que ceux ayant une faible concentration d'azote. Chez le sorgho d'Alep, la régénération des bourgeons végétatifs latéraux est favorisée par la présence de l'azote dans le milieu. Ainsi, le taux de régénération des rhizomes était de 73,9% pour la dose élevée de l'azote contre 33% pour la dose la plus faible (Aldrich, 1984).

Page laissée vierge

Troisième partie:
Interactions cultures-adventices

Page laissée vierge

Chapitre 10: Compétition

1. Définition et signification écologique

La compétition est un phénomène écologique important pour une communauté d'espèces végétales car elle contribue à son organisation dans l'espace et à sa dynamique dans le temps. Dans un peuplement de végétaux, la présence d'une plante change l'environnement des plantes voisines, ce qui se répercute sur leur croissance et leur forme. Chez certaines espèces, la compétition constitue ainsi une stratégie évolutionniste qui leur permet de se maintenir dans différents environnements (Grime, 1974). Les interactions biologiques entre les plantes peuvent être établies sur la nature des effets observés sur chaque plante participante dans un peuplement ou sur les processus ou causes qui sont derrière ces interactions. Cependant, la nature des interactions reste la base de classification des relations entre les plantes la plus utilisée (Caussanel, 1989).

Généralement, la notion de concurrence est utilisée pour désigner toute interaction biologique entre les plantes d'un agroécosystème. Ainsi, deux plantes ont une croissance et un développement normaux lorsqu'elles sont séparées dans l'espace ou dans le temps, mais déprimées, au moins pour l'une d'elles, à l'état associé. Dans une culture infestée par les adventices, il existe quatre situations de concurrence : intraspécifique ou même intravariétale entre les individus d'une même espèce ou d'une variété cultivée, intraspécifique entre les individus d'une même espèce adventice, interspécifique entre les individus de plusieurs espèces adventices et interspécifique entre les individus de la culture et des adventices. Cette dernière situation reste la plus étudiée et documentée par les malherbologistes et/ou les agronomes et la plus considérée dans un programme de désherbage, alors que l'exploitation des autres situations pourrait rendre service à l'agriculteur en termes de gestion des adventices (Aldrich, 1984).

Théoriquement, 81 interactions possibles existent entre les plantes, mais seulement une dizaine a une signification biologique dont six sont importantes dans les milieux cultivés (Caussanel, 1989). Ces interactions peuvent être neutres, positives ou négatives (Tableau 10.1). La compétition fait partie des interactions négatives à côté de l'allélopathie (amensalisme), du parasitisme et de la nuisibilité réelle, primaire est directe selon Caussanel (1989). Ce dernier rapporte que la compétition se définit comme étant la concurrence qui s'établit entre plusieurs organismes pour une même source d'énergie ou de matière lorsque la demande est en excès sur les disponibilités. Harper (1977) a identifié quatre mécanismes qui permettent à deux espèces de coexister dans un milieu: besoins en substances nutritives différents, causes de mortalité différentes, sensibilité aux toxines différentes et demandes vis-

à-vis des facteurs de croissance différées dans le temps. Les deux mécanismes liés aux besoins et aux demandes reviennent au phénomène de compétition. En définitive, la compétition entre deux plantes est déclenchée lorsque l'offre du milieu est inférieure à leur demande simultanée. Bien que les champs soient infestés par une panoplie d'espèces, seulement quelques unes dominent un peuplement en s'accaparant des ressources ou facteurs du milieu aux dépens des autres espèces. Ainsi, les espèces qui arrivent à changer l'environnement de celles avoisinantes sont considérées comme dominantes. L'élimination de ces dernières (suite à un désherbage ciblé) pourrait aussi changer l'environnement des espèces non éliminées.

Tableau 10.1: Interactions biologiques entre deux organismes ou populations A et B (Source: Caussanel, 1989).

Nom de la situation	Etat isolé		Etat associé	
	A	B	A	B
Neutralisme ou indépendance	0	0	0	0
Mutualisme ou coopération	0	0	+	+
Commensalisme	0	0	0	+
Compétition	0	0	-	-
Amensalisme	0	0	-	0
Parasitisme	0	-	-	0

0: croissance et développement non modifiés, +: augmentation de croissance et développement, -: réduction de croissance et développement.

2. Eléments de la compétition

Aussi bien les adventices que les cultures ont besoin des mêmes ressources du milieu pour leur croissance et développement. Il est fréquent d'observer durant le cycle des plantes que ces ressources deviennent limitatives à un certain moment du cycle. Cette limitation s'accroît avec le rapprochement des plantes entre elles, ce qui entraîne une situation de compétitions souterraine et aérienne. Ces dernières dépendent de deux catégories de facteurs, les ressources du milieu et les conditions environnementales. Les ressources consommables comprennent essentiellement l'eau, la lumière et les substances nutritives. Généralement, la disponibilité du gaz carbonique (CO₂) et de l'oxygène (O₂) ne pose pas de problème, mais ces gaz peuvent être limitatifs dans certaines situations.

2.1. Espace

L'espace vis-à-vis duquel se fait la compétition renferme les ressources consommables et épuisables. Ainsi, l'espace est considéré comme le premier élément pour lequel la compétition se fait entre les plantes d'une communauté végétale. Certains chercheurs sous-estiment l'importance de cet élément et ne le considèrent que lorsqu'il y ait un décalage dans la levée des espèces ou des plantes. En d'autres termes, les plantes qui lèvent les premières bénéficient mieux de l'espace que celles qui apparaissent tardivement (Zimdahl, 2007). D'autres considèrent que la compétition ne se fait pas vis-à-vis de l'espace lui-même, mais plutôt vis-à-vis de son contenu. L'accaparement de l'espace physique (sol) est plus remarquable dans le cas des adventices vivaces qui couvrent une partie importante du sol au détriment des cultures ou d'autres espèces adventices. Une étude de l'impact du jujubier sur les cultures de la Chaouia a permis de montrer que les touffes de cette adventice arrivent à couvrir en moyenne 19% de la surface agricole de la région avec 9, 7 et 27%, respectivement dans les zones favorables, intermédiaires et défavorables (Rsaissi *et al.*, 2012a). L'occupation du sol par le jujubier est très importante dans les zones défavorables puisque 27% des terres ne sont pas cultivables ou exploitables pour la production agricole tant que ces touffes ne sont pas éliminées.

2.2. Eau

L'eau est un facteur environnemental qui limite la production agricole surtout dans les régions arides et semi-arides où cet élément vital fait défaut durant les périodes sèches et devient de plus en plus rare suite au changement climatique. Dans ces milieux fragiles, toute goutte d'eau doit être épargnée et/ou bien utilisée pour produire le maximum possible de denrées. La jachère travaillée ou l'adoption de la technique de semis direct ne sont que des exemples de mesures techniques qui permettent d'atteindre cet objectif. En général, 1 à 3% de l'eau absorbée est utilisée pour la photosynthèse, alors que 97 à 99% est perdue par évapotranspiration (Aldrich, 1984). En outre, pour une même surface foliaire, certaines adventices arrivent à évapotranspirer 2 à 3 fois (sinon plus) que les cultures.

Généralement, la compétition vis-à-vis de l'eau du sol se déclenche avant la compétition vis-à-vis de la lumière car, durant les premiers stades, la croissance et le développement du système racinaire sont plus importants et rapides que ceux de la partie aérienne. L'utilisation d'une partie de la ressource en eau par les adventices entraîne un déficit hydrique qui peut avoir des conséquences parfois graves sur la croissance et le développement des cultures. La capacité compétitive des adventices vis-à-vis de l'eau varie d'une espèce à l'autre et dépend de la profondeur d'enracinement, du volume de sol exploité par le système racinaire, de

la vitesse de croissance racinaire et des moments où les demandes vis-à-vis de l'eau sont élevées.

Dans les conditions du Tadla, la présence de la morelle jaune dans le cotonnier irrigué a été derrière la réduction de l'humidité du sol de 24, 26 et 24%, respectivement dans les horizons du sol de 0-20, 20-40 et 40-60 cm de profondeur à 10 semaines après la levée de la culture (Tableau 10.2). Pour les mêmes horizons, ces pertes étaient de 25, 19 et 28% à 15 semaines après la levée du cotonnier (Zarouali, 1990). Comparativement à un maïs propre, les réserves en eau du sol portant le maïs, infesté par une flore adventice dominée par les graminées estivales, ont accusé une réduction de 57, 43, 70 et 41 mm sur une profondeur de 60 cm, respectivement aux stades 6-7 feuilles, fécondation, grain pâteux et à la récolte du maïs (Bouhache *et al.*, 1989). Ces pertes d'eau auraient certainement un effet négatif sur la production et l'Efficiencia d'Utilisation de l'Eau (EUE) des cultures. Hamal (1993) a montré, sur la base d'un essai dans la région de Meknès, que l'EUE pour le grain d'un champ du blé dur, infesté par une flore adventice dominée par le brome, est réduite de 64%, comparativement à une culture du blé bien désherbée ou propre. La réduction d'EUE d'une culture infestée signifie que cette dernière a besoin de plus d'eau pour produire la même quantité de matière sèche qu'une autre sans adventices.

Tableau 10.2: Effet de la durée de compétition de la morelle jaune avec le cotonnier sur l'humidité volumétrique du sol au Tadla (Zarouali, 1990).

Durée de compétition	Situations	Horizons du sol (cm)		
		0 – 20	20 – 40	40 - 60
		Humidité du sol (%)		
5 SAL*	Cotonnier propre	42,9	41,2	47,5
	Cotonnier infesté	41,7	39,2	44,8
	% de réduction	2,7	4,9	5,9
10 SAL	Cotonnier propre	36,6	38,2	44,6
	Cotonnier infesté	27,9	28,3	33,8
	% de réduction	23,7	25,8	24,0
15 SAL	Cotonnier propre	35,9	33,3	40,5
	Cotonnier infesté	27,0	27,0	29,1
	% de réduction	24,9	18,8	28,0

* : Semaines après la levée du cotonnier

2.3. Substances nutritives

Les cultures et les adventices ont besoin des macronutriments (ex. l'azote, le phosphore, le potassium, etc.) et des micronutriments (ex. le fer, le zinc, le bore, etc.) pour leurs croissance et développement. Les plantes qui arrivent à accaparer ces nutriments du sol croissent rapidement et entrent en compétition pour la lumière et l'eau (Zimdahl, 2007). L'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K) et dans une certaine mesure le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) sont des nutriments essentiels pour lesquels la compétition se déclenche dans les milieux cultivés. Ces substances nutritives sont plus considérées dans les études du phénomène de compétition entre les plantes. L'azote est le premier nutriment du sol à être épuisé lors de la compétition entre les adventices et les cultures. Comparativement à l'azote, le phosphore et le potassium sont moins mobiles dans la solution du sol, et par conséquent, la compétition vis-à-vis de ces deux éléments se fait d'une façon moins rapide et ne s'établit que lorsque les plantes sont plus développées et que leurs racines sont entremêlées.

Des expérimentations sur la compétition entre le riz et deux principales graminées adventices des rizières (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*) ont été conduites sous serre et dans les conditions d'inondation permanente (Bouhache, 1989). La détermination des teneurs en azote, en phosphore et en potassium des parties aériennes, a permis de prouver que les trois espèces étaient en compétition sévère pour ces macronutriments. La compétitivité de ces espèces, déterminée sur la base de l'indice RCC (relative crowding coefficient), a montré qu'*E. crus-galli* est 15, 12 et 17 fois plus compétitive que le riz respectivement pour l'azote, le phosphore et le potassium, alors qu'*E. phyllopogon* est 4, 5 et 2 fois plus compétitive que le riz (Tableau 10.3). En outre, ces données permettent également de souligner que la première graminée est plus agressive ou dangereuse vis-à-vis du riz que la seconde.

Tableau 10.3: Compétitivité du riz et deux adventices vis-à-vis de l'azote, du phosphore et du potassium (Bouhache, 1989).

Nutriment	Combinaison des espèces (A-B)	RCC _A [*]	RCC _B	RCC _A / RCC _B
Azote	<i>Echinochloa crus-galli</i> - Riz	4,20	0,27	15,0
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	2,36	0,52	4,5
Phosphore	<i>Echinochloa crus-galli</i> - Riz	3,63	0,30	12,1
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	2,68	0,55	4,9
Potassium	<i>Echinochloa crus-galli</i> - Riz	4,35	0,26	16,7
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	1,77	0,76	2,3

* : Indice de compétitivité de l'espèce A

Le contact entre le système racinaire des plantes et les nutriments du sol est assuré par trois mécanismes, a) l'interception (extension et déplacement des racines dans le profil d'un sol), b) le transport par le mouvement de l'eau du sol (flux de masse) vers les racines et puis vers la partie aérienne suite à l'évapotranspiration et c) la diffusion à partir des particules du sol selon des gradients de concentrations. Une fois arrivés à la surface de la racine, les cations vont diffuser du milieu externe vers le milieu interne des racines ou grâce au mécanisme du transport actif. La quantité des nutriments absorbée varie d'une espèce à l'autre (Tableau 10.4) et dépend du volume du sol occupé par le système racinaire de chaque plante, la surface externe des racines, la capacité d'utilisation des nutriments de chaque espèce et la distribution spatiale des plantes dans le milieu. L'apport des fertilisants améliore certainement la croissance des cultures, mais il accentue la problématique des adventices. Souvent, les adventices bénéficient plus de cet apport plus que les cultures. Ainsi, il est déconseillé d'épandre des engrais de couverture sur une culture avant l'opération de désherbage. Cet avantage des adventices est dû à leur absorption excessive (consommation de luxe) des nutriments qui dépasse leur besoin (Tableau 10.4). Ce comportement a été mis en évidence expérimentalement et au champ par Qasem (1992). Cet auteur a analysé le teneur en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium des adventices associées à la culture d'haricot. Comparativement aux teneurs d'haricot (100% = teneur relative), il a montré que généralement les adventices consomment plus de nutriments qu'il en faut (Tableau 10.4). Toute teneur relative qui dépasse 100% signifie une consommation excessive de la part des adventices.

Tableau 10.4: Comparaison entre les teneurs relatives en nutriments des adventices associées à la culture d'haricot (Qasem, 1992).

Espèces	N	P	K	Ca	Mg
Haricot (culture)	100*	100	100	100	100
<i>Chenopodium murale</i>	119	111	154	49	198
<i>Cichorium pumilum</i>	141	168	160	77	123
<i>Malva sylvestris</i>	172	171	139	117	114
<i>Sonchus oleraceus</i>	156	147	174	57	100
<i>Portulaca oleracea</i>	160	116	177	100	193
<i>Sisymbrium irio</i>	149	153	154	79	109
<i>Rumex obtusifolius</i>	146	168	185	42	164

* : teneur relative

2.4. Lumière

La photosynthèse est un processus physiologique par lequel la lumière solaire ou énergie solaire est transformée en biomasse ou énergie chimique. Ainsi, la lumière est une ressource environnementale nécessaire pour la croissance et le développement des plantes. Contrairement à l'eau et aux nutriments, la lumière n'est pas présente dans le sol, non stockable et non transférable d'une feuille éclairée à une feuille ombragée. La lumière doit être utilisée immédiatement dès sa réception sinon elle est perdue pour toujours. Avec ses trois composantes (durée, quantité et qualité), la lumière est un facteur environnemental actif dans la régulation de la croissance et du développement des cultures et des adventices. La compétition vis-à-vis de la lumière est très intense dans les milieux bien fertilisés et ayant une humidité du sol adéquate, car les plantes croissent vigoureusement et développent une grande surface foliaire.

La compétition vis-à-vis de la lumière se déroule au dessus du sol, au niveau de la partie aérienne des plantes, et plus particulièrement au niveau des feuilles. La lumière interceptée par les feuilles est réfléchiée, absorbée, convertie en produits photosynthétiques et en chaleur et enfin transmise. La qualité de la lumière transmise par les feuilles change suite à sa filtration à travers le feuillage. Les plantes ayant une surface foliaire importante sont plus avantagées que celles présentant une faible surface foliaire. Effectivement, plusieurs études ont montré que l'indice foliaire (LAI) d'une plante est corrélé à son potentiel d'interception de la lumière (Zimdahl, 2007). Tout facteur qui influe sur l'interception et/ou l'absorption de la lumière est un facteur actif sur la compétition vis-à-vis de la lumière. Généralement, les feuilles du sommet, les feuilles disposées horizontalement et/ou les feuilles alternes sont plus avantagées que les feuilles basales, inclinées et/ou opposées. En plus, les plantes hautes ou érigées sont plus compétitives vis-à-vis de la lumière que les plantes basses et/ou prostrées.

Généralement, le maximum de photosynthèse, de croissance et de développement des plantes est obtenu en pleine lumière. Ainsi, toute réduction de l'intensité de la lumière entraîne une réduction des performances des plantes ombragées. La compétition vis-à-vis de la lumière est un phénomène très fréquent dans les milieux cultivés sauf dans les situations où les plantes sont très jeunes ou très éparpillées dans l'espace. La compétition vis-à-vis de la lumière a été étudiée en plein champ au Tadla entre le cotonnier et la morelle jaune. L'adventice a privé la culture d'une quantité importante du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) de la levée jusqu' à la 13^{ème} semaine après la levée de la culture. Durant cette période, le taux d'interception du PAR par la morelle jaune a varié entre 13 et 25% (Tableau 10.5). Au-delà de la 13^{ème} semaine, la hauteur de l'adventice a été dépassée par celle du

cotonnier et l'interception de la lumière par la culture a été améliorée (Zarouali, 1990).

Tableau 10.5: Interception du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) par la morelle jaune en compétition avec le cotonnier au Tadla (Zarouali, 1990).

PAR ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)*	Semaines après la levée du cotonnier				
	5	7	9	11	13
Lumière incidente	1920	1920	1905	1860	1920
Lumière interceptée	384	405	474	384	255
Taux d'interception (%)	20	21	25	21	13

* Mesures prises à midi.

3. Facteurs actifs sur la compétition

Bien que le nombre de ressources pour lesquelles se déclenche la compétition entre les plantes soit faible, l'interaction entre une multitude de facteurs rend le phénomène de compétition très complexe (Aldrich, 1984). De ce fait, Caussanel (1989) a souligné que les relations entre les plantes cultivées et les adventices devraient être considérées sous leurs aspects démographiques, génétiques et fonctionnels. Les aspects fonctionnels sont relatifs au fonctionnement intégré des plantes suite à leurs réactions physiologiques, de croissance et de développement aux conditions fournies par l'environnement. En plus des ressources offertes par le milieu, le phénomène de compétition dans un agroécosystème dépend des caractéristiques des adventices et des cultures qui sont elles-mêmes liées aux conditions édaphoclimatiques et aux autres ennemis de cultures. Ainsi, l'interaction entre ces facteurs détermine le degré de compétitivité vis-à-vis des ressources du milieu ou l'agressivité de chaque espèce impliquée dans ces relations (Fig. 10.1). En général, toute unité de croissance ou de développement gagnée par les adventices correspond à une perte équivalente chez la culture. En outre, la compétition est très sévère entre les espèces ou les plantes qui ont la même demande pour les ressources de l'environnement.

Dans les conditions du Gharb, une étude sur l'impact des adventices sur le rendement du blé a permis de montrer que les pertes de production dépendent surtout de la nature des adventices infestant le champ (Tableau 10.6). Ainsi, les pertes ont été de 20, 38 et 49% dues respectivement aux graminées, aux dicotylédones et aux dicotylédones + graminées (Bouhache *et al.*, 1999). La

compétitivité varie aussi d'une espèce à l'autre au sein de la même classe des adventices (Tableau 10.4). Quant au tableau 10.3, il montre qu'une différence de compétitivité pourrait exister même entre les espèces d'un genre puisqu'*Echinochloa crus-galli* est plus agressive qu'*Echinochloa phyllopogon* vis-à-vis de la culture du riz. A l'instar des adventices, le type de culture ou la variété (ou le cultivar) influe beaucoup sur la compétition entre ces dernières et les adventices. Plusieurs études ont démontré expérimentalement que les variétés du blé cultivées au Maroc ont des réactions compétitives différentes vis-à-vis des adventices associées. Par exemple, la comparaison de dix variétés du blé tendre dans les conditions de la Chaouia a permis de montrer que certaines variétés ont réduit la densité et/ou la biomasse sèche des adventices dicotylédones, ce qui reflète les différences de compétitivité entre les variétés (Fig. 10.2).

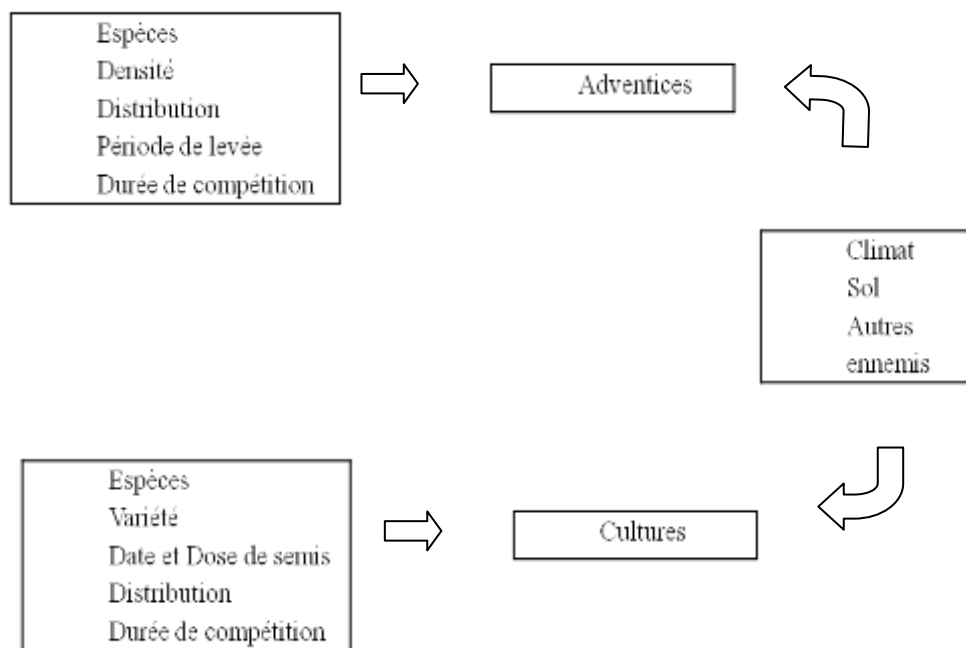


Figure 10.1: Principaux facteurs modifiant la compétition des adventices dans une culture (Source: Aldrich, 1984).

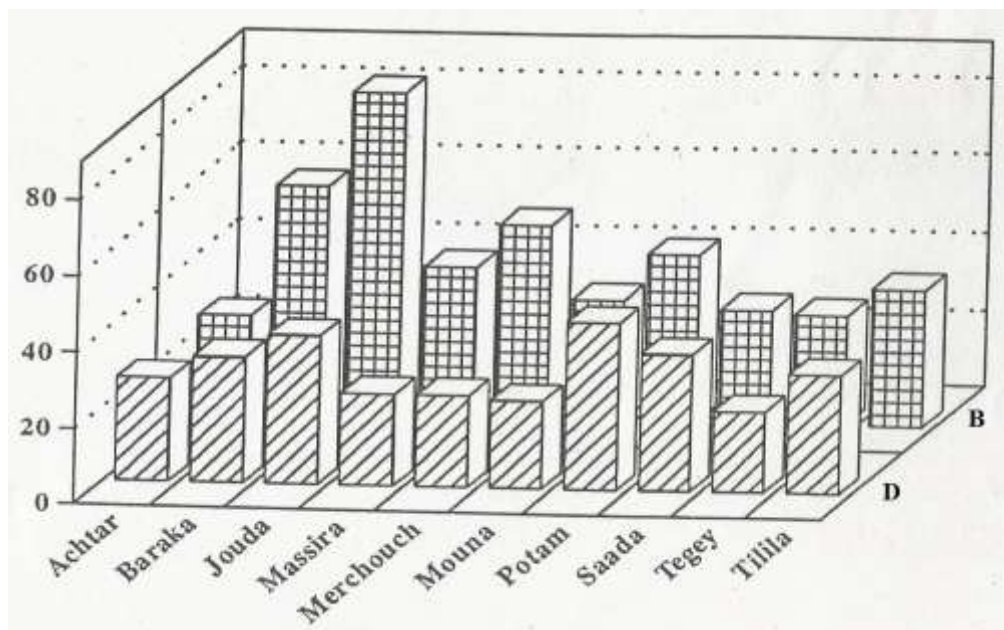


Figure 10.2: Effet des variétés du blé tendre sur la densité (D) et le poids sec (B) des adventices dicotylédones au stade épiaison (Maata, 1996).

La densité, la distribution spatiale, la période de compétition et la durée de compétition sont des aspects démographiques qui changent l'interaction entre une culture et les adventices associées. La densité ainsi que le moment et la durée de compétition restent les paramètres les plus utilisés dans les études sur la compétition entre les plantes. Caussanel (1989) a rapporté que plusieurs fonctions classiques ont été proposées pour estimer l'effet de la densité des adventices sur le rendement des cultures et déterminer les seuils biologiques et économiques de leur nuisibilité. Quatre modèles sont fréquemment utilisés dont l'hyperbole rectangulaire reste le plus utilisé pour décrire les pertes de rendement d'une culture en fonction de la densité d'une adventice (Fig. 10.3). Généralement, plus la densité des adventices est grande, plus les individus des adventices sont proches de ceux de la culture, plus la compétition est précoce et plus la durée de compétition est prolongée, plus la culture souffre énormément de ce voisinage.

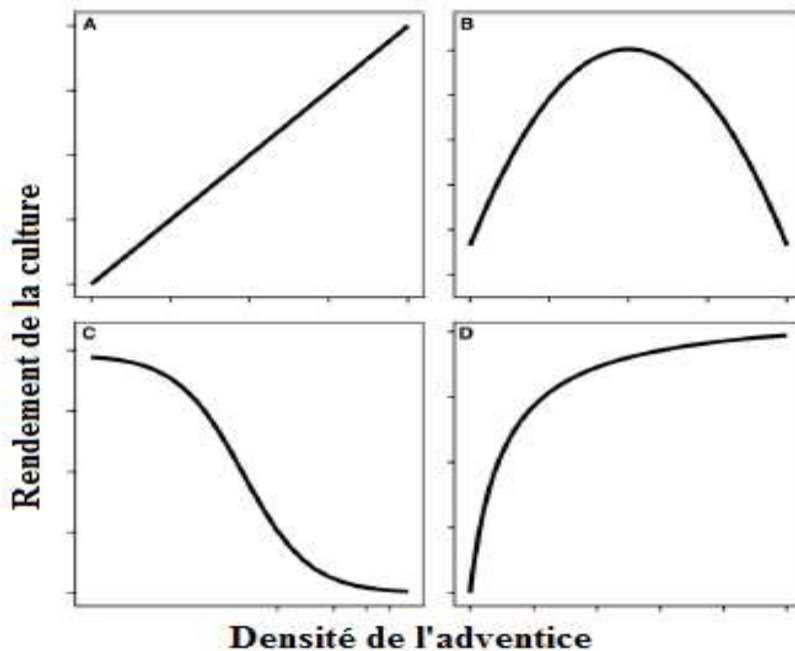


Figure 10.3: Principaux modèles décrivant la relation entre la densité d'une adventice et le rendement d'une culture, linéaire (A), quadratique (B), sigmoïdal (C) et hyperbole rectangulaire (D).

Dans un essai au champ à Sidi El Aidi (Chaouia), Tanji (1994) a montré que la compétition entre le ray-grass (*Lolium rigidum*) et la variété « Nesma » du blé tendre dépend de la densité de l'adventice et du peuplement de la culture (Fig. 10.4). Dans cette expérimentation, le ray-grass n'est compétitif qu'à une densité de 400 pieds/m² et lorsque le peuplement du blé est réduit à 130 pieds/m². Une étude relative à l'effet des durées de compétition précoce et tardive des adventices, dominées par les graminées vivaces, sur les performances de la canne à sucre a été conduite au champ dans le périmètre irrigué de Loukkos (Raji, 1995). Il ressort de cet essai que plus la durée de compétition précoce est grande, plus le rendement de la canne est réduit (Fig. 10.5). Cependant, plus la durée de propreté de la canne (compétition tardive) est prolongée, plus le rendement est moins affecté par la compétition des adventices. Ainsi, les adventices qui s'installent de 120 à 290 jours après émergence de la canne n'ont pas d'effet sur le rendement en cannes usinables (Fig. 10.5).

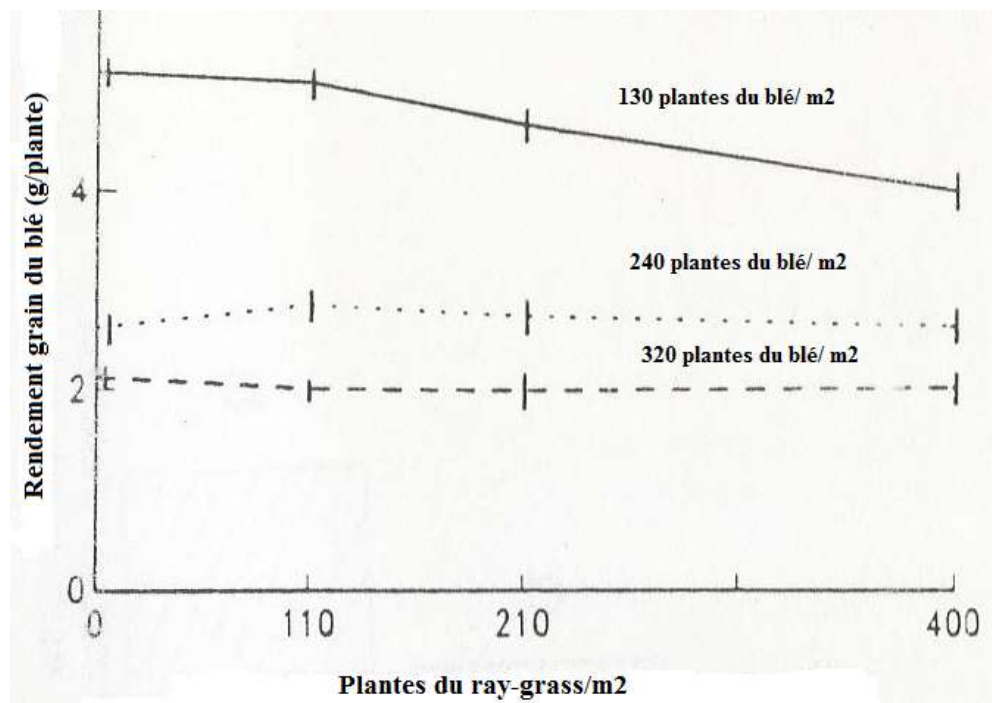


Figure 10.4: Effet de la densité du blé et du ray-grass sur le rendement grain du blé à Sidi El Aidi en Chaouia (Tanji, 1994).

Bien que les adventices et les cultures soient soumises aux mêmes conditions édaphoclimatiques, leurs réactions à ces conditions ne sont pas les mêmes. La variation des conditions climatiques d'une saison à l'autre ou d'une année à l'autre a un effet certain sur les niveaux des pertes de rendement des cultures et la compétitivité des adventices, et rend l'interprétation des données relatives à la compétition entre les cultures et les adventices confuse. Pour ces raisons, il est difficile de déterminer un niveau spécifique de pertes de rendements même pour les principales cultures en association avec les adventices dans une région (Radosevich *et al.*, 1997). Maataoui *et al.* (2005) ont étudié l'effet de l'humidité du sol sur la compétition du colza (*Brassica napus*) et deux adventices de la même famille (*Sinapis. alba* et *Sinapis arvensis*). A une humidité équivalente à la capacité au champ (Hcc), la hiérarchie de compétitivité de ces espèces est: *B. napus* > *S. alba* > *S. arvensis*. Alors qu'à 70% de Hcc, *B. napus* = *S. alba* > *S. arvensis*. Le type de

sol influe aussi sur la compétition entre les plantes. Par exemple, pour un sol sablo-limoneux, les réductions de rendement en fibres du cotonnier due à la compétition de deux adventices, *Ipomoea purpurea* et *Cassia obtusifolius*, ont été respectivement de 25 et 27%. Ces pertes ont atteint 65 et 40%, respectivement pour les mêmes adventices en compétition avec le cotonnier sur un sol sablo-argilo-limoneux (Anderson, 1983). Les cultures et les adventices sont sujettes aux maladies et aux attaques d'insectes nuisibles. Ceci pourrait diminuer la vigueur d'une culture et/ou de certaines adventices. Ainsi, l'action négative de ces ennemis de cultures change inéluctablement les interactions entre les cultures et les adventices, ce qui aggrave les pertes de production d'une culture (Tableau 10.6).

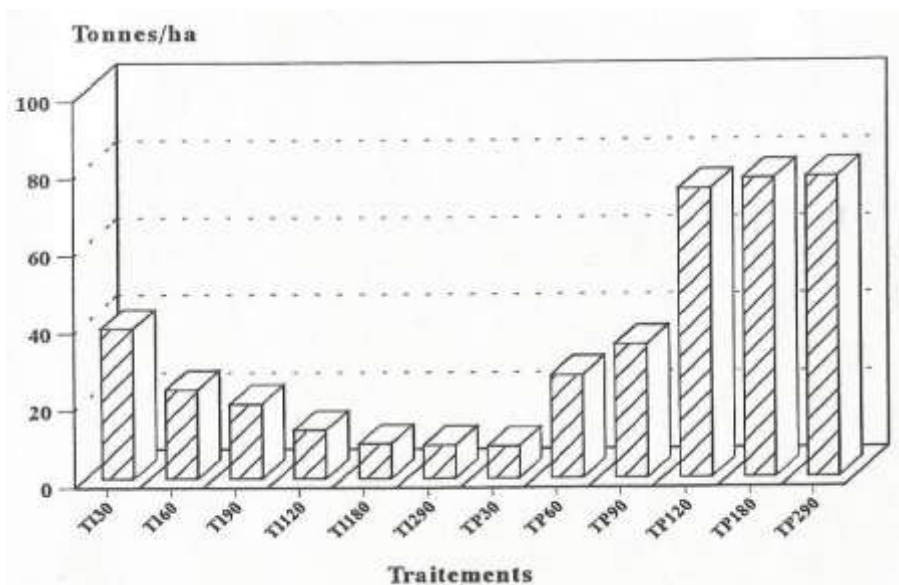


Figure 10.5: Effet des durées (30 à 290 jours après émergence de la canne) de compétition précoce (TI) et de maintenance en propre (TP) sur le rendement en cannes usinables (Raji, 1995).

Tableau 10.6: Effet de l'interaction entre la nature des adventices et la septoriose sur le rendement du blé au Gharb (Bouhache *et al.*, 1999).

Nature des adventices	% de réduction de rendement du blé			
	Adventices		Septoriose	Adventices + Septoriose
	Septoriose contrôlée	Septoriose non contrôlée		
Graminées	20,3	22,1	31,1	45,1
Dicotylédones	38,1	38,0	29,3	56,3
Graminées + Dicotylédones	48,5	49,3	30,6	64,3

4. Caractéristiques des adventices compétitives

En termes de gestion des adventices dans un agroécosystème, il est intéressant de repérer l'espèce ou les espèces compétitives pour les cibler en adoptant les mesures appropriées à temps. D'où l'importance de la connaissance des traits qui font qu'une espèce est plus agressive que d'autres. En principe, toutes les plantes d'un milieu sont potentiellement compétitrices du moment qu'elles utilisent les mêmes ressources de ce milieu. Cependant, les plantes compétitives sont celles qui ont la capacité d'accaparer rapidement les ressources du milieu au détriment des autres plantes voisines ou qui sont capables de continuer leurs croissance et développement même à un niveau élevé d'épuisement des ressources (Radosevich *et al.*, 1997). La majorité des études sur le phénomène de compétition, dans les milieux cultivés, considère le niveau du rendement récolté comme indicateur de l'impact des adventices sur une culture. Malheureusement, peu de recherches ont essayé de déceler la liaison entre les traits spécifiques des plantes et leur compétitivité.

La compétition entre les plantes se déroule dans deux compartiments spatiaux différents: sous-sol (compétition souterraine) et au-dessus du sol (compétition aérienne). Pour être compétitive, une espèce devrait être dotée des traits ou des caractéristiques liés à son système racinaire pour bien exploiter les ressources du sol (eau, nutriment et oxygène) ou des traits relatifs à ses tiges et ses feuilles pour capter au maximum et d'une façon instantanée tout photon de lumière incidente. Ainsi, Zimdahl (2007) a énuméré plusieurs caractéristiques des espèces compétitives et qui sont consignées dans le tableau 10.7. En général, il est vrai que les plantes dotées d'un ou de plusieurs traits sont plus compétitives que les plantes n'ayant pas ces traits. Ceci ne veut pas dire qu'une plante ayant certains traits est

toujours compétitive car les facteurs actifs sur la compétition modulent l'interaction entre les plantes dans un milieu.

Tableau 10.7: Caractéristiques des espèces de plantes compétitives (Zimdahl, 2007).

Compétition aérienne	Compétition souterraine
Extension verticale et rapide de la partie aérienne	Pénétration précoce et rapide du système racinaire dans le sol
Position horizontale des feuilles en cas de faible luminosité et oblique en cas de forte luminosité	Rapport parties racinaire et aérienne très élevé
Feuilles larges	Grande densité des racines
Photosynthèse de type C ₄	Racines longues par rapport à leurs poids
Arrangement alterne des feuilles sur la tige pour une bonne interception de la lumière	Grande proportion des racines à croissance active
Plante grimpante comme une liane	Racines avec poils absorbant longs et abondants
Grande allocation de la matière sèche aux tiges	Grande capacité d'absorption de nutriments et de l'eau
Extension rapide des tiges en cas d'ombrage	

En conduisant des essais de compétition binaire entre le riz et deux principales graminées adventices des rizières (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*) et l'analyse de la croissance des individus isolés de la culture et ses adventices, Bouhache (1989) a pu trouver une relation entre la compétitivité des ces espèces et les paramètres de leur croissance (Tableau 10.8). Il a montré, sur la base de régressions multiples, que l'indice de compétitivité (RCC) de ces espèces peut être prédit à partir de deux paramètres de croissance notamment l'allocation de la biomasse aux tiges et le nombre de talles/plante. En effet, l'allocation de la biomasse sèche aux tiges explique 97, 94, 84 et 91% de la compétitivité déterminée respectivement sur la base de la biomasse, l'azote, le phosphore et le potassium. Ces données supportent que la compétitivité relative de ces espèces puisse être prédite comme une fonction de l'allocation de la biomasse aux tiges (Tableau 10.8).

Tableau 10.8: Equations de prédiction de l'indice de compétitivité (RCC) de deux adventices (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*) et du riz à partir des paramètres de croissance (Bouhache *et al.*, 1989).

Base de détermination	Equations	Coefficient de détermination (R ²)
Biomasse sèche	$RCC = -2,72 + 0,12 \text{ SWR} - 0,06 \text{ NBTL}$	0,98
Azote	$RCC = -4,88 + 0,10 \text{ SWR} + 0,008 \text{ SLA}$	0,96
Phosphore	$RCC = 2,27 + 0,24 \text{ SDW} - 0,27 \text{ NBTL}$	0,94
Potassium	$RCC = -13,04 + 0,26 \text{ SWR} + 0,17 \text{ LWR}$	0,96

RCC = Relative Crowding Coefficient, SWR = poids spécifique des tiges, NBTL = nombre de talles /plante, SLA = surface foliaire spécifique, SDW = poids sec des tiges, LWR = poids foliaire spécifique.

5. Retombées économiques de la compétition

L'importance économique de la compétition, entre les cultures et les adventices, sur l'économie d'une exploitation dépend surtout des espèces adventices, de la culture et des conditions où elles croissent côte à côte. L'infestation d'une culture durant tout son cycle pourrait causer des pertes de rendement énormes dans la majorité des cas ou parfois la perte totale de la production. Cette facette est la plus observée par les agriculteurs et les incite à prendre des mesures pour empêcher ou au moins réduire la nuisibilité des adventices. 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 10.9). Bien que ces données soient présentées à titre indicatif (en absence de données officielles), elles démontrent d'une façon évidente que la compétition des adventices réduit la production des cultures de 13 à 94% selon la culture. En outre, l'estimation des pertes de rendement dues à la compétition des adventices varie avec l'estimateur, l'année, la région, le pays, etc. Ces niveaux de pertes interpellent les agriculteurs à faire un bon entretien de leurs cultures afin d'améliorer les productivités et/ou de permettre au pays de s'abstenir à faire appel aux importations.

Tableau 10.9: Pertes de rendement des principales cultures dues à la compétition des adventices au Maroc.

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	75 - 92	Pois-chiche	65

6. Période critique de compétition

6.1. Définition et seuils de détermination

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. 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!

La détermination de la PCC se base sur la compilation des données de deux types d'expérimentations complémentaires. La première expérimentation permet de déterminer le seuil de compétition précoce (Sp) en laissant développer les adventices dans une culture pendant des périodes de plus en plus longues avant de les éliminer (Fig. 10. 6 B, Fig. 10. 7 a). Tandis que la deuxième expérimentation permet de déterminer le seuil de compétition tardif (St) en maintenant propre (sans adventices) une culture depuis sa levée jusqu'à des dates de plus en plus reculées dans le temps (Fig. 10. 6 A, Fig. 10.7 b). La superposition des deux courbes, obtenues à partir des données des deux expériences précédentes, sur le même graphique permet de déterminer la période critique (Tc), située entre Sp et St (Fig. 10.7 c). Explicitement, la présence des adventices dans une culture avant Sp n'a pas d'effet négatif sur son rendement final. Avant ce seuil, les adventices sont encore jeunes et/ou leur densité est faible et les ressources du milieu sont encore abondantes pour satisfaire les besoins exprimés par toutes les plantes. De même, la présence des adventices après St n'a pas de répercussion sur le rendement récolté. Après St, la culture est plus développée et plus compétitive, couvre le sol, domine les adventices, son rendement est presque réalisé et ses besoins sont réduits. La

présence des mauvaises herbes durant Tc est plus nocive sur le rendement escompté. La durée de la PCC indique le nombre d'interventions de désherbage nécessaires pour éviter toute perte de rendement. L'étendu de la PCC change avec le changement des conditions climatiques et les disponibilités des ressources du milieu. Cette variabilité pourrait être atténuée si la PCC est déterminée par rapport aux stades phénologiques de la culture au lieu du temps.

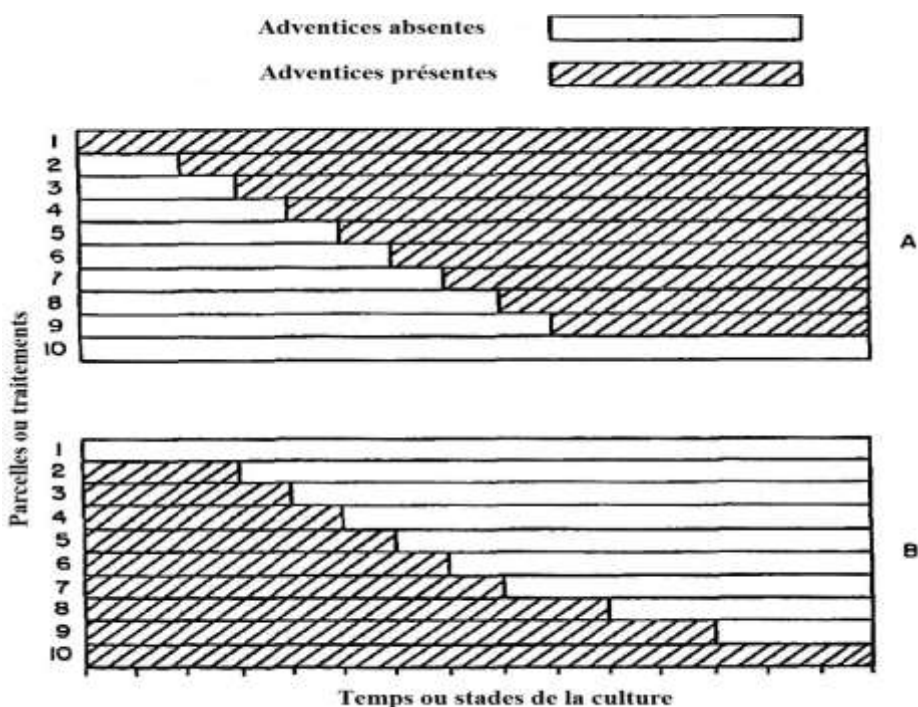
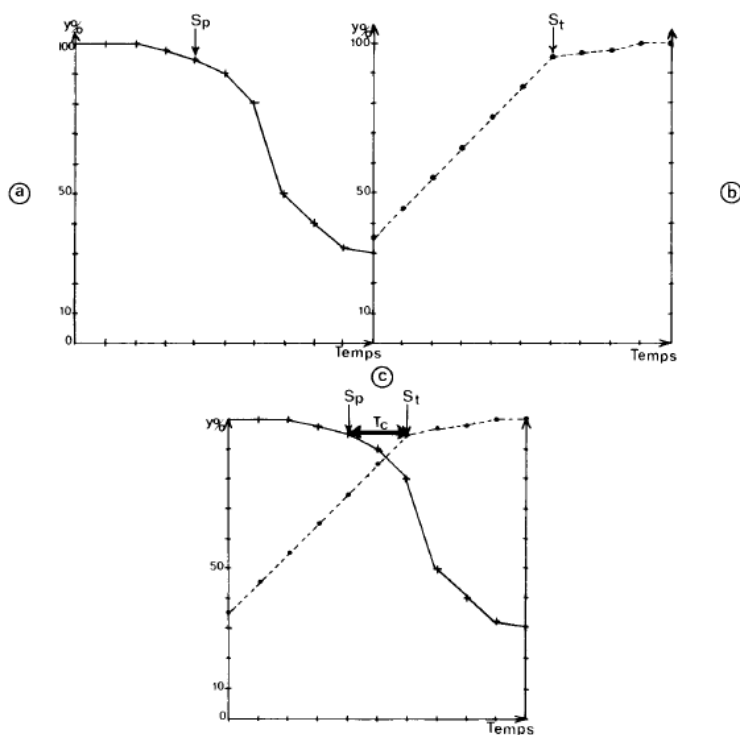


Figure 10.6: Présentation graphique des expériences utilisées pour l'étude de la période critique de compétition.



Détermination de la période critique (d'après Nieto *et al.*, 1968 et Dawson, 1986). a) Relation entre le rendement (en %) et la durée d'enherbement (exprimée en temps). Sp = seuil de concurrence précoce. b) Relation entre le rendement (en %) et la durée de désherbage (exprimée en temps). St = seuil de concurrence tardive. c) Relations entre le rendement (en %) et la période après la levée exprimée en temps. Tc = période critique.

Figure 10.7: Courbes de détermination de la période critique de compétition (Caussanel, 1989).

6.2. Méthodes de détermination

Deux approches ou méthodes sont utilisées pour l'interprétation des données collectées lors des expériences précédentes, l'approche classique et l'approche fonctionnelle. La première méthode consiste à séparer les moyennes des rendements obtenus sur la base des tests de comparaison des moyennes afin d'évaluer l'effet des durées de compétition précoce et tardive sur les rendements de la culture. Cette approche permet de déterminer une seule PCC. La deuxième méthode est basée sur l'ajustement des rendements obtenus à des fonctions. Elle est considérée comme une meilleure alternative à l'approche classique, car elle permet de dépasser les critiques adressées à celle-ci. Dans cette approche, la notion d'une période où les adventices n'ont pas d'impact sur le rendement de la culture est

absente à cause de la relation continue entre la perte de rendement et le temps d'apparition et d'élimination des adventices. La fixation des seuils de perte des rendements permet de déterminer les périodes critiques. Plus le seuil fixé est élevé plus la PCC est étendue (Fig. 10.8). Par exemple, 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 (Fig. 10.8). 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 émergence de la culture (Raji, 1995).

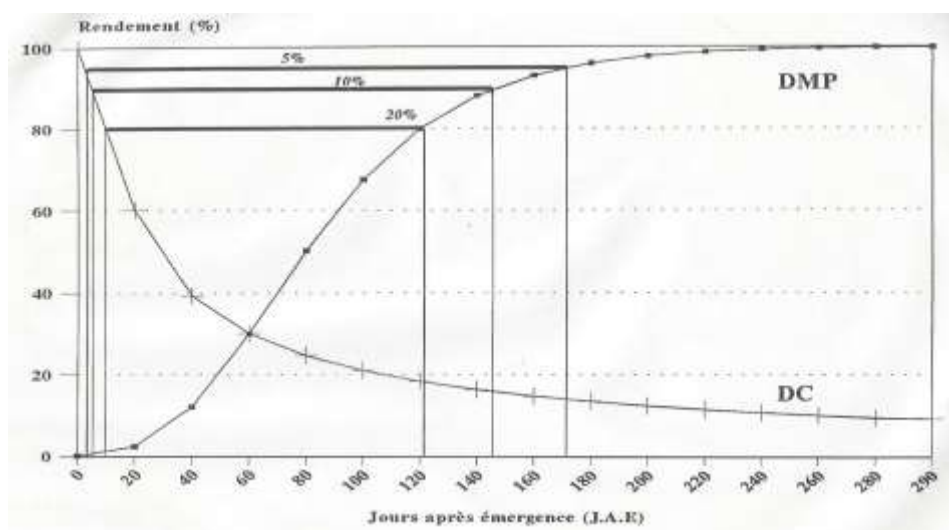


Figure 10.8: Courbes d'ajustement des rendements de la canne à sucre sous l'effet de la compétition des adventices au Loukkos avec DMP: durées de maintenance en pot et DC: durées de compétition (Raji, 1995).

En utilisant les deux approches au Maroc, les PCC ont été déterminées et caractérisées pour le blé, la betterave à sucre, la canne à sucre, le colza et le maïs (Tableau 10.10). Les périodes de compétitions d'une culture ne sont pas fixes mais varient sous l'effet de tous les facteurs actifs sur la compétition rapportés dans la figure 10.1. La connaissance de la PCC d'une culture est nécessaire mais pas suffisante pour raisonner la gestion des adventices dans un milieu cultivé, car la nuisibilité secondaire des adventices n'est pas prise en considération dans sa

détermination. La fixation d'un seuil de perte de rendement dans l'approche fonctionnelle considère indirectement l'aspect économique dans la détermination de la PCC. Ainsi, certains auteurs ont évoqué la détermination de la période critique économique comme l'intervalle de temps pendant lequel le revenu marginal du contrôle des adventices est plus élevé que le coût de l'opération de désherbage. La période critique économique est aussi limitée par les seuils précoce et tardif de la période économique (Sattin et Berti, 2005).

Tableau 10.10: Périodes critiques de compétition de quelques cultures au Maroc.

Cultures	Régions	PCC (seuil toléré)	Références
Approche fonctionnelle			
Canne à sucre	Loukkos	7– 160 JAE (5%)	Raji (1995)
		18 – 140 JAE (10%)	
		23 – 118 JAE (20%)	
Blé dur	Saiss	10 – 116 JAS (8%)	Saffour <i>et al.</i> (2000)
		30 – 100 JAS (16%)	
		46 – 70 JAS (27%)	
Approche classique			
Betterave à sucre	Gharb	12 – 16 SAE	Berrada (1990)
		10 – 18 SAE	Abidi (1991)
	Doukkala	6 – 12 SAE	Link et Koch (1984)
	Tadla	4 – 15 SAE	Baye <i>et al.</i> (2012)
		7 – 12 SAE	
Colza	Saiss	29 – 54 JAS	Rammach (1996)
Maïs (avec Morelle jaune)	Tadla	10 – 13 SAE	Baye et Bouhache (2007)

JAE: jours après émergence, SAE: semaines après émergence, JAS: jours après semis.

Page laissée vierge

Chapitre 11: Méthodes d'étude de la compétition

1. Intérêt des études de la compétition

Considérant les pertes de rendement causées par le phénomène de compétition entre les cultures et les adventices, les chercheurs ont essayé, depuis fort longtemps, de mettre au point des procédures expérimentales appropriées qui permettent de bien comprendre ce phénomène complexe et de le quantifier autant que possible afin de développer les mesures de gestion durable de ces plantes indésirables. L'étude de la compétition fournit aux agriculteurs et gérants des exploitations agricoles des informations sur l'utilité ou la nécessité du contrôle des adventices dans une culture, le moment ou le stade d'intervention et l'impact des composantes d'un système de culture sur l'interaction culture-adventices et la dynamique des populations et leur aptitude à s'adapter ou « fitness ». Ceci permettrait également de prédire le potentiel invasif de certaines espèces ou des biotypes d'une espèce dans un agroécosystème. Ainsi, plusieurs méthodes de compétition ont été utilisées et dont le choix dépend des hypothèses et des objectifs de l'étude. Ces méthodes sont conçues pour les études conduites au champ, sous serre ou dans les chambres de croissance. Le dispositif expérimental et l'analyse des données sont deux composantes critiques des études sur la compétition entre les plantes. Même pour une interaction bispécifique, le choix inapproprié de ces composantes aboutirait à des résultats incertains (Rejmanek *et al.*, 1989).

2. Dispositifs expérimentaux utilisés

Bien que la majorité des dispositifs expérimentaux d'étude de la compétition puisse quantifier l'impact des adventices sur les cultures, il est à signaler que ces dispositifs varient selon la densité, la proportion et la distribution spatiale des individus de chaque espèce. La considération du peuplement ou de l'individu d'une espèce (comme base d'évaluation) est aussi une autre différence notable entre les dispositifs utilisés. Ces derniers sont des formes de bio-essais où la réaction d'une espèce (généralement une culture) est utilisée pour décrire l'influence des autres espèces en association (généralement les adventices).

2.1. Dispositif additif

Appelé aussi le dispositif d'additivité partielle, c'est un dispositif simple, pratique et couramment utilisé pour étudier la compétition entre une culture et les adventices et quantifier les pertes de rendement qui en découlent. Il permet également d'étudier l'effet de la période d'émergence et/ou la durée de compétition sur l'interaction culture-adventices. Le dispositif additif consiste à utiliser des combinaisons bispécifiques où la densité de l'une des espèces, généralement la

culture, est maintenue constante alors que celle de l'autre espèce, généralement l'adventice, est variable comme indiqué sur la fig. 11.1. Ce dispositif a aussi le mérite de simuler la réalité d'un milieu cultivé. Dans ce dernier, la culture est semée à une densité fixée (dose de semis), tandis que celle des adventices varie sous l'effet de plusieurs facteurs y compris les méthodes de désherbage.

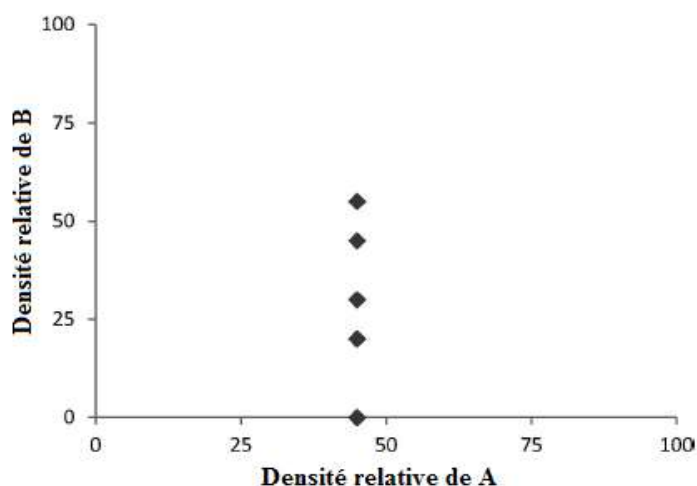


Figure 11.1: Dispositif additif avec la densité de l'espèce A constante et celle de B variable (Source: Swanton *et al.*, 2015).

Malgré ses atouts, le dispositif additif n'est pas à l'abri de certaines critiques des scientifiques. La variation de la densité de la deuxième espèce entraîne automatiquement la variation de la densité totale de la communauté végétale et la proportion de chaque espèce. La variation simultanée de ces deux facteurs pourrait changer les résultats d'une compétition et rend difficile l'interprétation de l'effet de chaque facteur (Harper, 1977; Rejmanek *et al.*, 1989). En outre, ce dispositif est basé sur la supposition que la distribution spatiale des individus est uniforme. D'ailleurs, cette méthode ne permet pas de séparer les effets des compétitions intra et interspécifique.

2.2. Dispositif des séries de remplacement

Le dispositif des séries de remplacement ou dispositif substitutif est mis au point pour lever les contraintes et les limitations du dispositif additif, déterminer la compétitivité de chaque espèce et connaître la nature de l'interaction entre les espèces. Appelé séries de remplacement car une espèce remplace l'autre. Le principe de ce dispositif est basé sur la constance de la densité totale tout en changeant la proportion de chaque espèce (Fig. 11.2) (De Wit, 1960). Généralement, la répartition des individus de chaque espèce est gardée uniforme aux proportions suivantes: 75:25, 50:50 et 25:75 avec l'inclusion de la monoculture de chaque espèce (100:0 et 0:100) (Fig. 11.2). L'effet de la compétition est décelable lorsque l'expérience est conduite à une densité élevée et pendant une durée assez longue pour répondre aux conditions de la loi du rendement constant c'est-à-dire que le rendement est indépendant de la densité. Cette loi est considérée comme une base ou un principe sur lesquels ce dispositif est fondé.

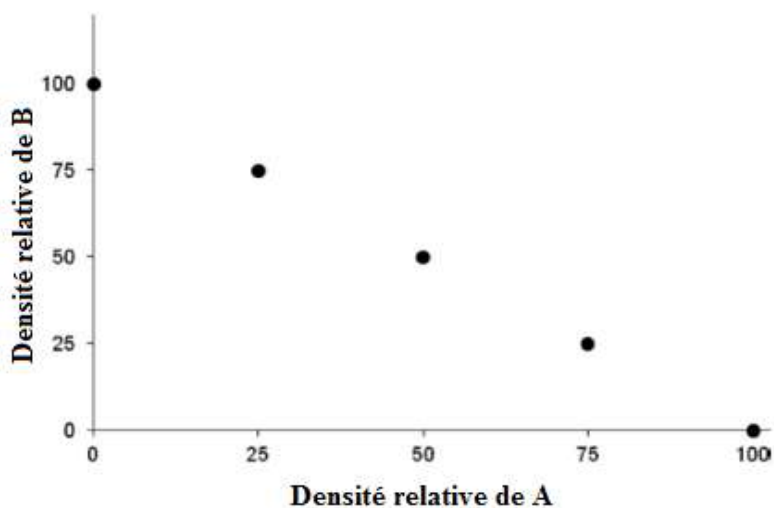


Figure 11.2: Dispositif des séries de remplacement avec variation de la densité des deux espèces A et B (Source: Swanton *et al.*, 2015).

Les résultats obtenus sont généralement interprétés graphiquement. Dans ce cas, les rendements absolus ou relatifs des deux espèces en fonction de leurs proportions sont présentés sous forme d'un graphique où les rendements observés sont

comparés aux rendements attendus (Fig. 11.3). Dans cette figure, les diagonales représentent les rendements attendus de chaque espèce selon sa contribution à la densité totale. Toute déviation de la diagonale respective signifie une perte ou un gain de rendement des deux espèces et que l'interaction entre elles est qualifiée positive (supérieure à la diagonale) ou négative (inférieure à la diagonale). Deux espèces ont une interaction neutre ou elles ont la même compétitivité lorsque la déviation est absente.

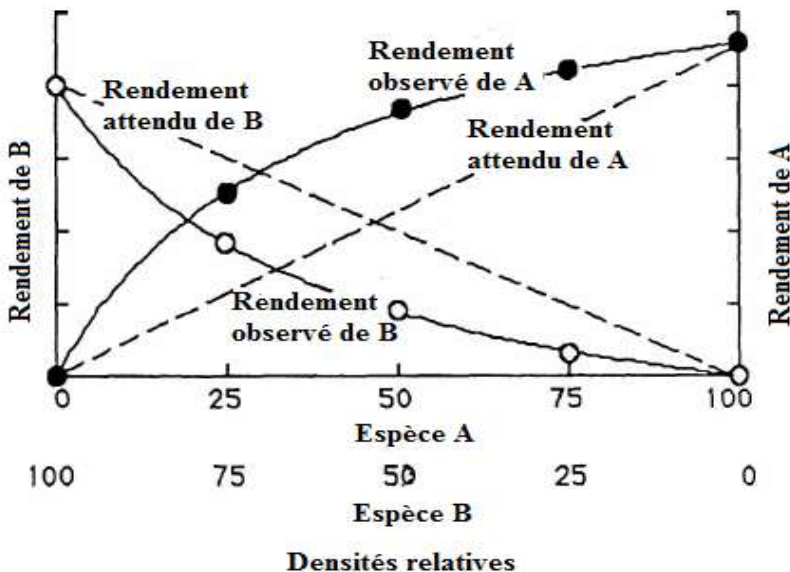


Figure 11.3: Présentation hypothétique des rendements de deux espèces A et B en compétition selon le dispositif substitutif (Source: Rejmanek *et al.*, 1989).

Généralement, la présentation graphique donne quatre cas de figures possibles selon la forme des courbes des rendements observés de chaque espèce (Fig. 11.4). Dans le premier cas, la courbe du rendement observé de chaque espèce est rectiligne et suit la diagonale relative à l'espèce (Fig. 11.4. I). Le deuxième cas de figure indique une interaction compétitive: une courbe concave pour une espèce et une courbe convexe pour l'autre espèce. L'espèce ayant une courbe concave est considérée plus compétitive que l'autre espèce présentant une courbe convexe (Fig. 11.4. II a et II b). Dans le troisième cas, les courbes des deux espèces sont

convexes, ce qui signifie que l'interaction entre elles est négative et leur association est antagoniste (Fig. 11.4. III). Le quatrième cas indique une situation de symbiose ou de synergie entre les deux espèces car toutes les deux ont des courbes concaves (Fig. 11.4. IV).

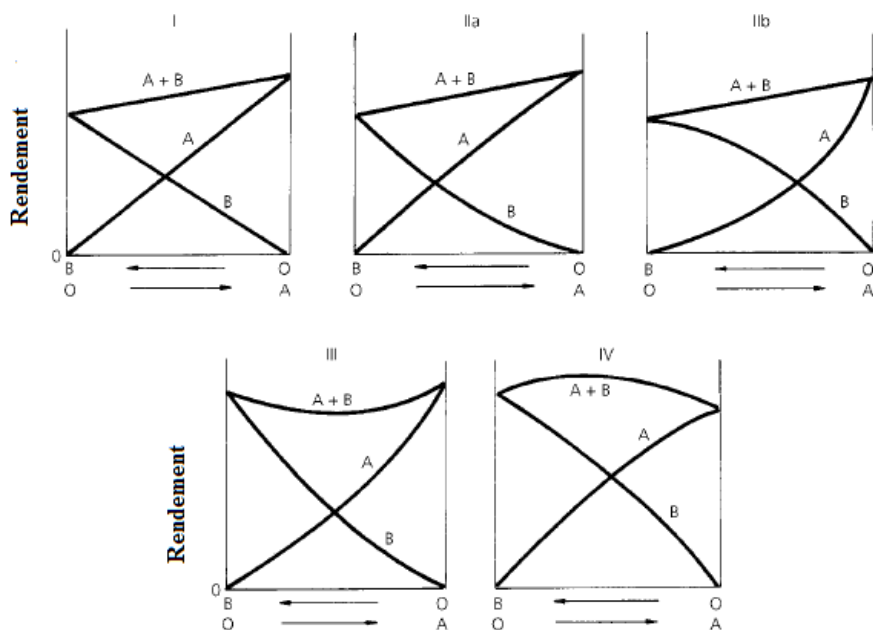


Figure 11.4: Possibilités de présentation graphique de l'interaction entre deux espèces A et B en compétition selon le dispositif substitutif (Source: Naylor, 2002).

Des expérimentations sur la compétition entre le riz et deux espèces adventices associées à cette culture (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*) ont été conduites sous serre et dans les conditions d'immersion permanente (Bouhache, 1989). L'interprétation graphique des résultats relatifs à la biomasse et aux teneurs en azote, en phosphore et en potassium dans les parties aériennes permettent de prouver que les trois espèces entrent en compétition pour les mêmes facteurs. De

même, une certaine hiérarchie du pouvoir compétitif de ces espèces a été notée avec *E. crus-galli* > *E. phyllopogon* > Riz. (Tableau 11.1).

Tableau 11.1: Résultats de l'interprétation graphique de la compétition du riz et deux adventices selon le dispositif substitutif (Bouhache, 1989).

Base de compétition	Compétition bispécifique (A-B)	Courbe du rendement observé		Compétitivité
		A	B	
Biomasse	<i>E. crus-galli</i> (ECG)- <i>E. phyllopogon</i> (EP)	Concave	Convexe	ECG > EP
	ECG - Riz	Concave	Convexe	ECG > Riz
	EP - Riz	Concave	Convexe	EP > Riz
Azote Phosphore Potassium	ECG- EP	Concave	Convexe	ECG > EP
	ECG - Riz	Concave	Convexe	ECG > Riz
	EP - Riz	Concave	Convexe	EP > Riz

Le dispositif substitutif a l'avantage a) d'hierarchiser la compétitivité des espèces, b) de déceler la nature du mécanisme de l'interaction entre une culture et une adventice ou entre deux adventices ou deux biotypes d'une adventice et c) de permettre de prédire le futur changement dans la composition spécifique sous l'effet de la compétition. Cependant, il a trois inconvénients majeurs, a) la non représentativité de la réalité du terrain, b) les résultats dépendent de la densité totale et les conditions dans lesquelles les ressources sont fournies et c) la difficulté de séparer les compétitions intra et interspécifiques (Rejmanek *et al.*, 1989).

2.3. Dispositif des séries additives

Contrairement au dispositif des séries de remplacement, ce dispositif expérimental fait varier aussi bien la densité totale de la communauté végétale étudiée que les proportions de chaque espèce (Rejmanek *et al.*, 1989). De ce fait, il est considéré comme une combinaison de plusieurs dispositifs substitutifs avec plusieurs densités totales (Fig. 11.5). Dans le cas où toutes les combinaisons des densités possibles de deux espèces en compétition sont considérées on parle alors de dispositif d'additivité complète comme schématisé sur la figure 11.6. Bien que l'étude de la compétition de plusieurs espèces soit permise par ces dispositifs, généralement les scientifiques se contentent de faire des bio-essais bispécifiques à cause de la facilité de leur conduite. Le dispositif des séries additives demande de larges

expérimentations et plus de moyens pour le conduire sur le terrain. Cependant, il a l'avantage de séparer la compétition intraspécifique de la compétition interspécifique et d'estimer les pertes de rendement en utilisant la loi du rendement réciproque ou de l'inverse du rendement développé par Kira *et al.* en 1953 (in Stawton *et al.*, 2015) et reprise par Spitters (1983) en l'appliquant à plusieurs espèces en compétition selon l'équation de régression multiple suivante:

$$1/W_1 = A_1 + B_{11} N_1 + B_{12} N_2 + + B_{1i} N_i$$

Avec: W_1 = rendement /plante de l'espèce 1; N_1, N_2 et N_{1i} = densités des espèces 1 à i; A_1 = l'intercept; B_{11} = coefficient de régression qui mesure l'effet de la compétition intraspécifique de l'espèce 1 et B_{1i} = coefficient de régression qui mesure l'effet de la compétition interspécifique de l'espèce i sur l'espèce 1. Les dispositifs des séries additives et d'additivité complète couplés au modèle de rendement réciproque sont considérés théoriquement et pratiquement les meilleurs dispositifs pour l'étude de la compétition entre les plantes (Rejmanek *et al.*, 1989).

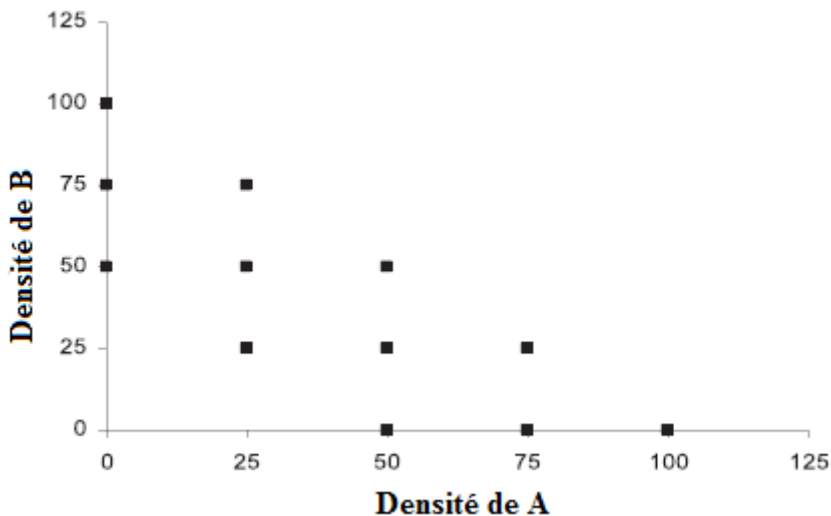


Figure 11.5: Dispositif des séries additives (trois dispositifs substitutifs avec trois densités totales différentes) (Source: Swanton *et al.*, 2015).

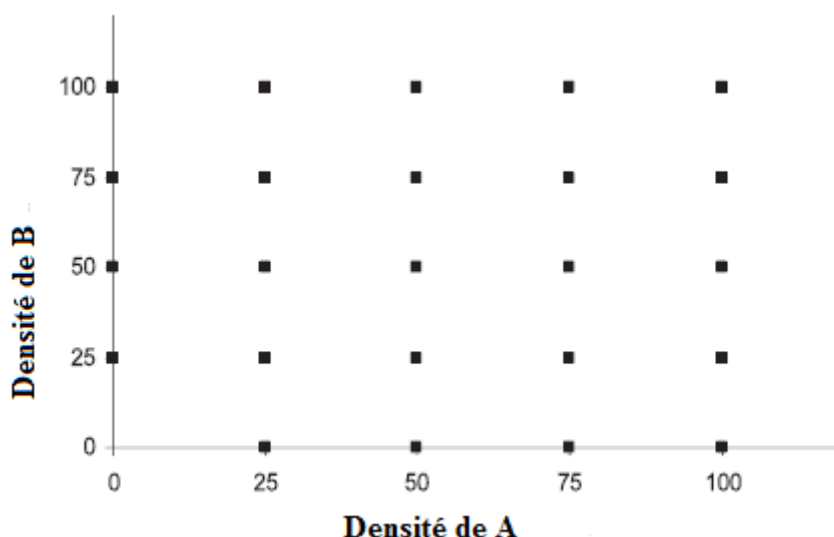


Figure 11.6: Dispositif d'additivité complète avec toutes les combinaisons possibles de quatre densités totales (Source: Swanton *et al.*, 2015).

La compétition entre le blé tendre var. «Nesma» et deux adventices des céréales d'automne, le ray-grass (*Lolium rigidum*) et la saponaire (*Vaccaria hispanica*), a été étudiée au champ à Sidi El Aidi (Chaouia) et sous serre selon le dispositif des séries additives. Les différentes densités utilisées ont varié de 0 à 410 pieds/ m² pour le blé, de 0 à 410 pieds/ m² pour le ray-grass et de 0 à 300 pieds/ m² pour la saponaire (Tanji, 1994). Les biomasses sèches aériennes récoltées ont été analysées sur la base de la loi du rendement réciproque. Ainsi, les résultats obtenus ont permis de montrer que la compétition intraspécifique du blé est plus importante que la compétition interspécifique des deux adventices. La compétitivité d'un pied du blé est équivalente à celle de 11 et 14 pieds du ray-grass respectivement sous serre et au champ. De même, l'agressivité d'un pied du blé est égale à celle de 19 et 24 pieds de la saponaire au champ et sous serre. En outre, ces données permettent de dire aussi que le ray-grass est plus agressif que la saponaire en termes de leur compétition avec le blé (Tableau 11.2).

Tableau 11.2: Compétitivité du blé et deux adventices selon le dispositif des séries additives conduit au champ et sous serre (Tanji, 1994).

Combinaison (i -j)	Equations	R ²	CCR*
Blé– Ray-grass (Sous serre)	$1/S = 0,212734 + 0,001796 W + 0,00016 G$	0,83	11
Blé – Ray-grass (Champ)	$1/S = 0,00785 + 0,000496 W + 0,000026 G$	0,92	14
Blé– Saponaire (Sous serre)	$1/S = 0,004314 + 0,000364 W + 0,000015 C$	0,94	24
Blé – Saponaire (Champ)	$1/S = 0,014915 + 0,00064 W + 0,000034 C$	0,65	19

* : Capacité compétitive relative (= B_{ii}/B_{ij}), S: rendement du blé, W: densité du ray-grass, C: densité de la saponaire et G: densité du ray-grass.

2.4. Dispositif systématique

Le dispositif systématique ou de Nelder est conçu et mis au point par ce dernier en 1962. Les individus d'une espèce ou de deux espèces en compétition sont répartis selon une grille ayant la forme d'arcs ou de cercles de telle façon de faire changer la densité totale et la proportion de chaque espèce tout en gardant leur distribution ou arrangement spatiaux sans changement (Harper, 1977; Swanton *et al.*, 2015) (Fig. 11.7). Ce dispositif est aussi adapté aux cultures semées en lignes, et donc très utilisé dans les recherches forestières. Il a l'avantage d'évaluer l'effet de plusieurs densités dans une surface assez réduite et d'étudier le processus de compétition entre les plantes. Cependant, il est difficile à le conduire sur le terrain. De même, l'effet de la compétition est évalué uniquement sur la base de plantes individuelles et que la compétition intraspécifique n'est pas séparable de la compétition interspécifique.

2.5. Dispositif de l'aire d'influence

Appelé aussi le dispositif de voisinage ou de la sphère d'influence, il consiste à étudier la réaction d'une plante à l'effet de proximité ou de voisinage des autres plantes (Harper, 1977) (Fig. 11.8). L'effet de la compétition sur la croissance et le développement de la plante cible est évalué en fonction de la densité, la biomasse, le recouvrement ou la distance des plantes voisines. Cette évaluation peut être faite d'une façon répétitive durant la saison de croissance. La plante cible peut être une culture ou une adventice. Ainsi, ce dispositif pourrait être considéré comme une autre forme du dispositif additif du moment que la plante cible est représentée par

un seul individu (densité fixée). De ce fait, il a les avantages et les inconvénients de ce type de dispositif. Le dispositif de l'aire d'influence est approprié pour l'étude de l'effet de la densité et de la distribution d'une culture sur son interaction compétitive avec les adventices. L'utilisation de cette méthode reste très limitée, mais intéressante dans le cas de besoin de quantifier l'effet de la distribution spatiale sur la compétition. Dans le cas des cultures, parfois on cherche à connaître l'arrangement spatial optimal qui pourrait atténuer l'impact des adventices.

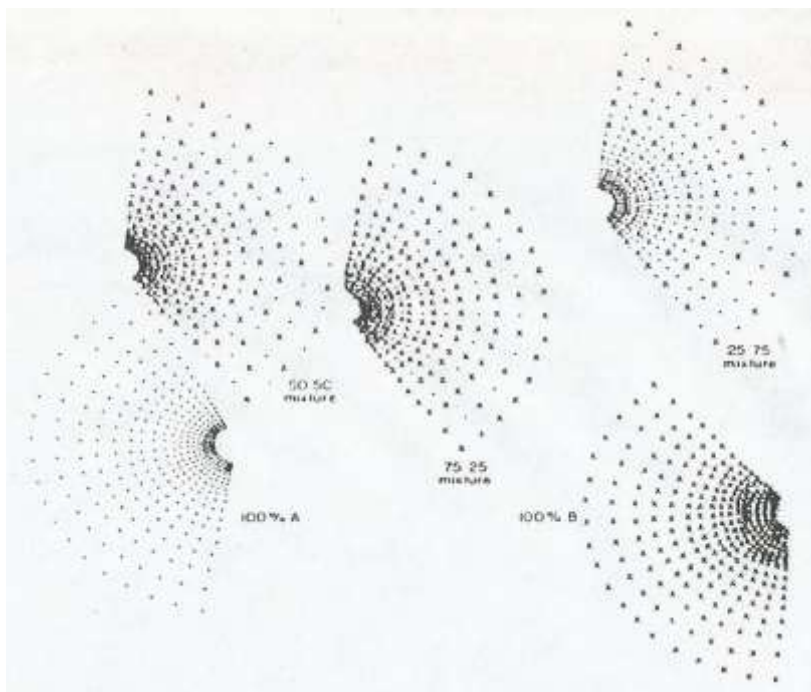


Figure 11.7: Exemple de la distribution des proportions de deux espèces selon le dispositif de Nelder (Source: Radosevich *et al.*, 1997).

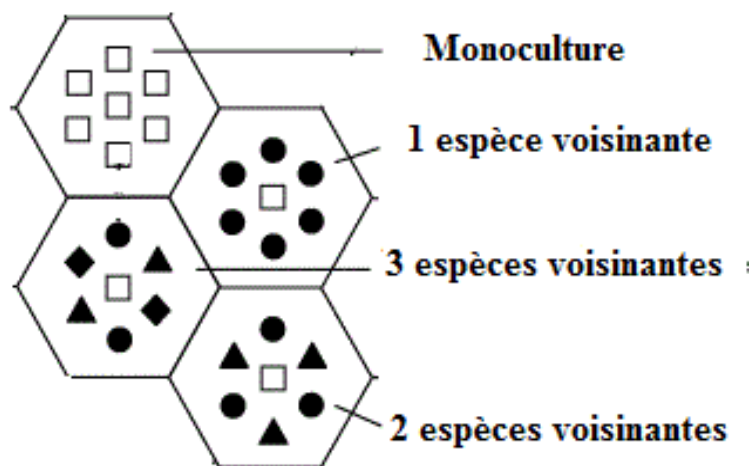


Figure 11.8: Exemple de dispositif de l'aire d'influence utilisé dans l'étude de la compétition entre plusieurs espèces (Source: Weigelt *et al.*, 2007).

2.6. Analyse de la croissance

Les espèces compétitives sont dotées des traits ou des caractéristiques liés à leurs systèmes racinaires pour bien exploiter les ressources de sol et des traits relatifs à ses tiges et ses feuilles pour capter au maximum et d'une façon instantanée toute lumière incidente (Tableau 10.7). Du moment que l'accaparement de ces ressources a une répercussion certaine sur la croissance et le développement des plantes, toute différence en termes de croissance résultante d'une différence de distribution spatiale et de la période d'émergence devrait entraîner une certaine hiérarchie compétitive des espèces d'une communauté végétale. Effectivement, l'analyse comparative de la croissance des plantes isolées de quatre adventices annuelles (*Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli* et *Solanum nigrum*) a permis de noter une certaine hiérarchie de la capacité compétitive comme confirmé par les essais de compétition avec *Echinochloa crus-galli* > *Amaranthus retroflexus* > *Chenopodium album* > *Solanum nigrum* (Rouch et Radosevich, 1985). Une autre étude a comparé la croissance des individus isolés de la culture du cotonnier et trois adventices vivaces (*Sorghum halepense*, *Cyperus esculentus* et *C. rotundus*). Les résultats des essais de compétition ont supporté les prédictions de l'analyse de croissance indiquant que *S. halepense* est l'adventice la plus agressive vis-à-vis du cotonnier (Holt et Orcutt, 1991).

Les études de compétition, basées sur l'approche d'analyse de la croissance d'une culture et ses adventices, sont utiles et importantes car elles identifient les adventices les plus compétitives et indiquent la période où l'effet de ces espèces est détrimental sur la culture. L'analyse de la croissance des plantes isolées du riz et de deux espèces adventices associées à cette culture (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*) a été conduite durant sept semaines sous serre et dans les conditions d'immersion permanente (Bouhache, 1989). Les résultats obtenus ont permis de noter que les paramètres de croissance de ces espèces sont identiques durant les trois premières semaines. Cependant, des différences entre leurs paramètres de croissance sont observées à partir de la quatrième semaine après le semis. La variation de 13 paramètres de croissance (mesurés ou calculés) a permis de déceler une certaine hiérarchie du pouvoir compétitif entre ces espèces étudiées avec *Echinochloa crus-galli* > *E. phyllopogon* > riz. Cette hiérarchie a été confirmée aussi bien par leurs capacités photosynthétiques (Bouhache et Bayer, 1993) que par les bio-essais de compétition qui ont été conduits en parallèle et dans les mêmes conditions (Tableau 11.1) (Bouhache, 1989).

2.7. Compartimentation de la compétition

Les plantes entrent en compétition vis-à-vis des ressources du sol et de la lumière. Ceci implique des interactions entre leurs systèmes racinaires et leurs parties aériennes (tiges et feuilles). La connaissance de la part de chaque interaction dans le phénomène de compétition globale permet de mieux comprendre les mécanismes de compétition mis en jeu par les espèces d'une communauté végétale. Le principe de la compartimentation de la compétition ou des ressources est basé sur la séparation dans l'espace entre la compétition souterraine et la compétition aérienne. Ceci consiste à faire croître les espèces en compétition dans des compartiments (boîtes, caisses, pots, etc.) avec ou sans isolation physique selon le schéma de la figure 11.9. Ainsi, les combinaisons suivantes sont étudiées et évaluées: pas de compétition (a), compétition souterraine seule (b), compétition aérienne seule (c) et compétition souterraine et aérienne (d). Ces combinaisons permettent d'identifier les bases physiologiques de la compétition entre deux espèces (Naylor, 2002). Cependant, cette démarche est critiquée à cause de la restriction du volume de sol et de la grande disponibilité des ressources dans les compartiments où la compétition est absente. Toutefois, elle permet de quantifier la limitation des ressources du sol (Naylor, 2002).

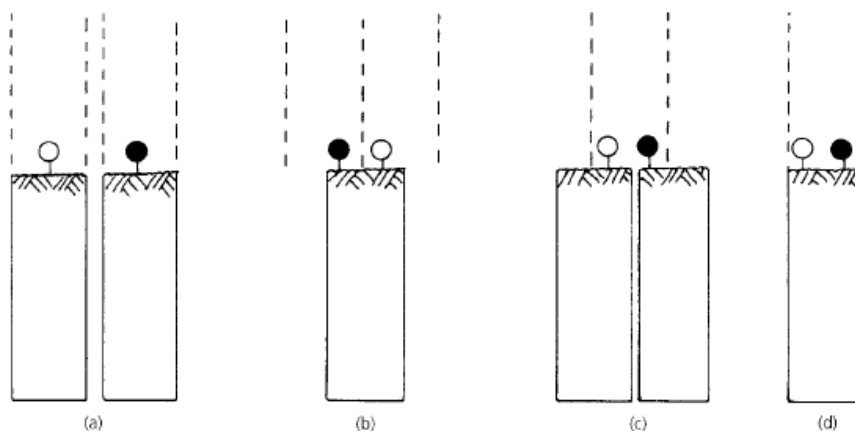


Figure 11.9: Exemple de dispositif de compartimentation de la compétition entre deux espèces (Source: Naylor, 2002).

3. Quantification de la compétitivité des espèces

3.1. Notion d'indices de compétitivité

La quantification de la compétition entre les plantes permet aux scientifiques de résumer, d'interpréter et de présenter les résultats des expériences relatives à la compétition. Ainsi, les résultats des interactions entre les plantes peut être distingué ou évalué sur la base de l'intensité et l'importance de la compétition (Radosevich *et al.*, 1997). Selon ces auteurs, l'intensité de la compétition intègre les réactions physiologique et morphologique d'une plante en présence des autres plantes voisines d'une même espèce ou d'espèces différentes. Tandis que l'importance de la compétition décrit le rôle de la compétition en relation avec les autres processus qui influent dans le futur sur l'abondance, la densité et la composition d'une communauté végétale.

Généralement, la quantification de l'intensité et de l'importance de la compétition passe à travers la détermination des indices de compétitivité à partir de la combinaison de plusieurs variables ou de certaines mesures. Ces indices sont les plus utilisés, car ils permettent a) de quantifier l'effet compétitif d'une plante sur l'autre, b) de quantifier le taux de réduction des performances d'une plante dû à la compétition, c) de comparer les effets compétitifs des différentes espèces et d) de

comparer entre plusieurs études de compétition (Vilà *et al.*, 2004). Du moment que ces indices sont dérivés des observations expérimentales, ils devraient être utilisés comme moyens d'analyse et non pas de prédiction (Weigelt et Jolliffe, 2003). Les expérimentations relatives aux interactions entre les plantes en écologie, agriculture et en foresterie ont permis de mettre au point une gamme très large et diversifiée des indices de compétitivité. La synthèse de ces expérimentations a permis à Weigelt et Jolliffe (2003) d'identifier et/ou de dénombrer une cinquantaine d'indices de compétitivité, de les classer, de donner leurs formules de calcul et de relever les défauts, les atouts, la base de leur choix et les conditions de leur utilisation.

Beaucoup d'indices de compétitivité sont fondés sur la comparaison entre les performances des plantes soumises à la compétition et celles des plantes en monoculture (sans compétition). Puisqu'ils reflètent les conséquences de la compétition, les indices de compétitivité devraient être utilisés en considérant la chronologie, les circonstances et la composition de la communauté végétale. De même, il faut prendre les conclusions qui découlent de leur utilisation avec prudence, car ces indices dépendent du dispositif expérimental et de la densité utilisés (Weigelt et Jolliffe, 2003). Bien que les indices de compétitivité soient nombreux et diversifiés, peu d'entre eux sont couramment utilisés pour quantifier l'intensité et l'importance de la compétition.

3.2. Indices de l'intensité

Les indices qui quantifient l'intensité de la compétition sont ceux qui permettent de quantifier l'effet de la compétition sur la croissance, la reproduction ou la survie des plantes et reflètent comment les performances d'une plante sont influencées par la densité d'une population ou la taille de son voisinage. Les indices de compétitivité suivants sont beaucoup utilisés selon le dispositif expérimental:

- **Indice relatif de compétition:** indice très utilisé pour l'analyse des résultats de la compétition entre les plantes obtenus en adoptant le dispositif additif, le dispositif de l'aire d'influence ou le dispositif d'éclaircissage manuel ou chimique. Il mesure le taux de réduction des performances d'une espèce causée par la compétition d'autres espèces selon la formule développée par Wilson et Keddy (1986) et Grace (1995) in (Weigelt et Jolliffe, 2003):

$$\text{IRC} = (\text{P non infestée} - \text{P infestée}) / \text{P non infestée}$$

ou

$$\text{IRC} = [(\text{P non infestée} - \text{P infestée}) / \text{P non infestée}] * 100$$

Avec **P non infestée** = performances en absence de compétition ou performances d'une monoculture et **P infestée** = performances en présence d'autres espèces ou d'un mélange.

Dans le cas de la compétition entre une culture et les adventices, le rendement est généralement utilisé comme la performance d'appréciation de l'intensité de la compétition. Effectivement, IRC est très utilisé pour quantifier les pertes de rendement des cultures dues à la compétition des adventices. Cet indice n'a pas de limite inférieure, mais il ne peut pas dépasser 1 (ou 100%). Un IRC égal à 0 signifie l'absence de la compétition. Lorsqu'il est inférieur à 0, cela indique que les performances de la culture sont meilleures en présence des adventices qu'en leur absence (commensalisme). Un IRC supérieur à 0 témoigne que les adventices ont un effet négatif sur les performances de la culture (compétition) (Vilà *et al*, 2003).

- **Rendements relatifs:** indices adaptés à la comparaison entre une monoculture sans compétition et un mélange d'espèces en compétition (De Wit, 1960; De Wit et Van Den Bergh, 1965). Ces indices ont été proposés pour évaluer l'utilisation complémentaire des ressources par deux espèces en compétition. Ils sont recommandés pour les dispositifs des séries de remplacement, séries additives et d'additivité complète où les densités totales des combinaisons bispécifiques sont gardées constantes (Radosevich *et al.*, 1977). Ils permettent de quantifier l'ampleur d'accapuration des ressources par une espèce en compétition ou de donner une idée sur l'efficacité d'utilisation des ressources disponibles d'un milieu par rapport à sa monoculture (Weigelt et Jolliffe, 2003). En d'autres termes, ceci revient à quantifier la compétition interspécifique par rapport à la compétition intraspécifique et à décrire comment une espèce exploite les ressources d'un milieu en relation avec les autres espèces. Ainsi, le rendement relatif d'une espèce (RR) et le rendement relatif total (RRT) du mélange de deux espèces sont calculés selon les formules suivantes:

RR_A = Rendement de A avec compétition/Rendement de A en absence de compétition

$$RRT = RR_A + RR_B$$

Un $RR_A = 1$ indique que la compétition interspécifique est égale à la compétition intraspécifique, alors qu'un $RR_A < 1$ signifie que la compétition interspécifique est inférieure à la compétition intraspécifique. Un $RR_A > 1$ indique que la compétition interspécifique est supérieure à la compétition intraspécifique. En outre, les valeurs des RR de deux espèces en compétition indiquent leurs compétitivités relatives. L'espèce ayant un RR plus grand est plus compétitive qu'une espèce ayant un faible RR (Tableau 11.3). Cependant, les valeurs de RRT indiquent la nature ou le mécanisme de l'interaction entre deux espèces en compétition. Ainsi, un $RRT = 1$ signifie que les deux espèces sont compétitives vis-à-vis des mêmes ressources (Tableau 11.3). Un $RRT < 1$ indique un antagonisme mutuel, alors qu'un $RRT > 1$ signifie a) une situation de synergie ou de symbiose, b) évitement de compétition ou d) utilisation différée dans l'espace ou dans le temps des ressources par les deux espèces (Harper, 1977).

Tableau 11.3: Rendements relatifs moyens (RR) et Rendements relatifs totaux (RRT) du riz en compétition binaire avec deux adventices selon le dispositif substitutif (Bouhache, 1989).

Base du calcul	Compétition bispécifique(A – B)	RR_A	RR_B	RRT*
Biomasse sèche	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	0,60	0,42	1,02
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	0,71	0,30	1,01
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	0,68	0,44	1,12
Azote	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	0,81	0,36	1,17
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	0,71	0,27	0,98
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	0,70	0,38	1,08
Phosphore	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	0,67	0,40	1,07
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	0,78	0,29	1,07
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	0,63	0,45	1,08
Potassium	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	0,73	0,40	1,13
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	0,96	0,23	1,19
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	0,55	0,38	0,93

*les valeurs du RRT ne sont pas statistiquement différentes de 1.

Une série d'expérimentations sur la compétition entre le riz et deux espèces adventices associées à cette culture (*Echinochloa crus-galli* et *E. phyllopogon*), a été conduite selon le dispositif substitutif, sous serre et dans les conditions d'immersion permanente (Bouhache, 1989). Les rendements relatifs des espèces et les rendements relatifs totaux calculés; sur la base de la biomasse et des teneurs en azote, en phosphore et en potassium des parties aériennes; ont permis de prouver que les trois espèces entrent en compétition pour les mêmes ressources. De même, ces indices ont montré que les deux adventices sont plus compétitives que le riz et qu'*E. crus-galli* est plus compétitive ou agressive qu'*E. phyllopogon* (Tableau 11.3).

- **Coefficient relatif d'encombrement ou relative crowding coefficient (RCC):** indice introduit par De Wit (1960) et De Wit et Van Den Bergh (1965) pour évaluer l'agressivité ou la compétitivité relative des espèces en compétition. Il est recommandé pour l'analyse des résultats émanant des dispositifs des séries de remplacement, des séries additives et d'additivité complète où la densité totale est fixe (Rejmanek *et al.*, 1989). Ces auteurs ont évoqué l'utilité pratique de cet indice pour la planification d'un programme de lutte contre les adventices dans une culture. Le RCC de l'espèce A en compétition avec l'espèce B est calculé selon la formule suivante:

$$RCC_{AB} = (R_A \text{ en compétition avec B} / R_B \text{ en compétition avec A}) / (R_A \text{ sans compétition avec B} / R_B \text{ sans compétition avec A})$$

Les R_A et R_B sont donnés ou déterminés par plante respectivement de l'espèce A et de l'espèce B, L'espèce ayant un RCC plus grand est plus compétitive ou agressive qu'une espèce ayant un faible RCC. Par exemple, *E. crus-galli* est 3 à 7 et 8 à 17 fois plus agressive respectivement que *E. phyllopogon* et le riz. De même, *E. phyllopogon* est 2 à 5 fois plus compétitive que le riz (Tableau 11.4). En général, un RCC_{AB} égal à 1 signifie que les deux espèces ont la même compétitivité, un $RCC_{AB} < 1$ indique que l'espèce A est moins compétitive que l'espèce B et vice versa si $RCC_{AB} > 1$. En outre, le produit des RCC renseigne sur la nature de l'interaction entre deux espèces: $RCC_{AB} * RCC_{BA} = 1$ signifie la compétition entre A et B, $RCC_{AB} * RCC_{BA} < 1$ indique l'antagonisme et $RCC_{AB} * RCC_{BA} > 1$ indique la synergie ou la symbiose (De Wit, 1960).

Tableau 11.4: Coefficients relatifs d'encombrement (RCC) du riz en compétition binaire avec deux adventices selon le dispositif substitutif (Bouhache, 1989).

Base du calcul	Compétition bispécifique (A - B)	RCC _A	RCC _B	RCC _A /RCC _B
Biomasse sèche	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	2,16	0,50	4,32
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	2,88	0,36	8,00
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	1,88	0,56	3,36
Azote	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	2,78	0,39	6,92
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	4,20	0,27	15,5
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	2,36	0,52	4,54
Phosphore	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	2,58	0,40	6,45
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	3,63	0,30	12,1
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	2,68	0,55	4,87
Potassium	<i>E. crus-galli</i> - <i>E. phyllopogon</i>	2,04	0,60	3,40
	<i>E. crus-galli</i> - Riz	4,35	0,26	16,7
	<i>E. phyllopogon</i> - Riz	1,77	0,76	2,33

- **Agressivité (A):** c'est un autre indice de l'intensité de la compétition basé sur la comparaison entre une monoculture sans compétition et un mélange d'espèces en compétition, mais il ne peut pas être utilisé pour une combinaison de plus de deux espèces (Weigelt et Jolliffe, 2003). Ces auteurs ont rapporté que l'agressivité est calculée sur la base de deux formules selon le dispositif expérimental utilisé:

$$A_{AB} = RR_A - RR_B \quad (\text{pour le dispositif additif})$$

et

$$A_{AB} = (RR_A - RR_B)/2 \quad (\text{pour le dispositif des séries de remplacement})$$

Un indice d'agressivité égal à 0 (zéro) indique l'égalité de la compétitivité des deux espèces ou l'absence de la compétition entre elles. Un indice inférieur ou supérieur à 0 signifie qu'une espèce est moins compétitive que l'autre et vice versa.

- **Coefficients de régression:** le développement des modèles du rendement réciproque a permis de considérer les coefficients de régression multiples, entre les rendements des espèces en compétition et leurs densités respectives, comme des indices de compétitivité relative des espèces (Rejmanek *et al.*, 1989). Ces indices sont exclusivement déduits des données obtenues sur la base des dispositifs des séries additives et d'additivité complète (Weigelt et Jolliffe, 2003). Ils permettent de quantifier l'ampleur de la compétition intraspécifique (B₁₁) et celle de la compétition interspécifique (B₁₂) selon la formule suivante (Spitters, 1983):

$$1/W_1 = A_1 + B_{11} N_1 + B_{12} N_2 + \dots + B_{1i} N_i$$

Avec: **W₁**= rendement /plante de l'espèce 1; **N₁, N₂ et N_{1i}** = densités des espèces 1 à i; **A₁** = intercept; **B₁₁** = coefficient de régression qui mesure l'effet de la compétition intraspécifique de l'espèce 1 et **B_{1i}** = coefficient de régression qui mesure l'effet de la compétition interspécifique de l'espèce i sur l'espèce 1.

En outre, le ratio B₁₁/B_{1i} est un indice qui permet de mesurer la capacité relative de compétition de deux ou de plusieurs espèces combinées. Il donne l'équivalence de compétitivité d'un individu de la culture et ceux des adventices qui lui sont associées (Tableau 11.2). D'après ce tableau, la compétitivité d'un pied du blé est équivalente à celle de 11 et 14 pieds du ray-grass et de 24 et 19 pieds de la saponaire, respectivement sous serre et au champ. En outre, ces données permettent de déduire que le ray-grass est plus agressif que la saponaire en termes de leur compétitivité vis-à-vis du blé.

3.3. Indices de l'importance

L'importance de la compétition ne peut pas être comprise uniquement sur la base des études de son intensité. La compétition est importante lorsqu'elle contribue à l'organisation et à la dynamique d'une communauté végétale donnée (Radosevich *et al.*, 1997). Ces auteurs ont considéré le coefficient de détermination R², déduit à partir des équations de régression multiples, comme un indice souhaitable pour mesurer l'importance de la compétition. Le R² donne une idée sur l'importance de la compétition par rapport aux autres facteurs qui influent sur le rendement ou les performances d'une culture ou d'une plante comme les maladies, la génétique, le microclimat, etc. (Radosevich *et al.*, 1997). Généralement, les relations entre les

densités et les rendements donnent toujours des R^2 élevés, lorsqu'elles sont appliquées aux données relatives aux plantes en compétition. Cet indice exprime la part du phénomène de compétition due aux densités des espèces d'une communauté végétale, et par conséquent, mesure l'importance de la compétition.

La compétition entre le blé var. «Nesma» et deux adventices des céréales d'automne, le ray-grass (*Lolium rigidum*) et la saponaire (*Vaccaria hispanica*), a été étudiée au champ à Sidi El Aidi (Chaouia) et sous serre selon le dispositif des séries additives (Tanji, 1994). Les équations de régression multiples décrivant la variation du rendement du blé en fonction de sa densité et la densité du ray-grass ont été caractérisées par des R^2 de 0,83 et 0,92 respectivement pour les études de serre et au champ. Les valeurs de R^2 des équations du rendement du blé en fonction des densités de la saponaire ont été 0,94 et 0,65 respectivement pour les études de serre et au champ (Tableau 11.2). Ces indices indiquent tout simplement que 65 à 94% de la variation du rendement du blé est due à la compétition intraspécifique du blé et interspécifique des deux adventices qui lui sont associées (Tanji, 1994).

4. Seuils de nuisibilité

La décision de désherber devrait être prise entre autres en fonction des risques de nuisibilité des adventices vis-à-vis d'une culture et des effets négatifs sur les produits récoltés. La détermination des seuils de nuisibilité des adventices pour les cultures offre des possibilités quant au raisonnement de la lutte intégrée en agriculture. Ainsi, de nombreuses études et/ou expérimentations ont essayé d'établir des relations entre des seuils de nuisibilité fiables et pratiques et les pertes de rendement des cultures (Caussanel, 1989). Avec le développement des outils informatiques, ces seuils sont très utilisés dans la conception ou la mise au point, à partir des résultats expérimentaux, des systèmes d'aide à la décision dans le désherbage de certaines cultures. Généralement, un seuil de nuisibilité exprime le niveau d'infestation à partir duquel une opération de désherbage est rentable (Caussanel, 1989; Naylor, 2002; Zimdahl, 2007).

4.1. Types de seuils de nuisibilité

Pratiquement, la détermination des seuils de nuisibilité nécessite de considérer le type de nuisibilité des adventices, la ou les adventices dominantes et le niveau des pertes de rendement annuel ou une moyenne des pertes de plusieurs années (Caussanel, 1989). En partant de ces considérations, il est à distinguer entre les seuils biologiques de nuisibilité et les seuils économiques de nuisibilité. Les deux types de seuils essayent de répondre à la question de combien seraient réduits le rendement et la rentabilité d'une culture ? Bien que le niveau d'infestation d'une culture par les adventices puisse être apprécié sur la base de la densité, la biomasse

ou le recouvrement, la densité reste le paramètre le plus simple et le plus couramment utilisé pour la détermination des seuils de nuisibilité.

- **Seuil biologique de nuisibilité:** ce seuil est défini comme étant le niveau d'infestation, à un moment donné, à partir duquel une baisse de rendement est mesurée (Caussanel, 1989; Naylor, 2002). Lorsqu'il est déterminé sur la base de la densité, il est souvent confondu avec la densité critique à partir de laquelle une perte de rendement est statistiquement significative dans les conditions expérimentales bien précises. La connotation biologique du seuil ne signifie guère qu'il est fondé sur des concepts biologiques, mais sa détermination est basée sur des expérimentations. Le seuil biologique est défini pour une culture, dans une région climatique et dans des conditions expérimentales particulières (Tableau 11.5).

Tableau 11.5: Exemples de seuils de nuisibilité de quelques adventices (Source: Rodriguez, 2004).

Adventices	Cultures	Seuils (pieds /m ² ou % de recouvrement)		Site ou pays
		Biologique*	Economique	
<i>Avena fatua</i>	Céréales	5,3	-	Angleterre
		-	10	Ouest de la France
		-	15-20	Nord de la France
<i>Lolium multiflorum</i>	Céréales	25-30	-	Angleterre
		-	35	Lyon (France)
<i>Alopecurus myosuroides</i>	Céréales	26	-	Angleterre
<i>Stellaria media</i>	Céréales	70	-	Ouest de la France
		20	-	Est de la France
		26	-	Angleterre
	Colza	-	20 %	France

* Densité d'adventices qui provoque une chute de rendement de 5%.

- **Seuil économique annuel de nuisibilité:** la détermination de ce seuil est basée sur le coût de désherbage pour éviter ou réduire les nuisibilités directe et indirecte des adventices dans une culture. En d'autres termes, ce seuil représente le niveau d'infestation à partir duquel une opération de désherbage est rentable compte tenu du prix de revient de cette opération et de la valeur marchande de la récolte (Caussanel, 1989; Naylor, 2002). Il est influencé par le degré d'infestation des adventices en relation avec les pertes de rendement, la valeur ajoutée au produit récolté résultant de l'élimination des adventices et des charges de l'opération de désherbage. Dans ce cas, on parle de seuil économique élémentaire de nuisibilité. Si des charges supplémentaires, dues à la nuisibilité indirecte des adventices, sont considérées dans le prix de revient de l'opération de désherbage, on parle de seuil économique annuel de nuisibilité intégré (Caussanel, 1989). A long terme, le seuil économique annuel de nuisibilité tend à décroître sous l'effet de désherbage rationnel, après quelques années selon le stock semencier des adventices dans le sol. Le tableau 11.5 donne quelques seuils économiques annuels des céréales et du colza dont les valeurs dépendent de plusieurs facteurs.
- **Seuil économique pluriannuel de nuisibilité:** ce seuil est déterminé sur plusieurs années et considère les risques de la nuisibilité potentielle des adventices, dus à la flore potentielle cachée dans le sol (Caussanel, 1989). Il est aussi appelé le seuil optimal de nuisibilité (Naylor, 2002). Sa détermination reste délicate et même imprécise, dans certains cas, à cause du manque de données expérimentales sur la dynamique des populations en relation avec le stock semencier du sol. Généralement, ce seuil est inférieur au seuil économique annuel de nuisibilité. Par exemple, Caussanel (1989) et Naylor (2002) ont rapporté que le seuil économique pluriannuel est de 2-3 et 7,5 plantes/m² respectivement pour *Avena fatua* et *Alopecurus myosuroides* dans les céréales contre 8-12 et 30-50 plantes/m² pour le seuil économique annuel.

4.2. Limitations des seuils de nuisibilité

Malgré l'utilité des seuils de nuisibilité dans la gestion des adventices des cultures, les seuils de nuisibilité primaire directe (compétition) n'ont pas de valeur quantitative fiable mais uniquement une valeur indicatrice de l'ampleur agronomique des adventices. Ces seuils sont beaucoup critiqués et accusés d'avoir des limitations quant à leur généralisation ou extrapolation (Caussanel, 1989; Naylor, 2002). En effet, les seuils de nuisibilité sont déterminés expérimentalement sur la base de compétitions bispécifiques et dans des conditions pédoclimatiques variées qui ne traduisent pas les variabilité spatiale et temporelle des ressources. Or, les parcelles agricoles sont infestées par une panoplie d'espèces de différents stades et distribuées d'une façon hétérogène. En outre, les cultures sont très sensibles à la compétition des adventices pendant leurs premiers stades de croissance et de développement. Les adventices sont caractérisées par une grande production et une longue longévité des semences et des propagules végétatives. Parfois, la présence d'une faible densité des adventices non contrôlée (exemple une plante/m²) compromettrait la production des cultures succédantes dans une rotation. Dans ce cas, le seuil de nuisibilité devrait avoir la valeur de zéro (0). Ce seuil est aussi recommandé pour les plantes considérées envahissantes.

L'ampleur des pertes de rendement des cultures, causées par les adventices, dépend de plusieurs facteurs tels que la culture et sa variété, la nature des adventices, la localité ou le site géographique, les techniques culturales et les conditions climatiques. Toutes ces raisons font qu'il est difficile de déterminer empiriquement la réduction de rendement des cultures due aux adventices même pour les principales cultures infestées par des adventices particulières dans une région donnée (Radosevich *et al.*, 1997). En outre, les seuils de nuisibilité sont déterminés dans la majorité des cas sur la densité des adventices. Or et contrairement aux ravageurs, la notion de l'individu est difficile à concevoir à cause de la plasticité de la croissance des plantes adventices (un individu de la même espèce peut avoir une taille de quelques centimètres dans certaines conditions ou suite à une germination tardive et une taille qui dépasse un mètre dans d'autres situations) et du type biologique (chez les vivaces qui se multiplient végétativement, la notion de l'individu est confuse). En outre, l'évaluation de la densité et de la biomasse d'une infestation, à un moment donné, est contraignante pour les agriculteurs, ce qui limite l'utilisation des seuils. Enfin, les seuils économiques dépendent du prix des inputs y compris les prix des herbicides et du produit récolté. Toutefois, ces prix varient tout le temps sous l'effet de plusieurs facteurs liés au marché. Toutes ces considérations incitent à prendre les seuils de nuisibilité avec beaucoup de prudence pour ne pas se trouver dans une situation catastrophique !!

5. Modélisation de la compétition

5.1. Raisons de la modélisation

Le système milieu cultivé-adventices est un système très complexe du fait de la diversité et de la multiplicité des processus qui régissent la démographie des communautés végétales et des facteurs agro-techniques. Beaucoup d'expériences ont été conduites pour comprendre ce système, et par conséquent, beaucoup de données ont été générées pour montrer l'effet négatif des adventices sur les cultures. Cependant, nombreuses sont les questions relatives à la gestion des adventices qui restent sans réponses en se basant uniquement sur ces expérimentations (Zimdahl, 2007). Ces considérations ont poussé les malherbologistes à s'orienter vers la modélisation. Ainsi, la compétition entre les cultures et les adventices est considérée comme le premier processus biologique des adventices à être soumis à la modélisation mathématique. Un modèle est défini comme une représentation abstraite et simplifiée d'un processus ou d'un système permettant de le décrire, de l'expliquer ou encore de le prédire. L'utilisation des modèles qui considèrent les variables indépendantes exprimant la compétitivité des adventices pourrait améliorer considérablement la gestion de la végétation indésirable dans les cultures en intégrant ces modèles dans les systèmes d'aide à la décision. Ces systèmes commencent à prendre de plus en plus de l'importance suite au développement de l'informatique et ses outils.

5.2. Types de modèles

La conception des modèles de description et/ou de prédiction des pertes de rendement des cultures dues à la compétition des adventices doit éviter deux écueils: une spécialisation trop biologique sans considération des réalités agronomiques et une orientation trop économique avec négligence des relations entre le rendement et le niveau d'infestation des adventices (Caussanel, 1989). Aussi bien pour la compétition bispécifique que la compétition multispécifique, deux types de modèles ont été mis au point et utilisés à des degrés différents:

- **Modèles empiriques:** ces modèles sont fondés sur des liaisons mathématiques empiriques entre quelques variables indépendantes (ex. densité des adventices, % couverture, période d'émergence par rapport à celle d'une culture, etc.) et une variable dépendante (généralement le rendement de la culture) dont les variations devraient être interprétées et prédites (Sattin et Berti, 2005). La plupart des modèles empiriques ont été développés pour décrire la relation entre la densité d'une ou de plusieurs espèces adventices et le rendement des cultures

(Caussanel, 1989). Cet auteur les a énumérés en donnant les équations mathématiques sur lesquelles ils ont été bâtis tout en indiquant que le modèle d'hyperbole rectangulaire (développé par Cousens en 1985) est le plus utilisé pour prédire les pertes de rendement d'une culture en fonction de la densité des adventices (Fig. 11.10) (Naylor, 2002; Sattin et Berti, 2005; Zimdahl, 2007). Ces auteurs ont jugé que les modèles empiriques basés sur la surface foliaire au lieu de la densité ont plus d'intérêt car ils considèrent les périodes d'émergence des adventices. L'utilisation des modèles empiriques pour déterminer les seuils économiques de nuisibilité (basés sur la densité, comme composantes des systèmes d'aide à la décision) se heurte à certaines contraintes. Ces dernières ont été levées avec la conception des modèles mécanistes (Naylor, 2002).

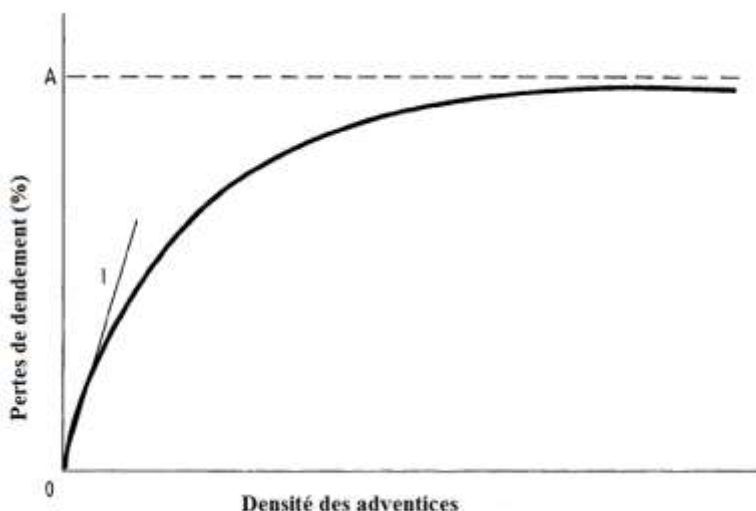


Figure 11.10: Relation entre perte de rendement et densité des adventices avec I: perte de rendement à faible densité et A: maximum de perte de rendement (Source: Naylor, 2002).

- **Modèles mécanistes:** appelés aussi modèles de simulation, ils sont fondés sur les processus et abordent le phénomène de la compétition selon une approche systématique plutôt qu'empirique. Ils aident à comprendre les relations qui existent entre la compétition, les densités des cultures et des adventices, les périodes relatives d'émergence, les divers caractères morphologiques et physiologiques, ainsi que les niveaux de ressources offerts par le milieu. Ainsi, ils sont complexes et leur conception exige d'une part la connaissance des mécanismes et des interactions impliqués dans le système culture–adventices et d'autre part une grande quantité de données ou d'informations comme inputs pour leur modélisation. En plus de leur utilité pratique, ils sont beaucoup appréciés sur le plan recherche (Naylor, 2002; Sattin et Berti, 2005). Les modèles mécanistes sont aussi utilisés pour la prévision en tant que composante d'une approche systémique de lutte contre les adventices. Ils sont principalement utilisés pour prédire les pertes de rendement dues à la compétition des adventices. Couplés aux modèles de la dynamique des populations, les modèles mécanistes pourraient améliorer les prévisions à temps des effets de diverses stratégies de gestion des adventices.

Beaucoup d'efforts ont été fournis pour développer des systèmes informatisés d'aide à la décision pour gérer les problèmes actuels posés par les adventices et prédire ce qui va se passer dans le système culture–adventices sous des conditions non considérées lors des expérimentations génératrices des données de base (Zimdahl, 2007). Avec les inquiétudes environnementales en relation avec l'utilisation des herbicides, le développement des résistances des adventices aux herbicides et les changements climatiques, la modélisation de la compétition intégrée aux systèmes d'aide à la décision sera développée davantage et connaîtra plus de succès dans la pratique.

Chapitre 12: Allélopathie

1. Historique du phénomène

A côté de la compétition entre les cultures et les adventices, l'allélopathie est reconnue comme un des mécanismes qui régissent les interactions entre les plantes en général et comme une composante de la nuisibilité primaire directe. Le phénomène de l'allélopathie a été observé dès l'antiquité: Theophrastus, qui a vécu vers 300 avant J.C., a remarqué les effets inhibiteurs des substances chimiques de certaines plantes sur d'autres mais sans évidences scientifiques (Qasem, 2003). Cet auteur a rapporté également que Pline (1^{er} siècle après J.C.) a relevé que le pois-chiche n'augmentait pas la fertilité du sol à l'instar des autres légumineuses, mais au contraire il avait fatigué le sol et inhibé la croissance des autres plantes. En 1832, le botaniste suisse De Candolle a été le premier à suggérer que les plantes pourraient sécréter des substances toxiques vis-à-vis des autres. Entre 1881 et 1925, plusieurs études ont démontré l'effet allélopathique du noyer sur d'autres plantes. En 1950, Keever a observé qu'*Erigeron canadensis* disparaît des champs abandonnés. D'autres études, par la suite, avaient démontré que la décomposition de ses racines inhibait la croissance de ses nouvelles plantules. En 1937, l'australien Molish a introduit pour la première fois le terme d'allélopathie comme mécanisme d'interférence entre les plantes. En 1940, Bode a mis en évidence l'effet inhibiteur des extraits, à partir de l'inflorescence de l'absinthe sur les plantules de plusieurs végétaux. A partir de 1965, plus d'études s'intéressent au phénomène. Cette mouvance a été couronnée en 1974 par la publication du livre « Allélopathy » par Rice dans lequel il a défini l'allélopathie comme tout effet négatif direct ou indirect d'une plante sur une autre à travers la production et la libération des substances chimiques dans l'environnement. Après ce livre, les études sur le phénomène ont été multipliées et diversifiées et des congrès internationaux ont été organisés sur le phénomène. Ce dynamisme scientifique a été soldé par la création de l'Association Internationale de l'allélopathie (IAS) qui a tenu son premier congrès en 1994 à New Delhi en Inde (Qasem, 2003). Quant au Maroc, la première étude relative à l'allélopathie a été conduite en 1995 sur l'effet de la luzerne sur la morelle jaune (Bouhache et Assali, 1995).

2. Définitions et types d'allélopathies

L'origine du mot « allélopathie » vient du grec allèlo ou allelon (“l'un l'autre”) et pathos ou pathy (“souffrance”, “maladie”). Ainsi, l'étymologie signifie que ces interactions sont négatives. En 1984, Rice dans la 2^{ème} édition de son livre sur l'allélopathie a élargi la définition pour inclure tous les effets directs positifs ou négatifs d'une plante sur une autre plante ou sur des micro-organismes par la

libération de substances biochimiques dans l'environnement naturel. En 1996, l'IAS a défini l'allélopathie comme «tout processus impliquant des métabolites secondaires produits par des plantes, des algues, des bactéries et des champignons qui influent sur la croissance et le développement de l'agriculture et des systèmes biologiques». Quant à Caussanel (1989), il avait défini l'allélopathie comme ensemble de phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts, et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain. En partant de cette définition, l'effet allélopathique est direct entre les plantes (allélopathie directe ou vraie) ou indirect (allélopathie indirecte ou fonctionnelle) par l'intermédiaire des microorganismes pendant la vie active des plantes ou au cours de la décomposition de leurs résidus. D'autres qualificatifs ont été utilisés pour désigner le type de l'allélopathie selon l'effet observé et la nature des plantes impliquées: allélopathie positive (effet stimulateur) négative (effet inhibiteur), alloallélopathie ou inter-spécifique (effet d'une espèce sur l'autre), autoallélopathie ou intra-spécifique (effet d'une espèce sur elle-même) et résiduelle (effet différé sur les plantes succédantes sur le même terrain) (Dahiya *et al.*, 2017).

3. Procédures et difficultés de mise en évidence

La mise en évidence de l'effet allélopathique d'une espèce demande beaucoup de travaux, d'efforts et de moyens car le phénomène ne se limite pas à la présence d'une seule substance responsable du phénomène, mais dans beaucoup de cas plusieurs substances sont impliquées. Ainsi, plusieurs preuves expérimentales sont proposées pour la mise en évidence du phénomène (Aldrich, 1984; Caussanel, 1989; Qasem, 2003; Zimdahl, 2007). Ces expérimentations passent par des étapes similaires à celles relatives aux postulats de Koch, développés en microbiologie:

- Etablir l'existence de l'effet entre deux plantes, identifier les symptômes observés et quantifier si possible l'effet noté;
- Isoler, caractériser, identifier et synthétiser la substance allélopathique;
- Reproduire les effets observés en appliquant la substance synthétisée sur la plante sensible et dans les conditions naturelles;
- Relier les effets notés aux symptômes observés en analysant l'émission, le transport et l'absorption de la substance allélochimique.

Malheureusement, seule la juglone (substance issue du noyer) est passée par ces quatre étapes avec succès (Aldrich, 1984). Cet auteur a souligné qu'il ne faut pas se soucier trop de cette procédure, car les évidences des effets allélopathiques sont énormes ou accablantes même en absence de preuves. En outre, il est difficile de

séparer sur le terrain l'allélopathie des autres interactions négatives telle que la compétition. Cette difficulté est due essentiellement à trois facteurs, a) absence d'une nomenclature qui permet de décrire les réactions des plantes soumises à ce phénomène, b) absence de méthodes et techniques qui permettent de séparer l'allélopathie de la compétition et c) échec de prouver l'existence de l'effet direct allélopathique par rapport à l'effet indirect dû à l'intervention des microorganismes ou à la modification des conditions du microenvironnement (Radosevich *et al.*, 1997; Qasem et Foy, 2001).

4. Sources et voies de libération des substances

Les substances allélochimiques existent dans tous les organes d'une plante (racines, tiges, feuilles, inflorescence et infrutescence) à des concentrations variables. Cependant, les feuilles restent la source des substances allélopathiques la plus consistante, tandis que les racines contiennent peu de substances et à des quantités très faibles (Aldrich, 1984). Il est aussi indiqué que les semences de certaines espèces renferment des substances allélopathiques avec des concentrations très élevées (Rice, 1974). La présence de ces substances dans les différentes parties d'une plante ne signifie pas qu'elle est allélopathique. Pour qu'elle le soit, ses substances allélochimiques doivent être d'abord présentes dans les racines, les feuilles ou les tiges, libérées et introduites dans l'écosystème, où la plante est présente, en quantités suffisantes et au moment opportun pour leurs actions. Les mécanismes de libération des substances allélopathiques sont nombreux et varient d'une espèce à l'autre. Généralement, ces composés chimiques sont libérés et/ou introduits dans un écosystème par la volatilisation, le lessivage, l'exsudation et la décomposition (Fig. 12.1).

La volatilisation est un processus très important et significatif dans les régions arides et semi-arides et qui consiste à libérer les substances volatiles dans l'atmosphère. Ces substances sont absorbées directement sous forme de vapeur par les racines des plantes voisines ou sous forme de gouttes de la rosée après concentration et introduction dans le sol (Qasem, 2003). Les eucalyptus, les sauges et les crucifères libèrent leurs composés allélochimiques par volatilisation. Quant au lessivage, il consiste à libérer les substances par le biais de l'eau de pluie, d'irrigation, de brume et de rosée pour être déposées sur les plantes ou sur le sol. L'exsudation est le mécanisme par lequel le système racinaire d'une plante libère les substances dans un sol. Cette voie de libération des substances est beaucoup étudiée et très importante chez les plantes parasitées (plantes hôtes) sur lesquelles se fixent les plantes parasites. Beaucoup d'évidences indiquent que des substances allélochimiques contenues dans les résidus de cultures (ex. paille des céréales) ou d'autres plantes sont libérées suite à leur décomposition par les microorganismes soit à la surface du sol soit dans le sol. C'est une voie très importante dans les milieux cultivés et qui pourrait être exploitée dans la gestion des adventices.

Cependant, une certaine prudence s'impose quant à l'origine de ces substances. Ces dernières sont t-elles contenues dans les débris végétaux et libérées suite à la décomposition ou produites par les microorganismes eux-mêmes ?

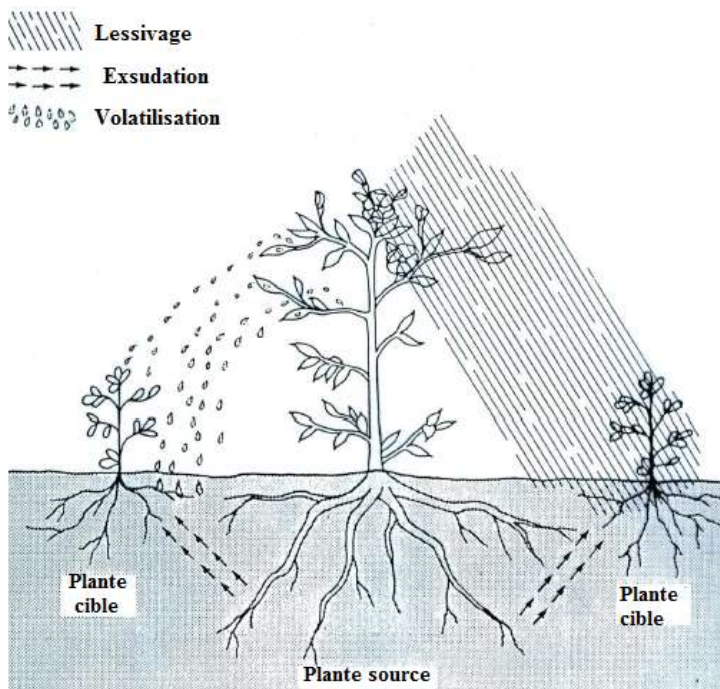


Figure 12.1: Voies possibles de libération des substances allélopathiques (Source: Aldrich, 1984).

5. Nature des substances

Les plantes produisent beaucoup de substances issues du métabolisme secondaire. Ces substances sont considérées comme des substances usées ou de déchets du métabolisme primaire et n'ont aucun rôle dans le métabolisme de base essentiel pour la croissance, le développement et la survie des plantes. Ces substances à effet négatif constituent une partie importante de la défense des plantes contre les bio-agresseurs. Doré *et al.* (2004) ont recensé 20 000 familles de composés

allélopathiques dont les composés phénoliques. Quant à Qasem (2003), il a rapporté que plus de 10 000 de métabolites secondaires à faible masse moléculaire ont été extraits des plantes et des champignons. Ce nombre pourrait atteindre 400 000 de substances chimiques, ce qui représente une source intéressante pour la découverte de nouveaux herbicides. Toutes les substances allélopathiques sont dérivées de l'acétate et des acides aminés et constituent différentes classes chimiques qui renferment des composés simples (ex. ammonia) ou des composés très complexes (ex. juglone) (Aldrich, 1984). Selon leurs origines métaboliques, les substances allélopathiques appartiennent à l'un des principaux groupes suivants (Rice, 1974; Qasem, 2003):

- Gaz toxiques tels que l'acide cyanhydrique et l'ammoniaque qui inhibent la germination et la croissance des plantes et l'éthylène connu comme stimulateur de la germination;
- Acides organiques dont l'acide citrique, l'acide maléique, l'acide oxalique ou l'acide acétique qui inhibent la germination;
- Composés aromatiques qui renferment plusieurs sous-groupes dont les acides phénoliques (ex. acide salicylique, acide vanillique, acide cinnamique), les coumarines (ex. umbelliférone, scopolétine), les alcaloïdes (caféine, nicotine, etc.), les flavonoïdes (ex. phlorizine), les tanins, les quinones (ex. juglone) qui inhibent la germination et la croissance des plantes;
- Terpènes dont les monoterpènes émis sous forme d'huiles essentielles volatiles par les espèces qui croissent dans les régions arides et semi-arides (ex. camphre, cinéole). Certaines espèces du genre *Eucalyptus* et *Salvia* produisent les terpènes inhibiteurs de la germination et de la croissance des plantes sensibles.

L'effet allélopathique du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) sur la germination et la croissance du jujubier (*Ziziphus lotus*), récoltés dans la région de Chaouia, a été mis en évidence par Rsaissi *et al.* (2013b). Les extraits hydroéthanoliques des racines et des raquettes du figuier de barbarie, contenant des concentrations très élevées en phénols totaux et qui ont montré un effet inhibiteur très marqué sur la germination et la croissance du jujubier, ont été analysés avec la chromatographie sur couche mince. Les résultats obtenus ont montré que 10 acides phénoliques sont présents dans les raquettes contre 4 seulement dans les racines (Tableau 12.1).

Tableau 12.1: Acides phénoliques détectés dans les raquettes et les racines du figuier de barbarie (Rsaissi *et al.*, 2013b).

Acides phénoliques	Racine	Raquette	Rf
Acide trans-cinamique	<u>P</u>	<u>P</u>	0,93
Acide syringique	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,89
Acide salicylique	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,88
Acide 4,hydroxy-3M.cinamique	<u>ND</u>	<u>P</u>	0,87
Acide vanillique	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,85
Acide p-comarique	<u>P</u>	<u>P</u>	0,78
Acide 4-hydrobenzoïque	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,74
Acide caféique	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,61
Acide 2-4 dihydroxybenzoïque	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,52
Acide 2-5 dihydroxybenzoïque	<u>P</u>	<u>ND</u>	0,38
Acide fumarique	<u>ND</u>	<u>ND</u>	0,38
Acide gallique	<u>P</u>	<u>P</u>	0,27
Acide succinique (NV)	<u>NV</u>	<u>NV</u>	0
Acide malique (NV)	<u>NV</u>	<u>NV</u>	0

ND: non détecté; P: présent; NV: Non visible;

Rf= distance parcourue par l'extrait/ distance parcourue par l'éluant.

La deuxième étude, réalisée au Maroc sur l'allélopathie et qui avait pour objectif l'identification des substances allélochimiques, a été conduite par Bensellam *et al.* (2017) sur l'effet allélopathique de la luzerne sur deux adventices vivaces des vergers d'agrumes dans la région du Gharb: le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus* L.) et le chiendent (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Les substances allelopathiques provenant d'extraits aqueux de la luzerne ont été isolées et caractérisées par Chromatographie en Couche Mince (CCM), Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC) et Chromatographie Gazeuse-Spectrométrie de Masse (GC-MS). Plusieurs acides phénoliques dans les parties aériennes et racinaires de la luzerne ont été identifiés. Les acides ferulique, P-coumarique, P-hydroxybenzoïque et salicylique ont été présents dans la partie aérienne de la luzerne. Tandis que les acides syringique, ferulique, P-coumarique, salicylique, gentisique et gallique ont été détectés dans le système racinaire de la luzerne. Lorsque les standards de ces acides phénoliques ont été testés séparément sur le souchet et le chiendent à la concentration de 10 mM, une excellente inhibition de la croissance des pousses de souchet a été obtenue avec les acides p-hydroxybenzoïque, gentisique et syringique. Par contre, les acides salicylique, ferulique et p-coumarique ont montré un effet inhibiteur sur la croissance du chiendent (Tableau 12.2).

Tableau 12.2: Inhibition (%) de la croissance du souchet et du chiendent par les différents acides phénoliques (Bensellam *et al.*, 2017).

Acides phénoliques	Souchet		Chiendent	
	Hauteur	Longueur racine	Hauteur	Longueur racine
P-hydroxybenzoïque	100,0 a	100,0 a	34,5 d	94,0 a
Gallique	85,0 a	100,0 a	31,0 d	100,0 a
Gentisique	100,0 a	69,0 b	70,7 bc	96,0 a
Salicylique	80,0 a	95,8 a	86,2 ab	100,0 a
Malique	24,0 c	63,0 b	58,6 c	36,0 b
Férulique	46,7 b	100,0 a	84,5 ab	100,0 a
Succinique	0,0 d	36,1 c	32,7 d	16,0 b
Syringique	91,7 a	100,0 a	39,6 d	28,0 b
P-coumarique	86,7 a	100,0 a	91,4 a	100,0 a

Les chiffres suivis de la même lettre, dans une même colonne, ne diffèrent pas statistiquement selon le test de Student-Newman et Keuls à 5%.

6. Facteurs actifs sur la production des substances

La quantité des substances allélopathiques produites par les différents organes d'une plante est influencée par le facteur génétique et les facteurs environnementaux. Plusieurs études ont essayé de rechercher explicitement les causes des variations de la teneur en ces substances dans les plantes ou des quantités libérées par leurs organes aériens et souterrains (Aldrich, 1984; Qasem et Foy, 2001; Zimdahl, 2007). La variété, le cultivar ou le biotype est le premier facteur dont dépend la production des substances. Actuellement, plusieurs études sont orientées vers le screening du matériel génétique ayant un potentiel allélopathique en vue de l'exploiter dans la gestion des adventices comme moyen de lutte alternative. Les quantités de substances produites sont importantes lorsque les plantes sont soumises aux conditions de carence en minéraux, de stress hydrique et/ou de basses et hautes températures, comparativement aux conditions optimales de croissance (Qasem, 2003; Zimdahl, 2007). Par exemple, le stress hydrique stimule l'accumulation de l'acide chlorogénique, des phénols totaux, de monoterpènes et d'acides hydroxamiques (Doré *et al.*, 2004). La lumière avec ses trois composantes, la quantité, la qualité et la durée est un autre facteur important qui agit sur la production des substances allélopathiques. Généralement, les quantités produites sont importantes chez les plantes soumises aux rayons ultra-

violet et aux jours longs (Aldrich, 1984). La production des substances allélochimiques est aussi considérée comme une réaction des plantes à la compétition, surtout lorsque les ressources du milieu sont très limitées. L'âge, l'état sanitaire (attaques d'insectes et de pathogènes), blessures mécaniques et application de phytohormone (ex. herbicides à base de 2,4 D) sont aussi rapportés comme facteurs actifs sur la production des substances à effet allélopathique. Du moment que la plante productrice des substances et la plante réceptrice font partie d'un même écosystème, tout changement d'un facteur pourrait influencer la production des substances, et par conséquent, l'interaction entre les deux plantes. En outre, les facteurs actifs énumérés peuvent agir séparément ou en groupe de deux ou plus (Aldrich, 1984).

7. Méthodes d'étude

Plusieurs méthodes ont été proposées pour la mise en évidence du phénomène de l'allélopathie comme l'un des mécanismes qui régit les interactions entre les plantes d'une communauté végétale. La majorité de ces méthodes se base sur l'extraction des substances suivie des essais pour tester leurs effets allélopathiques. Généralement, les bio-essais sont conduits au laboratoire ou dans les conditions contrôlées des chambres de croissance ou sous serre. L'isolation des composés allélochimiques est basée sur les techniques d'extraction à l'eau (froide ou chaude) ou avec des solvants organiques (ex. éthanol, acétone) à partir des différents organes (broyés ou macérés) de la plante soupçonnée à l'état frais ou sec. Les extraits obtenus sont testés sur les semences ou graines ou les plantules des plantes cibles. Cette méthode est utilisée dans toutes les études conduites au Maroc dont un exemple est donné sur le tableau 12.3. Cependant, elle est beaucoup critiquée car a) l'isolation des substances est forcée et ne reflète pas la réalité naturelle et b) les solvants organiques sont soupçonnés d'être toxiques vis-à-vis des plantes (Qasem et Foy, 2001).

D'autres méthodes qui simulent la réalité du terrain ont été conçues et consistent à utiliser directement les litières ou les résidus des cultures ou d'autres plantes. Ces débris végétaux vivants ou morts sont mélangés avec le sol ou déposés tout simplement sur le sol et laissés se décomposer par les microorganismes pendant une certaine durée. Après, le sol est utilisé comme support dans les bio-essais pour détecter la présence et l'activité des substances allélopathiques supposées libérées dans ce sol. Au Maroc, une seule étude avait testé l'effet allélopathique des résidus secs d'une adventice, mélangés avec le sol, sur la germination et la croissance de trois variétés des céréales d'automne (Tableau 12.4).

Tableau 12.3: Effet des extraits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) sur la germination du jujubier (*Ziziphus lotus*) (Rsaissi *et al.*, 2013b).

Traitements	Plante à l'état frais		Plante à l'état sec	
	Germination (%)	Inhibition (%)	Germination (%)	Inhibition (%)
Témoin (eau distillée)	90	-	100%	-
Extrait aqueux racine	50	44	60	40
Extrait aqueux raquette	10	89	20	80
Extrait hydro-éthanolique racine	10	89	40	60
Extrait hydro-éthanolique raquette	10	89	0	100

Tableau 12.4: Effet des résidus de la partie aérienne d'*Oxalis pes-caprae*, ajoutés au sol, sur la germination et la croissance de trois variétés des céréales (Ghammarte, 1999).

Céréale (Variété)	Résidus secs (g/kg du sol)	Germination (%)*	Longueur moyenne (cm)**		Poids sec total (g/4plantules)**	
			Coléo	Racine	Coléo	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

L'adventice utilisée au stade végétatif, Coléo = coléoptile de la plantule,* une semaine après semis, ** un mois après semis.

Une méthode spéciale a été mise au point pour l'étude de l'allélopathie due aux exsudats des racines. Elle consiste à placer une rangée de plantes d'une culture, une rangée de plantes d'une adventice et une rangée où les plantes de la culture et de la mauvaise sont alternées sur un support sous forme d'escalier. Ce dernier est doté de réservoirs de collecte et de stockage des solutions du sol contenant les exsudats racinaires qui circulent dans des tuyaux à l'aide des pompes (Fig. 12.2). Cette méthode est critiquée par l'absence de l'homogénéisation de l'éclairage entre les pas de l'escalier. Tang et Youg (1982) ont amélioré cette méthode en introduisant

une colonne à résine échangeuse d'ions entre la plante productrice et la plante cible ou réceptrice. La colonne capte les substances organiques et laisse les ions minéraux en circulation (Fig. 12.3). L'étude de l'allélopathie, dans les milieux naturels et les champs cultivés, est plus complexe que dans les conditions contrôlées du fait que les conditions du sol peuvent influencer la présence et/ou l'activité des substances allélochimiques.

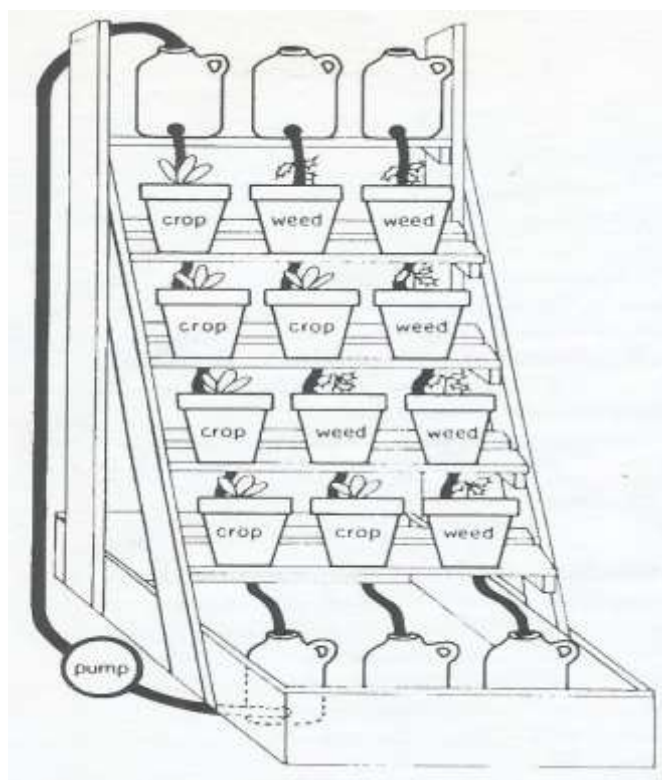


Figure 12.2: Dispositif en escalier pour l'études des exsudats racinaires avec crop = culture, weed = adventice et pump = pompe (Source: Radosevich *et al.*, 1997).

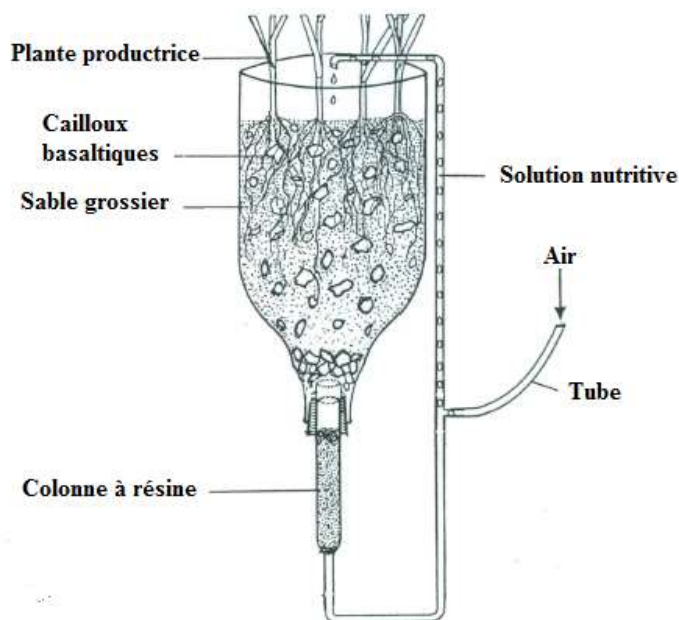


Figure 12.3: Dispositif de capture des exsudats racinaires (Tang et Youg, 1982).

8. Effet des substances

Les substances allélopathiques libérées par les plantes émettrices agissent sur la germination et la croissance des plantes sensibles ou cibles (Tableaux 12. 5, 12.6, 12.7). Ces effets ne sont en fait que les signes secondaires ou apparents de la perturbation ou de la modification des processus physiologiques. Généralement, les composés allélochimiques agissent efficacement à des doses très faibles ($\mu\text{M/L}$). Les sites ou les processus physiologiques ciblés par ces substances sont similaires à ceux touchés par les herbicides synthétisés chimiquement (Rice, 1974; Qasem, 2003). Les processus spécifiques affectés par les substances allélopathiques sont: la division cellulaire (ex. la coumarine), l'élongation cellulaire (ex. acide monohydroxybenzoïque), la synthèse des protéines; des enzymes et des hormones (ex. acide férulique, acide hydrochlorogénique), la photosynthèse et la respiration (ex. scopoletine, juglone), l'absorption des nutriments (ex. ac. salicylique), la perméabilité des membranes cellulaires (ex. ac. phénoliques, ac. salicylique) et enfin le cycle de l'azote en affectant la fixation et la nitrification. Une substance peut toucher plusieurs sites ou processus. Par exemple, l'acide férulique agit sur la

respiration, la synthèse de la chlorophylle et l'activité des hormones de croissance comme l'acide indole-3-acétique (IAA, 3-IAA). En outre, l'effet observé peut être dû à une seule substance ou à un mélange de plusieurs substances. Les molécules libérées dans le sol subissent des changements physiques, chimiques et biologiques sans écarter les possibilités de dégradation par les microorganismes du sol. Les mécanismes d'action des molécules allélochimiques sont loin d'être élucidés (Doré *et al.*, 2004). Ces auteurs ont souligné également que les relations entre la nature des substances allélopathiques, leurs quantités bio-disponibles dans le milieu d'une part, et l'intensité des dégâts d'autre part sont encore très peu étudiées.

Tableau 12.5: Effet des extraits de *Verbesina encelioides* sur la germination du blé dur (var. Karim) (Ben-Ghabrit *et al.*, 2017).

Etat de la plante	Technique d'extraction	Concentration (%)	Organe		
			Feuille	Tige	Racine
Fraîche	Macération	0	85,0	85,0	85,0
		30	85,0	85,0	97,5
		60	60,0	87,5	90,0
		100	62,5	70,0	95,0
	Broyage	0	87,5	87,5	87,5
		30	70,0	75,0	82,5
		60	35,0	67,5	67,5
		100	10,0	57,5	47,5
Sèche	Macération	0	95,0	95,0	95,0
		30	77,5	92,5	90,0
		60	80,0	85,0	75,0
		100	37,5	80,0	70,0
	Broyage	0	97,5	97,5	97,5
		30	55,0	77,5	63,3
		60	42,5	87,5	50,0
		100	97,5	75,0	40,0

L'activité des substances allélopathiques est influencée par a) les facteurs liés à la plante productrice et à la plante réceptrice, b) leurs états physiologiques, c) les conditions du milieu dans lequel les plantes sont en interaction, d) la méthodologie d'étude utilisée et e) la dose ou la concentration des substances impliquées. Par exemple, l'étude de l'effet allélopathique d'une adventice envahissante au Maroc,

Verbesina encelioides, sur le blé dur a permis de montrer que les extraits des feuilles de l'adventice ont un effet allélopathique plus important que les extraits des tiges et des racines. Cet effet affecte la germination, la croissance des coléoptiles et surtout la croissance des racines (Tableaux 12.5, 12.6, 12.7). En général, les effets sont observés dès la concentration la plus faible (30%) et le taux de réduction augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits. Les solutions obtenues par macération ont un effet allélopathique moins important que celles obtenues avec l'extraction par broyage. Les solutions obtenues à partir des plantes sèches de *V. encelioides* avaient en général un effet allélopathique plus important que celles obtenues à partir de plantes fraîches (Ben-Ghabrit *et al.*, 2017).

Tableau 12.6: Effet des extraits de *Verbesina encelioides* sur la longueur moyenne de la racine du blé dur (var. Karim) (Ben-Ghabrit *et al.*, 2017).

Etat de la plante	Technique d'extraction	Concentration (%)	Organe		
			Feuille	Tige	Racine
Fraîche	Macération	0	11,2	11,2	11,2
		30	7,5	11,7	12,2
		60	3,7	10,8	5,9
		100	3,2	7,0	3,98
	Broyage	0	11,6	11,6	11,6
		30	6,1	9,8	7,2
		60	2,0	7,3	6,7
		100	0,1	3,8	4,2
Sèche	Macération	0	16,0	16,0	16,0
		30	3,8	10,0	6,7
		60	2,9	9,0	3,6
		100	0,7	8,7	2,4
	Broyage	0	16,7	16,7	16,7
		30	1,0	9,9	3,1
		60	0,4	12,3	3,1
		100	0,0	11,1	1,3

Tableau 12.7: Effet des extraits de *Verbesina encelioides* sur la longueur moyenne du coléoptile du blé dur (var. Karim) (Ben-Ghabrit *et al.*, 2017).

Etat de la plante	Technique d'extraction	Concentration (%)	Organe		
			Feuille	Tige	Racine
Fraîche	Macération	0	7,7	7,7	7,6
		30	8,6	8,3	10,6
		60	4,1	8,3	10,9
		100	4,7	6,2	10,2
	Broyage	0	8,4	8,4	8,7
		30	5,0	8,3	8,4
		60	0,6	7,3	7,1
		100	0,0	3,8	4,5
Sèche	Macération	0	16,0	8,4	8,4
		30	3,8	10,4	9,6
		60	2,9	9,6	7,3
		100	0,7	10,6	5,5
	Broyage	0	10,3	10,3	10,3
		30	3.67	9.05	6.19
		60	2.38	10.19	4.64
		100	0.68	10.11	2.99

Une autre étude a été conduite dans le but d'étudier les effets allélopathiques des extraits aqueux d'une autre adventice envahissante au Maroc, *Oxalis pes-caprae*, sur la germination et la croissance des céréales d'automne (Blé tendre, blé dur et orge). Aux stades végétatif et floraison de l'oxalide, les extraits aqueux des parties aérienne et racinaire à l'état frais et sec ont réduit la germination des semences (mises dans des boîtes de Pétri) de trois céréales. En outre, ces extraits réduisaient aussi la longueur et la biomasse des racines et des coléoptiles. L'effet allélopathique dépend de l'espèce de céréale, l'organe et le stade de l'oxalide. L'effet inhibiteur des extraits a été beaucoup prononcé à la concentration la plus élevée (100% qui représente l'extrait non dilué) (Bouhache *et al.*, 2010).

9. Rôles dans les agroécosystèmes

Le phénomène de l'allélopathie a des effets significatifs sur les associations ou systèmes cultures-adventices. L'allélopathie peut être a) une cause du changement de la composition floristique d'une communauté végétale et la distribution spatiale de certaines espèces qui la constituent, b) un autre mécanisme de concurrence entre

les cultures et les adventices et enfin c) une possibilité de réduire l'impact ou la nuisibilité des adventices vis-à-vis des cultures (Aldrich, 1984). L'effet allélopathique n'est pas limité à celui des adventices sur les cultures, mais il s'étend aux cultures sur d'autres cultures, cultures sur adventices, adventices sur adventices et cultures ou adventices sur les pathogènes et les microorganismes du sol (Qasem et Foy, 2001; Qasem, 2003; Jabran *et al.*, 2015).

9.1. Effet allélopathique des cultures

Plusieurs études ont montré que les cultures ont un potentiel allélopathique vis-à-vis des autres cultures, des adventices ou des plantes de la même culture (autotoxicité) en libérant des substances allélochimiques dans le milieu qu'elles cohabitent ou où elles succèdent. Dans leur synthèse sur l'exploitation du phénomène d'allélopathie dans la gestion des adventices dans les agroécosystèmes, Jabran *et al.* (2015) ont cité certaines cultures ayant prouvé des effets allélopathiques telles que a) le seigle qui contient 16 substances allélopathiques, b) le sorgho dont le système racinaire secrète plusieurs composés allélochimiques comme la sorgoléone et la dhurrine, c) les crucifères qui renferment des substances très allélopathiques (glucosinolates) qui sont libérées soit par exsudation, volatilisation ou par décomposition et d) le tournesol considéré comme une culture allélopathique très importante qui contient 16 acides phénoliques.

Par exemple, au Maroc, nous avons toujours constaté qu'un blé semé après une culture du pois-chiche présente des plants jaunes et nains comparativement à un blé n'ayant pas le pois-chiche comme précédent cultural car ce dernier laisse des substances allélopathiques dans le sol. De même, tous les agriculteurs savent que les chances de réussir le semis d'une nouvelle luzernière sur une parcelle ayant comme précédent une luzerne ou la replantation de jeunes pommiers sur un sol d'un ancien verger du pommier sont très faibles car les deux cultures produisent des substances toxiques pour leurs propres espèces (autotoxicité). La phloridzine est la substance allélopathique libérée par les racines du pommier et qui est toxique vis-à-vis des jeunes plants de la même espèce (Qasem, 2003). L'une des toxines produites par la luzerne est connue sous le nom de « médicarpin » qui se trouve naturellement dans les tissus végétaux de la luzerne et à l'extrémité de ses racines. Cette substance est soluble dans l'eau et se diffuse rapidement dans le sol (Tinniere et Battegay, 2017). Dans la région du Tadla, il a été remarqué que l'infestation de la morelle jaune, dans les luzernières ou dans les cultures installées derrière une luzernière, est très faible. Il a été démontré au laboratoire que la luzerne est allélopathique à tous les stades et contient des substances allélopathiques qui inhibent la germination des graines de la morelle jaune. Généralement, la luzerne sèche est plus allélopathique que la luzerne fraîche (Tableau 12.8). Une autre étude a permis de noter que les extraits de la luzerne, récoltée dans un verger d'agrumes à El Menzeh au Gharb, inhibent la germination et la régénération des fragments des

racines de la morelle jaune. Cet effet inhibiteur est dû à quatre acides phénoliques parmi les sept présents dans la luzerne avec l'acide salicylique qui inhibe totalement la germination des graines et la régénération des racines (Tableau 12.9).

Tableau 12.8: Effet des extraits aqueux de la luzerne sur la germination des semences de la morelle jaune (Bouhache et Assali, 1995).

Parties	Stades de la Luzerne					
	Végétatif		Floraison		Fructification	
	Fraîs	Sec	Fraîs	Sec	Fraîs	Sec
	% de réduction de la germination					
Aérienne	53.0	99.0	61.0	93.0	73.0	76.0
Racinaire	84.0	61.0	57.0	68.0	54.0	93.0

Tableau 12.9: Effet de certains acides phénoliques, contenus dans les extraits aqueux de la luzerne, sur la germination des semences et la régénération de la morelle jaune (Bensellam, 2003).

Acides phénoliques (10 ⁻² mM)	Présence (x)		Inhibition (%)	
	Racine	Partie aérienne	Germination	Régénération racine
Férrulique	x	x	65	40
P-coumarique	x	x	96	0
Salicylique	x	x	100	100
Gentisique	x		100	61
P-hydroxybenzoïque		x	43	67
Gallique	x		73	40
Syringique	x		100	7

9.2. Effet allélopathique des adventices sur les cultures

Cet effet est le plus étudié, ce qui fait la littérature scientifique concernant cet aspect est très abondante (Rice, 1974; Rice, 1984; Qasem et Foy, 2001). L'effet allélopathique dans un agroécosystème peut être positif ou négatif. Pratiquement,

les agriculteurs sont plutôt préoccupés par ce dernier effet à cause des difficultés rencontrées pour atténuer cette interaction négative entre les cultures et les adventices. Effectivement, Qasem et Foy (2001) ont cité 240 espèces d'adventices annuelles ou vivaces ayant un effet allélopathique approuvé sur différentes cultures: céréales, légumineuses, oléagineuses, cultures maraichères et fourragères et même arboricoles fruitières. Parmi ces espèces fréquentes dans les cultures au Maroc, il est à citer *Amaranthus* spp. (allélopathiques vis-à-vis de plusieurs cultures), *Chenopodium album* (maïs, blé, soja, etc.), *C. murale* (tomate, orge, blé, carotte), *Convolvulus arvensis* (Blé), *Cynodon dactylon* (orge, agrumes, pêcher), *Cyperus rotundus* (orge, riz, soja), *Datura stramonium* (lin, tournesol), *Digitaria sanguinalis* (pommier, maïs), *Echinochloa crus-galli* (maïs, soja), *Mercurialis annua* (blé), *Phalaris minor* (blé), *Polygonum aviculare* (luzerne), *Portulaca oleracea* (blé, pois, luzerne), *Rumex crispus* (maïs, blé), *Scandix pecten-veneris* (blé), *Setaria glauca* (maïs), *Sorghum halepense* (plusieurs cultures), *Spergula arvensis* (Brocoli, pois), *Stellaria media* (orge) et *Urtica urens* (blé).

En plus de leurs effets allélopathiques, ces espèces sont aussi très compétitrices, agressives vis-à-vis des cultures et très connues comme des espèces parfois difficiles à contrôler dans les milieux cultivés. La libération des substances allélopathiques dans les milieux cultivés entraînent l'inhibition de la germination, la réduction de la croissance, et par conséquent, la baisse de la quantité et de la qualité des produits récoltés. L'inhibition de la germination est relativement facile à identifier, alors que l'effet sur la croissance est fréquemment difficile à discerner de l'effet d'autres choses ! Au Maroc, trois études ont montré expérimentalement l'effet allélopathique de quatre adventices sur les céréales, l'alpiste ou la laitue. Ainsi, Ghammarte (1999) a trouvé que les extraits aqueux et les résidus de l'oxalide (*Oxalis pes-caprae*) sont allélopathiques vis-à-vis du blé tendre, blé dur et orge (Tableau 12.4). Tandis que, Ben-Ghabrit *et al.* (2017) ont démontré que les extraits aqueux de *Verbesina encelioides* ont affecté la germination et la croissance du blé dur (var. Karim) (Tableaux, 12.5, 12.6 et 12.7). Une autre étude a permis de montrer que les extraits organiques et aqueux à partir des feuilles de deux adventices, *Ricinus communis* et *Ammi visnaga*, ont un pouvoir inhibiteur sur la germination et/ou la croissance de l'alpiste (*Phalaris canariensis*) et de la laitue (*Lactuca sativa*) (About *et al.*, 2018).

9.3. Effet allélopathique des adventices sur d'autres adventices

L'effet allélopathique des adventices sur d'autres adventices est très intéressant en termes de gestion de cette végétation indésirable dans les agroécosystèmes. Cependant, cet aspect n'est pas très étudié et/ou négligé par les agronomes. Certaines adventices ont un potentiel allélopathique qui pourrait être exploité pour résoudre le problème d'autres adventices, ce qui représente une nouvelle source de production des herbicides naturels (Qasem et Foy, 2001). Cet aspect est prometteur

dans les situations où a) d'autres méthodes de lutte font défaut ou ne sont pas très efficaces et b) l'utilisation des herbicides est restrictive. Qasem et Foy (2001) ont rapporté que 64 espèces d'adventices ont un potentiel allélopathique élevé vis-à-vis d'autres adventices y compris des espèces considérées redoutables sur le plan agronomique. Parmi ces espèces qui existent au Maroc, *Chenopodium album* (allélopathique vis-à-vis de *Cyperus esculentus*), *C. murale* (plusieurs adventices), *Eleusine indica* (plusieurs adventices), *Polygonum aviculare* (*C. album*, *Cynodon dactylon*), *Rumex crispus* (*Amaranthus retroflexus*), *Salsola kali* (*Kochia scoparia*), *Sorghum halepense* (*A. retroflexus*, *Digitaria sanguinalis*, *Setaria viridis*), *Tribulus terrestris* (*Amaranthus lividus*, *C. murale*, *Conyza bonariensis*, *Hordeum murinum*, *Solanum nigrum*) et *Typha latifolia* (*Phragmites communis*). L'interaction négative entre les adventices et les cultures d'une part et entre les adventices elles mêmes d'autre part signifie que les relations entre toutes ces espèces, constituant d'une communauté végétale d'un milieu, dépassent la compétition et s'étendent à l'utilisation des substances chimiques pour leur survie.

A l'instar des cultures, certaines adventices ont un effet allélopathique vis-à-vis d'elles mêmes (autotoxicité). Cette dernière est une interaction toujours négative et ne peut pas être stimulatrice. Les substances toxiques peuvent être contenues dans les graines ou dans les tissus. La nature, les causes et les raisons de l'autotoxicité ne sont pas bien comprises par les chercheurs. Cependant, ce phénomène pourrait être exploité dans la gestion des adventices en utilisant les résidus des espèces autotoxiques pour réguler leurs densités et/ou extraire des herbicides naturels contre elles. Qasem et Foy (2001) ont évoqué l'autotoxicité chez 25 espèces adventices dont *Ammi majus*, *Erigeron canadensis*, *Kochia scoparia*, *Plantago lanceolata*, *Salsola kali*, *Sorghum halepense* et *Typha latifolia* qui sont fréquentes dans les milieux cultivés ou perturbés au Maroc.

9.4. Effet allélopathique sur la longévité des semences d'adventices

La persistance des graines des adventices dans le sol est influencée par les conditions environnementales et par les conditions internes des graines. La plupart des graines, qui ne germent pas rapidement dans le sol, sont menacées par la décomposition avant leur germination. Plusieurs études ont montré que les graines ou semences de certaines adventices ont des concentrations très élevées en substances allélochimiques. Ces dernières sont soupçonnées d'être responsables de la grande longévité des graines ou semences d'adventices en les protégeant contre toute attaque ou décomposition par les microbes du sol (Aldrich, 1984; Rice, 1984; Qasem et Foy, 2001). Aldrich (1984) a rapporté que 50 espèces appartenant à 23 familles botaniques dont plusieurs adventices (ex. *Rumex crispus*, *Ambrosia artemisiifolia*) ont des graines ou semences qui renferment des substances antimicrobiennes. Ces substances sont libérées par lessivage ou après décomposition des plantes. De même, les graines ou les semences des adventices

sont aussi protégées contre les microbes du sol par les substances toxiques libérées, à leur proximité, suite à la décomposition des résidus de certaines cultures telles que le maïs, le seigle et le tabac (Aldrich, 1984).

9.5. Effet allélopathique des adventices sur les pathogènes

Nombreuses sont les études ayant montré que certaines adventices libèrent des substances toxiques vis-à-vis des champignons, des bactéries, des virus et des nématodes pathogènes qui attaquent les cultures. De ce fait, cette facette positive des adventices pourrait être exploitée comme source de pesticides naturels pour le contrôle des pathogènes dans un agroécosystème. Cette source renouvelable de pesticides naturels devrait être considérée dans les programmes de protection intégrée des cultures. Qasem et Foy (2001) ont cité 51 espèces adventices ayant cette caractéristique dont *Anagallis arvensis* (effet sur plusieurs champignons), *Calendula arvensis* (*Fusarium oxysporum*), *Chenopodium murale* (plusieurs champignons), *Convolvulus arvensis* (*Fusarium oxysporum*), *Cyperus rotundus* (plusieurs champignons), *Ecballium elaterium* (*Botrytis cinerea*), *Galium tricornutum* (*Verticillia dahliae*), *Inula viscosa* (*Fusarium oxysporum*), *Mercurialis annua* (*Rhizoctonia solani*), *Sisymbrium irio* (plusieurs champignons), *Solanum nigrum* (*Fusarium oxysporum*), *Sonchus oleraceus* (*Rhizoctonia solani*), *Stellaria media* (*Fusarium oxysporum*) et *Urtica urens* (*Fusarium oxysporum*) qui sont considérées comme des adventices fréquentes dans les champs marocains. Généralement, plusieurs types de composés phénoliques entre autres jouent un rôle très important dans la résistance des plantes à l'infection par des champignons, bactéries ou maladies virales.

10. Importance dans la gestion des adventices

La présence des adventices dans un agroécosystème entraîne une baisse de la quantité et/ou de la qualité du produit récolté d'une culture. Jabran *et al.* (2015) ont rapporté que les adventices sont considérées parmi les ennemis des cultures les plus agressifs. A l'échelle mondiale, elles causent une perte de production de 34% en moyenne avec 23, 37, 37, 40 36 et 30% respectivement pour le blé, soja, riz, maïs, cotonnier et pomme de terre. Pour atténuer cet effet négatif des adventices, les agriculteurs utilisent plusieurs méthodes de lutte y compris les désherbages manuel, mécanique, physique, chimique et biologique. A cause des contraintes économiques et environnementales, les limites des méthodes de lutte actuelles et du développement de l'agriculture biologique, il est impératif de chercher d'autres alternatives pour la gestion des adventices. Vu les rôles de l'allélopathie dans les écosystèmes, il est possible de considérer l'allélopathie comme une méthode pratique, innovante, économique et environnementale. Ainsi, elle peut être utilisée toute seule dans certaines situations comme l'agriculture biologique ou combinée avec d'autres méthodes de lutte selon les principes de la lutte intégrée.

Pratiquement, les plantes allélopathiques peuvent être manipulées de plusieurs façons pour le contrôle des adventices dans les agroécosystèmes.

10.1. Cultures intercalaires

L'utilisation de la culture intercalaire est une technique agricole, très adoptée pour plusieurs raisons, et qui consiste à planter ou à cultiver plus d'une culture en même temps et sur la même parcelle. En plus de leurs bénéfices multiples, les plantes allélopathiques peuvent être utilisées, quand c'est possible, comme cultures intercalaires pour contrôler les adventices dans une culture. Cependant, la plante allélopathique devrait être compatible et non compétitive avec la culture principale mais allélopathique vis-à-vis des adventices associées et non pas vis-à-vis de la culture à protéger contre l'effet des adventices. Jabran *et al.* (2015) ont rapporté que l'association de deux cultures allélopathiques, le sorgho et le tournesol, avec le cotonnier a permis de réduire l'infestation des adventices de 60-62% et une augmentation du rendement grain du cotonnier de 17-22%. En outre, le sorgho et le tournesol ont été aussi récoltés, ce qui a permis d'augmenter la productivité de la parcelle, l'utilisation du sol et les bénéfices économiques. Ce scénario peut être envisagé avec l'utilisation des cultures oléagineuses allélopathiques du genre *Brassica* dans plusieurs cultures ou des légumineuses allélochimiques dans certaines céréales. Par exemple, le mélange du maïs et le niébé (haricot sec cultivé en Afrique) a permis de réduire d'environ 50% l'infestation du *Portulaca oleracea*, *Echinochloa crus-galli*, *Corchorus olitorius* et *Dactyloctenium aegyptium* (Jabran *et al.*, 2015).

10.2. Cultures de couverture

Les cultures de couverture (ou intermédiaires) sont semées entre la récolte d'une culture principale et le semis de la culture suivante pendant une période appelée l'interculture. Généralement, ces cultures ne sont pas cultivées pour leur production mais plutôt pour protéger le sol contre l'érosion (vent et eau), conserver l'humidité du sol, enrichir la matière organique du sol, augmenter l'activité microbienne, améliorer la structure du sol, remédier à la compaction des sols, lutter contre les adventices et les pathogènes. Ces derniers sont mieux contrôlés en utilisant des cultures ayant un potentiel allélopathique. Les effets des cultures sur les adventices peuvent être expliqués par la compétition vis-à-vis des ressources du milieu et la libération de substances allélochimiques. Ces dernières peuvent être libérées par les couverts végétaux vivants pendant l'interculture et/ou par les résidus des cultures précédentes suite à la destruction de la culture de couverture mécaniquement ou chimiquement. Les effets des cultures intermédiaires et des cultures intercalaires sont très variables selon le cultivar (Jabran *et al.*, 2015). Un cultivar allélopathique efficace doit supprimer les adventices, donner un rendement et ne pas nuire à la culture suivante.

L'agriculture biologique reste le système de cultures qui dépend beaucoup de la capacité allélochimique des cultures. Effectivement, plusieurs cultures allélopathiques sont indiquées ou utilisées comme cultures de couverture ou intermédiaires comme le canola, le colza, le seigle, les trèfles, les blés, les orges, les moutardes, les avoines, le niébé, le radis fourrager, le ray-grass annuel, certaines vesces, etc. (Jabran *et al.*, 2015). L'efficacité et la durée de l'effet allélopathique de ces cultures pourrait être améliorées en semant la culture principale sur la culture de couverture sans la détruire. Cette technique est fréquemment pratiquée par les agriculteurs qui font le semis direct. De même, en arboriculture, certains agriculteurs introduisent des cultures de couverture (céréales ou/et légumineuses) dans l'inter-rang. Le mélange de plusieurs cultures est plus efficient en termes de suppression des adventices qu'une seule culture. Cet avantage est dû à la diversification et la quantité des substances produites par les espèces incluses dans le mélange. Jabran *et al.* (2015) ont rapporté que le blé est utilisé comme culture intermédiaire avant le cotonnier pour contrôler certaines adventices comme *Eleusine indica*, *Amaranthus palmeri* et *Ipomoea lacunosa*, alors que le seigle est cultivé avant le soja pour supprimer *Chenopodium album* et *Abutilon theophrasti* et le mélange vesce poilue + avoine avant le maïs contre *Digitaria sanguinalis*, *E. indica*, *Amaranthus retroflexus* et *Datura stramonium*. Les cultures de couverture affectent aussi la flore adventice potentielle en réduisant son stock semencier dans le sol. Jabran *et al.* (2015) ont rapporté que le mélange vesce + avoine a réduit le stock semencier du sol de 30 à 70% des adventices dont *Datura stramonium*, *Digitaria sanguinalis*, *Amaranthus retroflexus* et *Eleusine indica*. Cet aspect est mieux valorisé dans la gestion des plantes parasites comme l'orobanche en utilisant les plantes pièges ou appâts pour réduire leur stock semencier dans un sol (voir chapitre 13 sur le parasitisme).

10.3. Rotation des cultures

La rotation des cultures ou rotation culturale est une technique culturale qui consiste à faire succéder sur la même parcelle différentes cultures selon un cycle régulier annuel ou saisonnier. Les rotations peuvent ainsi être biennales, triennales, quadriennales, etc. Généralement, la rotation est pratiquée pour maintenir la productivité et la durabilité d'un sol. Elle est aussi considérée comme un levier agronomique très utilisé pour gérer les adventices d'une culture surtout lorsqu'elle est combinée avec d'autres méthodes de lutte. L'introduction de cultures allélopathiques dans une rotation pourrait améliorer son effet sur les adventices. Plusieurs recherches ont montré que les cultures allélopathiques laissent derrière elles dans le sol des substances allélochimiques et toxiques vis-à-vis des adventices des cultures suivantes dans la succession. Par exemple, il a été remarqué au Tadla qu'un blé derrière le cotonnier n'est jamais infesté par l'avoine stérile à cause des exsudats racinaires allélopathiques libérés par le cotonnier dans le sol. Dans la

même région, 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). D'ailleurs, une des stratégies pour lutter contre la morelle jaune est de commencer par l'installation d'une luzerne sur des parcelles très infestées (Ameur *et al.*, 2005).

10.4. Résidus végétaux

La présence abondante de résidus de plantes à la surface du sol constitue un mulch. Généralement, les parties des plantes non récoltées et/ou non utilisées sont incorporées dans le sol comme engrais vert. Ainsi, les résidus des plantes allélopathiques laissés sur le sol comme mulch ou incorporés dans le sol produisent des substances allélopathiques directement ou indirectement suite à leur décomposition par les microorganismes du sol. Les résidus des cultures tels que le blé, l'orge, le riz, le seigle, le sorgho, le tournesol et les crucifères (*Brassica* spp.) sont connus pour leurs effets inhibiteurs de la germination et de la croissance des adventices. L'efficacité des résidus chute après 4 à 6 semaines à cause de la réduction de la biomasse et la dégradation progressive des substances allélochimiques. Le phénomène allélopathique des résidus décomposés est relativement complexe à cause de l'interaction entre les facteurs du sol, la nature des résidus végétaux et les microorganismes impliqués (Qasem, 2003). L'effet du mulch est plus efficace avant la germination des semences des adventices. Jabran *et al.* (2015) ont rapporté que les mulch à base de résidus d'orge, du seigle ou du triticale ont permis de réduire l'émergence d'*Echinochloa crus-galli* de 27 à 80% et de *Setaria verticillata* de 0 à 67% dans le maïs, comparativement à un maïs sans mulch. Les mêmes auteurs ont également rapporté que l'incorporation des résidus du maïs a permis de baisser l'infestation des adventices de 22 à 47% dans la culture du brocoli qui suit le maïs dans la rotation. L'effet allélopathique des résidus végétaux est encore meilleur lorsqu'il est composé de plus d'une espèce. En plus de la suppression des adventices, le mulch permet aussi de conserver l'humidité du sol et de rendre les nutriments du sol biodisponibles.

10.5. Extraction et synthèse des bio-herbicides

Les adventices peuvent être contrôlées avec des substances allélochimiques extraites directement à partir des débris de cultures ayant un potentiel allélopathique confirmé ou indirectement comme précurseur de la synthèse de nouveaux herbicides ayant des sites d'action différents de ceux des herbicides. Les extraits obtenus sont utilisables seuls ou en combinaison avec un autre herbicide ou une autre méthode de lutte. L'effet des substances allélochimiques dépend de leur concentration dans la solution préparée. A faible concentration, ces substances

agissent comme stimulateurs de la germination et de la croissance des plantes. A forte concentration, elles se comportent comme des herbicides naturels (Farooq *et al.*, 2013). Effectivement, plusieurs recommandations ont été faites quant à l'application des extraits allélopathiques au champ pour contrôler les adventices cibles (Tableau 12.10). Par exemple, l'utilisation des extraits aqueux des feuilles du sorgho a permis de contrôler plusieurs adventices dans le blé, le cotonnier et le riz, et par conséquent, d'augmenter leurs rendements (Tableau 12.10). L'effet est meilleur lorsque les extraits proviennent de plusieurs espèces. Farooq *et al.* (2013) ont rapporté que la combinaison des extraits aqueux du sorgho, d'eucalyptus et du tournesol a réduit la densité des adventices de 65% et a augmenté le rendement du blé de 5,5%. Encore, l'effet des extraits est meilleur lorsqu'il est mélangé avec un herbicide. Dans ce cas, la dose de l'herbicide pourrait être réduite de moitié par rapport à la dose recommandée.

Tableau 12.10: Contrôle des adventices avec les extraits aqueux foliaires de cultures (Source: Farooq *et al.*, 2013).

Extrait allélopathique	Culture	Adventices contrôlées	Augmentation du rendement
Sorgho	Blé	<i>Fumaria indica</i> , <i>Phalaris minor</i> , <i>Rumex dentatus</i> , <i>Chenopodium album</i>	11 – 20%
	Cotonnier	<i>Trianthema portulacastrum</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Cyperus rotundus</i>	18 – 59%
	Riz	<i>Echinochloa colonum</i> , <i>C. rotundus</i> , <i>C. iria</i>	12,5%
Tournesol	Blé	<i>Avena fatua</i> , <i>Melilotus officinalis</i> , <i>P. minor</i> , <i>Rumex obtusifolius</i>	1,6 – 10,7%

Les plantes en général et les cultures en particulier renferment de nombreuses substances du métabolisme secondaire connues pour leur effet allélopathique. La diversité de ces substances allélochimiques représentent une source renouvelable non encore bien exploitée pour découvrir de nouveaux herbicides avec de nouveaux sites d'actions (Qasem, 2003; Dayan et Duke, 2006). Le besoin de ces découvertes est exprimé par les agriculteurs pour deux raisons, a) le problème de résistance des adventices aux herbicides actuels et b) l'absence depuis plus de deux

décennies de nouveaux herbicides avec de nouveaux sites d'action. Effectivement, quelques herbicides extraits des plantes ou imitant des substances allélopathiques sont commercialisés dans plusieurs pays. Par exemple, les herbicides naturels à base de l'acide pélargonique et du citral sont disponibles sur le marché américain des pesticides pour le désherbage des cultures ou des prairies (Dayan *et al.*, 2012). Au Maroc, l'herbicide Lumax 537,5 SE utilisé pour le désherbage du maïs et de la canne à sucre contient dans sa composition une molécule extraite de plantes, la mésotrione. Cette dernière est découverte par Syngenta en s'inspirant d'une molécule (leptospermone) naturellement sécrétée par les racines de l'arbuste « *Callistemon citrinus* », appelé communément lave-biberon. La mésotrione a un large spectre d'action en contrôlant les dicotylédones et les graminées (Weston et Inderjit, 2007). Cette découverte venait du fait qu'en Australie, des chercheurs ont observé une raréfaction des adventices mono et dicotylédones sous l'arbuste producteur et libérateur de la substance allélopathique.

10.6. Amélioration du potentiel allélopathique des cultures

L'effet allélopathique des cultures intermédiaires et intercalaires dépend de l'espèce et/ou de son cultivar ou variété. Les accessions sauvages (ou ancêtres) de ces cultures contenaient des niveaux élevés en composés allélochimiques, mais perdus par la sélection qui ne visait que le rendement. Actuellement, les chercheurs essaient de réintroduire ces traits perdus en criblant les cultivars, accessions ou lignées de plusieurs cultures d'un pays ou de plusieurs pays (Kohli *et al.*, 2006). Jabran *et al.* (2015) ont énuméré les cultivars allélopathiques des principales cultures utilisées dans plusieurs pays: 9 cultivars d'orge (Suède, Grèce), 5 du colza (Australie), 25 du riz (Chine, Corée, Japon, Bangladesh, Iran, USA, Vietnam, Pakistan), 1 du seigle (USA), 16 du blé (Suède, Pakistan, Chine), 1 du sorgho (Irak) et 5 de tournesol (Irak, Pakistan). Un cultivar allélopathique recherché et prometteur doit contrôler les adventices, donner un bon rendement et sans effet négatif sur la culture suivante dans la rotation culturale. Malheureusement, les cultivars ayant un potentiel allélopathique élevé donnent généralement des rendements moins intéressants économiquement. Ceci pourrait être expliqué par la pénalisation du métabolisme primaire (impliqué dans l'élaboration du rendement) suite à la grande production des métabolites secondaires impliqués dans l'expression du phénomène de l'allélopathie (Trezzi *et al.*, 2016).

Le potentiel allélopathique des cultures est un processus génétiquement contrôlé qui pourrait être amélioré. L'incorporation de traits allélopathiques dans les cultivars hautement productifs conduirait certainement à diminuer l'utilisation des herbicides, protéger l'environnement et parfaire la gestion des adventices des agroécosystèmes. L'effet allélopathique peut être amélioré par l'amélioration génétique. Avec les outils biotechnologiques avancés, les scientifiques sont capables d'identifier et d'isoler les gènes allélopathiques à partir d'une plante

allélopathique et de les transférer à une autre plante non allélopathique. Deux principales approches sont utilisées pour créer des cultivars allélopathiques: la méthode classique de sélection basée sur les croisements et la méthode moderne basée sur la biologie moléculaire et le génie génétique (Trezzi *et al.*, 2016). Pour les deux approches, le criblage ou le screening des cultivars existants constitue la première étape d'un programme d'amélioration génétique. Par exemple, aux USA, la création de cultivars allélopathiques du riz a nécessité le criblage de 17 279 accessions du riz provenant de 110 pays dont 145 accessions ont un potentiel allélopathique vis-à-vis d'*Ammannia coccinea*, 412 vis-à-vis d'*Heteranthera limosa* et 94 vis-à-vis d'*Echinochloa crus-galli* (adventice redoutable du riz) (Kohli *et al.*, 2006). La méthode classique a permis de créer et de commercialiser des cultivars allélopathiques de certaines cultures en Suède et en Chine (Kong *et al.*, 2019). Par exemple, en Chine, une série de croisements entre un cultivar hautement allélopathique et un cultivar commercial hautement productif a permis de commercialiser pour la première fois une lignée du riz allélopathique vis-à-vis des adventices sous le nom de «Huagan-3» (Kong, 2011). Récemment, plusieurs cultivars allélopathiques du riz sont cultivés à grande échelle au sud de la Chine (Kong *et al.*, 2019). 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 et le riz 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 *et al.*, 2016). Vu les limitations par les facteurs biotiques et abiotiques, l'allélopathie ne devrait pas remplacer les autres méthodes de lutte contre les adventices, mais elle devrait être une composante (parfois importante selon le système de culture) d'une gestion intégrée de la flore adventice d'un agroécosystème.

Page laissée vierge

Chapitre 13: Parasitisme

1. Définition et nature des plantes parasites

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 entre les cultures et les adventices d'un agroécosystème. 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. Tout simplement, 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. Malgré leur grande diversité, les plantes parasites sont moins nombreuses. Sur les 420 000 espèces des phanérogames du globe terrestre, environ 4 700 espèces (environ 1%) appartenant à 280 genres et 20 familles botaniques sont qualifiées de plantes parasites. La totalité de ces espèces appartiennent à la classe des dicotylédones, groupe qui représente 2,5% (Raynal-Roques et Paré, 1998; Heide-Jorgensen, 2008).

Les plantes parasites attaquent les plantes hôtes dans de tous les milieux à l'exception des milieux aquatiques. La compétition vis-à-vis de l'eau est considérée comme une force motrice de l'évolution des plantes. Ainsi, l'eau n'est pas une contrainte à la croissance et au développement des plantes dans les milieux aquatiques. Donc, il n'est pas avantageux qu'une espèce évolue en espèce parasite pour pomper de l'eau à partir d'une autre espèce. Au Maroc, 17 espèces ont été inventoriées comme plantes parasites des milieux cultivés ou artificialisés, ce qui représente 2% de notre flore adventice. Toutes ces espèces sont des dicotylédones appartenant à quatre familles botaniques uniquement, *Orobanchaceae* (ex. orobanche), *Convolvulaceae* (ex. cuscute), *Viscaceae* (ex. gui) et *Santalaceae* (ex. thésium) (Boulet *et al.*, 1989). Certaines plantes parasites sont des généralistes et parasitent de nombreuses espèces différentes. D'autres plantes parasites sont des spécialistes qui parasitent une ou plusieurs espèces végétales.

2. Mécanismes de contact avec l'hôte

Quelque soit le degré de dépendance d'une plante parasite, l'absence d'un hôte conduit à une réduction dans sa croissance et son développement, ce qui entraîne la mort chez les plantes holoparasites. Pour survivre, les plantes parasites ont développé, au cours de leur évolution naturelle, des mécanismes sophistiqués qui leur permettent de trouver rapidement leurs plantes hôtes souhaitables.

Généralement, quatre mécanismes ont été acquis par ces plantes pour augmenter les chances d'être en contact avec leurs hôtes spécifiques ou préférés. Certaines espèces parasites ont de grosses graines (cas de la cuscute) qui renferment plus de réserves qui leur donnent suffisamment de ressources et de temps (5-10 jours) pour trouver l'hôte avec toute indépendance. D'autres espèces parasites ont des fruits juteux, colorés et sucrés qui attirent les oiseaux qui assurent leur dissémination sur de longues distances (cas du gui à fruits rouges). Les oiseaux consomment les baies et rejettent les graines dans leurs excréments, déposés sur les branches d'autres arbres. Pour une dissémination à courte distance, les fruits mûrs projettent leurs graines sous la pression d'un mécanisme hydrostatique (cas du gui nain). Le quatrième mécanisme implique l'exsudation de substances chimiques, par les racines de la plante hôte, reconnaissables, attractives et stimulatrices de la germination des semences de la plante parasite (cas de l'orobanche).

3. Types de plantes parasites

Les plantes parasites des agroécosystèmes peuvent être distinguées ou classées selon trois critères: présence ou absence de la chlorophylle, degré de dépendance de l'hôte et la partie attaquée ou parasitée. Les plantes chlorophylliennes ou plantes vertes, ayant une certaine activité photosynthétique, sont appelés **hémiparasites** (ou **semi-parasites**). Celles qui manquent de chlorophylle (achlorophylliennes) et qui dépendent totalement de leurs hôtes pour leur nutrition et hydratation sont appelées **holoparasites**. Des sous-catégories de ces deux types peuvent aussi être distinguées: les **hémiparasites obligatoires**, les **hémiparasites facultatives** et les **endoparasites** (holoparasites à organisme moins organisé et qui se développent à l'intérieur des tissus de l'hôte à l'exception des fleurs qui apparaissent à l'extérieur) (Raynal-Roques et Paré, 1998). Une autre distinction entre les parasites concerne leur dépendance de l'hôte. Les **parasites obligatoires** nécessitent un hôte pour compléter leurs cycles de vie, tandis que les **parasites facultatifs** peuvent terminer leurs cycles de vie indépendamment d'un hôte. Si les hémiparasites peuvent être des parasites facultatifs, les holoparasites sont forcément des parasites obligatoires. Enfin, les plantes parasites qui attaquent la partie aérienne de la plante hôte (tiges) sont appelées caulinaires ou **épiphytes** et celles qui parasitent la partie souterraine sont appelées racinaires ou **épirhizes**. Les plantes parasites qui attaquent d'autres plantes parasites sont qualifiées d'**épiparasites**, **hyperparasites** ou **superparasites** et celles qui parasitent ses propres individus (plantes de la même espèce) sont appelées **autoparasites**. Généralement, a) 36% des plantes parasites attaquent la partie aérienne et 64% se fixent sur les racines et b) 88% sont des hémiparasites, 11% sont des holoparasites et 1% sont des endoparasites (Raynal-Roques et Paré,

1998). La typologie des quatre familles qui fournissent la totalité des plantes adventices parasites du Maroc est donnée dans le tableau 13.1.

Tableau 13.1: Typologie des plantes parasites du Maroc.

Partie parasitée	Présence ou absence de chlorophylle	Degré de dépendance	Famille botanique	Exemple d'espèces*
Tiges	Holoparasites	Obligatoire	<i>Convolvulaceae</i>	Cuscute
	Hémiparasites	Obligatoire	<i>Viscaceae</i>	Gui
Racines	Holoparasites	Obligatoire	<i>Orobanchaceae</i>	Orobanche
	Hémiparasites	Facultative	<i>Santalaceae</i>	Thésium

*Espèces problématiques au Maroc.

4. Caractéristiques physiologiques

Bien que plusieurs espèces parasites contiennent une quantité de chlorophylle (ex. gui et thésium), d'autres en sont dépourvues (ex. orobanche, cuscute). Apparemment, les plantes parasites ayant la chlorophylle sont capables d'assurer une quantité de photosynthèse. L'utilisation des éléments marqués a permis de démontrer expérimentalement qu'il y a un passage de composés organiques, de minéraux et d'eau de la plante hôte vers la plante parasite. Le degré de dépendance des plantes parasites dépend de l'espèce et de son âge ou stade (Radosevich *et al.*, 2007). L'organe principal des plantes parasites qui leur permet l'attachement et la pénétration dans les tissus de l'hôte est l'haustorium (Fig. 13.1). Ce dernier a une structure multicellulaire qui varie selon les espèces, mais il a la même fonction: attachement et connexion avec le système vasculaire. Cet organe est un pont morphologique et physiologique qui assure la circulation et le transfert de tous les besoins de la plante parasite à partir de la plante hôte ou parasitée. Même les hormones sont échangées entre elles, ce qui provoque parfois une synchronisation de la floraison entre l'hôte et le parasite (Radosevich *et al.*, 2007). Westwood (2013) a rapporté que des flux de matériaux de la plante parasite vers la plante hôte sont aussi observés et prouvés expérimentalement. Ce mouvement inverse est soumis à quelques conditions telles que le phénomène d'osmose. L'haustorium pénètre au niveau de la racine de l'hôte par dégradation enzymatique et mécanique et finit par établir des connections avec le système vasculaire de l'hôte. Plusieurs plantes parasites sont connectées exclusivement au xylème et d'autres au xylème et au phloème à la fois et dont la contribution respective de ces deux conducteurs varie avec l'espèce. Plusieurs aspects relatifs à la physiologie de l'haustorium

restent inconnus comme, par exemple, le mécanisme exact de prélèvement des ressources à partir de l'hôte et le devenir métabolique de ces ressources dans la plante parasite (Westwood, 2013).



Figure 13.1: Fixation de l'orobanche via l'haustorium sur la racine de la plante hôte (Anonyme, 1995).

5. Evolution du parasitisme

Le parasitisme est un mode de vie plus évolué. Cependant, l'évolution exacte de certaines plantes qui sont devenues parasites reste un mystère. Les explications avancées ne sont pas complètement convaincantes. Les analyses moléculaires de la séquence des gènes ont suggéré que le comportement parasitaire a évolué plusieurs fois chez les angiospermes (environ 12 à 13 fois) indépendamment (Heide-Jorgensen, 2008). Plus le degré de dépendance augmente, plus de profonds changements sont observés sur la morphologie de la plante parasite.

L'holoparasitisme (11% des espèces) signifie la dépendance totale de l'hôte en termes d'alimentation en eau, en sels minéraux et en matières carbonées issues de la photosynthèse de l'hôte (hétérotrophie). Ce dernier mode de vie s'est accompagné au cours de l'évolution d'une forte réduction des organes assurant l'autotrophie: le système racinaire est réduit à quelques racines adventives très courtes et les feuilles réduites en écailles éparses sur les tiges. Les organes reproducteurs ont été très peu touchés par cette évolution. Par exemple, les orobanches ont des fleurs « normales », tout au moins similaires à leurs proches parents non parasites. L'événement évolutif qui a provoqué le parasitisme chez les plantes a été le développement de l'haustorium (Raynal-Roques et Paré, 1998).

Les plantes hémiparasites (88% des espèces) sont considérées les moins avancées dans le sens de spécialisation parasitaire. Cependant, les holoparasites endoparasites qui constituent 1% de l'effectif spécifique des plantes parasites sont les plus évoluées ou différenciées dans ce mode de vie. La forte représentation des hémiparasites, dont une partie a un parasitisme facultatif, conduit à admettre que le phénomène de parasitisme est à son début de différenciation. De même, il est admis que les plantes parasites des parties aériennes soient dérivées de celles qui parasitent la partie souterraine. D'ailleurs certains genres de la famille des *Santalaceae* et des *Viscaceae* comprennent des espèces épiphytes et épiphytes (Heide-Jorgensen, 2008). Ceci veut dire que peu d'espèces ont atteint le stade hautement spécialisé comme les endoparasites. Ainsi, les systématiciens supposaient que les espèces parasites deviendront plus nombreuses et plus spécialisées dans l'avenir (Raynal-Roques et Paré, 1998). La famille botanique des *Orobanchaceae*, la seule famille qui contient à la fois des espèces holoparasites et hémiparasites, représente un modèle idéal pour l'étude de l'évolution du phénomène de parasitisme chez les plantes à fleurs. Il paraît que les cuscutes n'ont pas suivi le même chemin d'évolution. Probablement, elles sont dérivées des plantes autotrophes car les cuscutes sont les seules plantes parasites au sein de leur famille botanique (Heide-Jorgensen, 2008).

6. Effets des plantes parasites

Dans une association hôte-parasite, la plante parasite est très avantagée en exprimant toutes ses potentialités biologiques de croissance et de développement, alors que la plante hôte ou exploitée est très défavorisée (Caussanel, 1989). La croissance et le développement d'une culture, depuis sa germination à la reproduction, sont basés sur des alternances de priorités entre les organes pour finir en allouant plus de ressources aux organes de reproduction. Les plantes parasites réduisent la quantité de produits récoltés d'une culture (rendement). Cette réduction est due à la perturbation de l'allocation des ressources en favorisant les organes proches du parasite (racines dans le cas des épiphytes et tiges dans le cas des épiphytes), ceci est en faveur du parasite (qui est bien servi) pour accomplir

son cycle de développement (Fernandez-Aparicio *et al.*, 2020). En effet, le détournement des composés organiques, des minéraux et d'eau par les plantes parasites aux dépens de leurs hôtes induit des dégâts et des symptômes visibles comme le flétrissement, la réduction de la hauteur, la réduction de la biomasse, la baisse du rendement, la chute des fleurs de la plante hôte et la baisse de la qualité des semences. En outre, certaines plantes parasites peuvent transmettre des agents pathogènes comme les virus dans le cas des cuscutes ou faire circuler des herbicides systémiques. Pour les essences arboricoles (fruitières ou forestières), le gui provoque un affaiblissement des arbres parasités, une réduction de l'accroissement (diamètre et hauteur) et une altération de la qualité du bois (arbres forestiers). L'installation généralisée du gui dans la cime d'un arbre conduit au dépérissement et à la mort de l'arbre.

7. Spécificité des hôtes

La préférence d'une espèce parasite pourrait être un critère parfois déterminant pour son identification taxonomique. Par exemple, le gui qui appartient au genre *Arceuthobium* n'attaque que les conifères. Effectivement, certaines espèces parasites se développent uniquement sur une seule espèce, tandis que d'autres parasitent une gamme d'espèces comme signe de leur faible degré de spécificité. De même, une espèce peut être hôte de plusieurs espèces parasites. Généralement, les épiphytes, à l'exception des cuscutes, s'installent sur les espèces ligneuses, alors que les épirhizes préfèrent les espèces herbacées (Heide-Jorgensen, 2008). En outre, les dicotylédones sont plus parasitées que les monocotylédones, bien que certaines graminées soient attaquées (ex. *Striga* sur blé ou maïs). La détermination précise de la gamme d'hôtes est relativement très difficile car le comportement d'une espèce parasite dans les conditions naturelles change dans les conditions artificielles. En outre, une espèce non parasitée ne signifie pas forcément que l'espèce parasite ne peut pas croître sur l'espèce non-hôte, mais parfois le non parasitisme est dû à certains facteurs écologiques (Heide-Jorgensen, 2008). Cet auteur a souligné que la distribution géographique d'une espèce parasite n'est jamais plus large que celle des plantes hôtes, mais parfois plus réduite. La présence ou l'absence de la lumière (ex. hémiparasites caulinaires sont fréquentes dans les milieux ensoleillés) et la biologie du vecteur de dissémination (ex. oiseaux pour le gui) sont d'autres facteurs qui influent sur la spécificité d'hôtes. Le nombre potentiel d'hôtes utilisables par une espèce parasite est déterminé par la génétique et l'incompatibilité biochimique. Pratiquement, les relations entre la géographie et la biologie des disséminateurs restent les facteurs qui déterminent la gamme d'hôtes spécifiques d'une espèce parasite (Heide-Jorgensen, 2008).

8. Diversité systématique des plantes parasites du Maroc

Les plantes parasites des milieux naturels et cultivés sont fournies par des espèces appartenant à cinq familles botaniques, *Convulvulaceae*, *Orobanchaceae*, *Santalaceae*, *Scrophulariaceae* et *Viscaceae*. La famille des *Convulvulaceae* est représentée par un seul genre, *Cuscuta* sp., le plus important agronomiquement et qui comprend 13 espèces avec deux espèces endémiques marocaines et plusieurs sous-espèces et variétés (Saffour, 1999; Fennane *et al.*, 2007; Baye *et al.*, 2009). La famille des *Orobanchaceae* est représentée par deux genres, *Orobanche* sp. et *Cistanche* sp. Ce dernier comprend trois espèces qui se rencontrent essentiellement sur des espèces pastorales des steppes désertiques ou des pâturages arides du littoral: *C. mauritanica*, *C. phelypaea* et *C. violacea*. Le genre *Orobanche* sp., le plus dévastateur, comprend 33 espèces avec 7 espèces endémiques et plusieurs sous-espèces et variétés (Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007). Quant aux *Santalaceae*, ils sont représentés par deux genres, *Osyris* sp. et *Thesium* sp. Le premier fournit deux espèces hémiparasites des forêts et matorrals, *O. alba* et *O. quadripartita*. Le deuxième genre comprend trois espèces parasites des matorrals et/ou steppes, *Thesium humifusum*, *T. mauritanicum* et *T. humile*. Celle-ci est la seule qui attaque les cultures. La famille des *Scrophulariaceae* fournit une seule espèce hémiparasite des euphorbes cactoïdes, *Striga gesneroides* (Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007). Le striga est une espèce parasite dévastatrice des cultures (surtout les graminées) dans les régions de l'Afrique subsaharienne. Certains auteurs ont classé les espèces du *Striga* dans la famille des *Orobanchaceae* (Heide-Jorgensen, 2008). Enfin, les *Viscaceae* (ou *Loranthaceae*) sont représentées par deux genres, *Arceuthobium* sp. et *Viscum* sp. Une seule espèce du premier genre (*A. oxycedri*) est fréquemment observée sur le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) dans les montagnes du moyen et grand Atlas et du Rif. Alors que, le deuxième comprend deux espèces, *Viscum album* (le gui blanc) sur le pin maritime (*Pinus pinaster*) et *V. cruciatum* (le gui rouge) qui parasite de nombreuses espèces ligneuses sauvages et cultivées (Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007).

9. Cas des orobanches

9.1. Diversité et distribution géographique

Les orobanches sont des dicotylédones dépourvues de la chlorophylle (plantes non photosynthétiques) et de racines normales, mais elles ont des tiges charnues avec des feuilles réduites en écailles (Fig.13.2). Les orobanches se développent sur les racines des plantes hôtes. Ce sont des angiospermes holoparasites (ou parasites strictes) appartenant systématiquement à l'ordre des *Lamiales* (ou *Personatae*), famille des *Orobanchaceae* et genre *Orobanche*. La famille des *Orobanchaceae* contient 213 espèces appartenant à 13 genres dont le genre *Orobanche* regroupe à

lui seul environ 160 espèces. Cependant, les cultures ne sont menacées que par un nombre restreint de ces espèces: *O. crenata* Forsk., *O. aegyptiaca* Pers., *O. ramosa* L., *O. cernua* Loefl. et *O. minor* Sm. (Zemrag, 1999; Saffour, 2003) (Tableau 13.2).

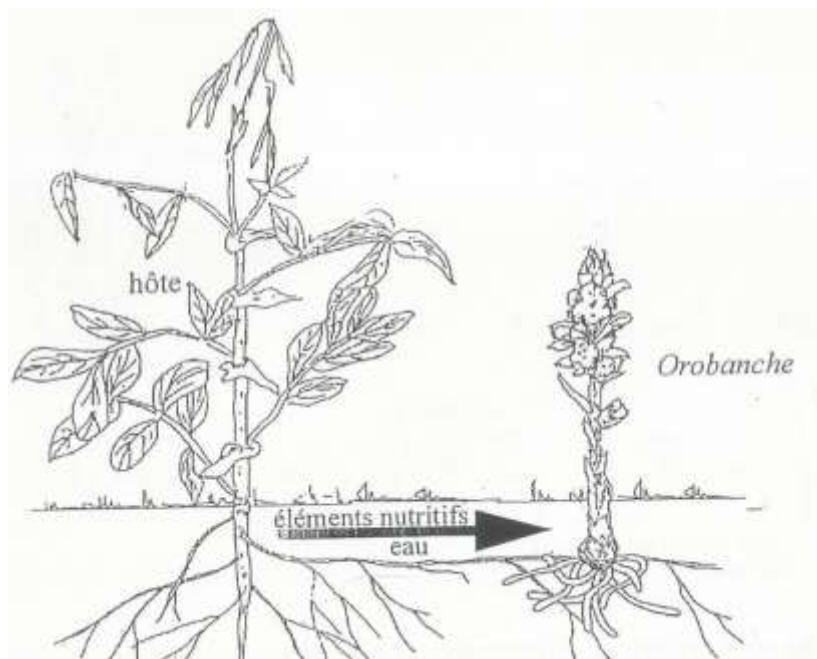


Figure 13.2: Une plante de l’orobanche et sa relation avec la plante hôte (Anonyme, 1995).

La majorité des orobanches se localise dans l'hémisphère nord du globe, essentiellement dans les régions tempérées, les zones arides et semi-arides. Le berceau principal des orobanches est cependant le pourtour du bassin méditerranéen, le sud-ouest de l'Asie et quelques autres régions ayant un climat méditerranéen comme l'ouest de l'Australie, la Californie, etc. (Fer et Thalouarn, 1997). La région délimitée par le Maroc, l'Italie, l'Espagne et la Turquie est présumée être l'aire d'origine des orobanches. Toutefois, certaines espèces se développent dans d'autres régions du globe. Ennami (2018) a rapporté qu'*O. crenata* reste l'espèce parasite la plus importante et la plus dévastatrice des légumineuses alimentaires et sa distribution géographique s'étend du sud de l'Europe jusqu'au nord de l'Afrique et du Proche-Orient jusqu'à l'Iran.

Tableau 13.2: Principales plantes cultivées, hôtes des espèces d'orobanche
(Source: Saffour, 2003).

Famille/culture	<i>O. ramosa</i>	<i>O. aegyptiaca</i>	<i>O. minor</i>	<i>O. cernua</i>	<i>O. crenata</i>
<i>Alliaceae</i>					
oignon	X	-	-	-	-
<i>Cannabaceae</i>					
chanvre	XX	-	-	-	-
<i>Asteraceae</i>					
laitue	XX	-	X	-	X
carthame	-	-	X	-	-
tournesol	X	XX	-	XXX	X
<i>Brassicaceae</i>					
chou	X	X	-	-	-
moutarde	XX	XXX	-	-	-
colza	XXX	X	-	-	-
<i>Cucurbitaceae</i>					
concombre	X	XX	-	-	-
melon	X	XX	-	-	X
courge	X	XX	-	-	-
pastèque	X	XX	-	-	-
<i>Fabaceae</i>					
lotier	-	-	X	-	-
pois chiche	X	X	-	-	XX
trèfle	X	-	XX	-	-
arachide	X	X	X	-	X
fève	X	X	X	-	XXX
lentille	X	X	-	-	XX
luzerne	-	-	XX	-	-
pois	X	X	-	-	X
<i>Solanaceae</i>					
aubergine	XXX	XXX	-	XX	-
piment	X	X	-	-	-
pomme de terre	X	X	-	-	-
tabac	XXX	XXX	X	XXX	-
tomate	XXX	XXX	-	XX	X
<i>Apiaceae</i>					
carotte	X	X	X	-	XX
céleri	X	X	X	-	X
fenouil	X	X	-	-	-
panais	X	X	-	-	-

XXX: attaque sérieuse, XX: attaque modérée, X: attaque légère, -: attaque doutée.

9.2. Biologie et cycle de développement

La plupart des orobanches sont des annuelles et se reproduisent par graine. Leur cycle se déroule en deux phases séparées dans le temps et dans l'espace: une phase de développement souterraine qui débute de la germination des graines jusqu'à la formation des bourgeons et une phase aérienne qui commence à partir de l'émergence des tiges (hampes florales) jusqu'à la maturité et la dissémination des graines (Fig. 13.3). L'orobanche boucle son cycle en 3 à 7 mois, tandis que la phase souterraine peut durer 30 à 100 jours selon les conditions du milieu (Saffour, 2003).

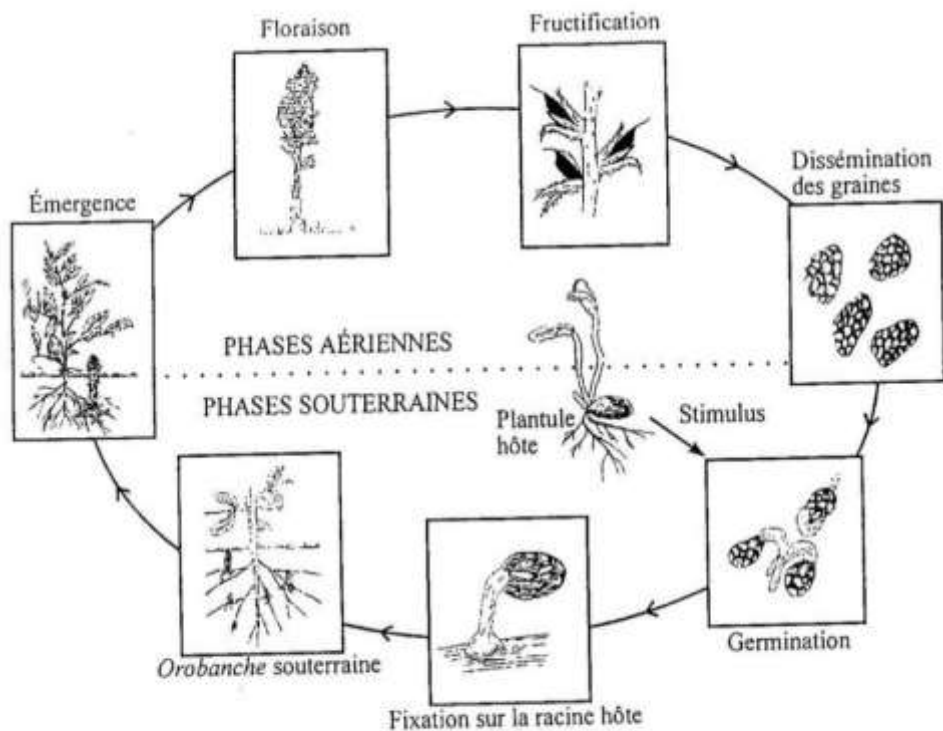


Figure 13.3: Cycle de développement de l'orobanche (Anonyme, 1995).

- **Production et dissémination des graines:** les orobanches sont caractérisées par une grande production de graines. Un pied d'orobanche peut produire entre 50 000 à 500 000 graines, soit 500 à 5 000 graines/capsule avec en moyenne 100 capsules/pied. Le poids de 1 000 graines est 2,9 mg. Les graines qui se présentent comme une poussière ont une taille minuscule (0,2 à 0,4 mm) et ont une dormance primaire profonde (Zemrag, 1999). Cette quantité de graines permet aux orobanches d'avoir une grande diversité génétique et une grande adaptation aux divers changements relatifs à l'environnement, plantes hôtes, pratiques culturales, etc. Les graines d'orobanche enfouies dans le sol sont susceptibles de conserver leur viabilité entre 12 et 30 ans (Qasem, 2003). Ainsi, le stock semencier reste une source d'infestation renouvelable et inépuisable qu'il faut considérer dans tout programme de gestion de ce fléau. Ce stock peut atteindre quatre millions de graines par m² dont 80% est localisé dans les premiers 30 cm d'un sol infesté (Zemrag, 1999). Compte tenu du nombre et de la taille, les graines de l'orobanche sont facilement et efficacement disséminées par plusieurs vecteurs: les eaux d'irrigation et d'inondation, le vent, les animaux, les machines et outils agricoles, le fumier, le sol et les semences contaminés, etc.
- **Germination:** les graines fraîchement produites sont incapables de germer et nécessitent une période de postmaturation pour la levée de leur dormance. Après cette période, les graines ont besoin de deux conditions pour germer. Les graines doivent passer par une période de préconditionnement qui consiste à maintenir les graines à l'état hydraté durant 7 à 14 jours et à une température de 18 à 23°C selon l'espèce. Ce préconditionnement entraîne des modifications internes qui préparent les graines à être sensibles à l'action des signaux chimiques émanant des plantes hôtes ou non hôtes ou de certains microbes. La présence de ces substances stimulatrices est la deuxième condition nécessaire à la germination des graines des orobanches. Ces substances sont les seules capables d'induire la germination des graines et interviennent 3 à 4 jours après leur perception. De même, ces substances sont actives à de très faibles doses et sur des graines qui se trouvent dans la rhizosphère de la plante hôte émettrice de ces substances. Parfois, les graines des orobanches peuvent être engagées dans des germinations suicides dans le cas où les signaux chimiques émanent des plantes non hôtes ou d'autres sources. Si les graines préconditionnées n'ont pas perçu

le signal chimique après 3 à 4 semaines, elles entrent en dormance secondaire. Cette dernière n'est levée que par une déshydratation prolongée, alors que la germination n'a lieu qu'après une autre période de préconditionnement et la perception d'un nouveau signal chimique. Ces exigences jouent un rôle très important dans le maintien des graines viables pour de longues durées. Le processus de germination se termine par l'émission d'un germe tubulaire (tube germinatif ou procaulôme) de couleur jaune-orange et d'une longueur de 3 à 4 mm. Le procaulôme montre un chimiotropisme positif et croît vers les racines de l'hôte (Fer et Thalouarn, 1997; Zemrag, 1999; Fernandez-Aparicio *et al.*, 2020). A l'instar des graines des plantes non parasites ou autotrophes, la germination des graines des plantes parasites ou hétérotrophes est aussi influencée par d'autres facteurs tels que la température, l'humidité, l'oxygène, le pH et le type du sol, les fertilisants et surtout l'azote, etc. (Qasem, 2003; Saffour, 2003).

- **Fixation sur les racines de l'hôte:** une fois le procaulôme est en contact avec la racine de l'hôte, son extrémité se fixe sur l'hôte grâce à la sécrétion d'une substance visqueuse et collante et s'épaissit (Fig. 13.1). Cet épaississement est nommé l'appressorium. Un procaulôme émanant d'une graine distante de l'hôte de plus de 4 mm ou n'ayant pas pu trouver l'hôte convenable après quelques jours de sa germination meurt et il est perdu une fois pour toute. Grâce aux actions enzymatique et mécanique, l'appressorium pénètre dans la racine de l'hôte et forme le suçoir ou l'haustorium. La partie terminale du procaulôme restée à l'extérieur de la racine de l'hôte forme une masse gélatineuse ou un tubercule de couleur orange et de diamètre de 0,5 à 2,5 cm de diamètre. Le procaulôme est un organe très important et clé pour la survie d'une plante parasite. Il assure la connexion directe entre le système vasculaire de l'hôte et celui du parasite. Cette phase initiale du cycle de développement s'effectue en utilisant les réserves de la graine.

La prolifération des cellules à la base et à la périphérie du tubercule conduit à la formation des racines adventives dont le développement est très limité (Fig. 13.4). Cependant, les cellules qui se trouvent au sommet du tubercule donnent naissance au méristème caulinaire (Fig. 13.4). La croissance rapide de ce dernier permet le développement d'une hampe florale qui ne

tarde pas à émerger à la surface du sol pour marquer le début de la phase aérienne du cycle de développement de l'orobanche. Généralement, uniquement 10 à 30% des orobanches fixées sur la racine émergent. Cette perte est due principalement à une compétition intraspécifique des orobanches. Après émergence au pied de l'hôte, les hampe florales croissent rapidement et aboutissent à la formation des milliers de graines par plante d'orobanche (Fer et Thalouarn, 1997; Zemrag, 1999; Fernandez-Aparicio *et al.*, 2020).

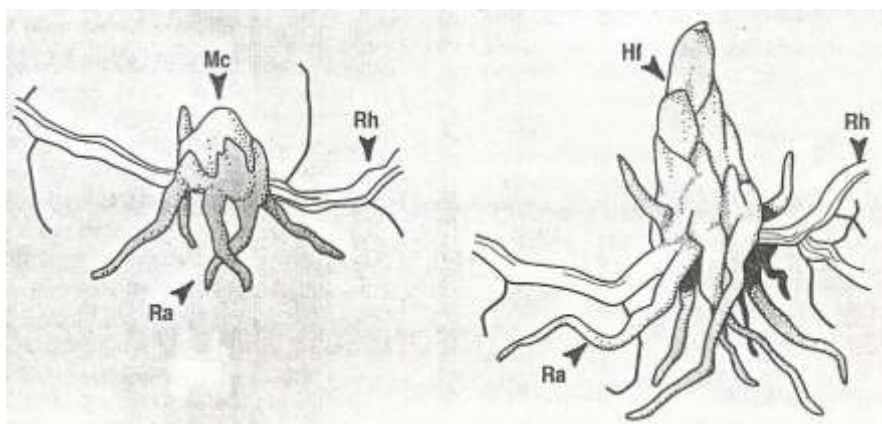


Figure 13.4: Développement d'*O. ramosa*, fixé sur la racine de l'hôte avec **M**: méristème caulinaire, **Ra**: racine adventive, **Rh**: racine de l'hôte et **Hf**: hampe florale (Source: Fer et Thalouarn, 1997).

9.3. Importance de l'orobanche au Maroc

Appelé communément choual lakhrouf ou louted ou faroûn en dialecte marocain, l'orobanche n'a pas épargné les cultures. Ainsi, les infestations de l'orobanche crénelée (*O.crenata*) sur les cultures de fève ont été signalées en 1943 dans la région de Fès (Zemrag, 1999). Depuis, l'orobanche n'a cessé de s'étendre à d'autres régions agricoles où les légumineuses alimentaires sont cultivées.

Actuellement, ce fléau a presque envahi toutes les régions agricoles avec apparition d'autres espèces d'orobanche et infestation d'autres cultures.

Les dernières prospections ont permis de souligner qu'*Orobanche crenata* Forsk. (fleur blanche), *O. ramosa* L./*aegyptiaca* Pers. (fleur bleu-violette), *O. foetida* Poir. (fleur rouge) et *O. cumana* Wallr. (fleur blanche-violette) sont les quatre principales espèces problématiques des cultures au Maroc (Saffour, 2003; Bouhache et Dahan, 2008; Nabloussi, 2018). La première espèce reste la plus importante et la plus dévastatrice des légumineuses alimentaires (fève, féverole, lentille, petit pois et pois-chiche) et de la carotte. La fève et la féverole sont les cultures les plus touchées par cette espèce. Le taux d'infestation varie de 0 à 100% des champs selon la région avec une moyenne de 69%. La sévérité d'attaque a été estimée à 13 tiges/m². Ce niveau de parasitisme a causé une perte de rendement de la fève de 0 à 46% avec une moyenne nationale de 37%. Ceci correspond à une marge à gagner de 33,5 millions de dollars/an (Saffour, 2003).

Le complexe *O. ramosa/aegyptiaca* (actuellement nommé *Phelipanche ramosa/aegyptiaca*) vient en deuxième position en parasitant la fève, la féverole, le pois-chiche, la lentille, la luzerne, le colza, le melon, la tomate et la carotte. Dans la culture de fève, cette espèce a été rencontrée dans quatre régions avec un taux d'infestation de 4,2% et une sévérité qui ne dépasse pas deux tiges /pied de Fève (Saffour, 2003).

La troisième espèce *O. foetida* a été trouvée sous forme de quelques taches localisées sur fève, féverole et luzerne dans quelques régions du Maroc. Le taux d'infestation et la sévérité n'étaient pas alarmants (Zemrag, 1994; Saffour, 2003). Mais cette orobanche constitue une menace et un danger potentiel pour la fève si des mesures de prévention ne sont pas prises pour arrêter son extension et d'éviter le genre de situation observée en Tunisie (dévastation des cultures).

La quatrième espèce *O. cumana* a été signalée dans quelques champs de tournesol dans la région de Souk El Arbaa au Gharb. Les infestations observées ont été considérées très sévères. Les semences non certifiées utilisées par les agriculteurs, d'une année à l'autre, sont soupçonnées d'être à l'origine de ces infestations. Des pertes de rendement de tournesol de 80% ont été estimées dans le cas des parcelles hautement infestées. En 2017, des foyers d'infestation de l'orobanche de tournesol ont été aussi observés dans la région d'Aïn Jemâa au Gharb (Nabloussi, 2018). Ceci implique qu'il est urgent de prendre des mesures de lutte et/ou de surveillance pour stopper la dissémination rapide de ce fléau.

10. Cas des cuscutes

10.1. Diversité et distribution géographique

Les cuscutes sont des plantes annuelles qui parasitent la partie aérienne (feuilles et tiges) des cultures et des plantes spontanées. Ce sont des plantes sans feuilles, généralement dépourvues de chlorophylle et de racines et ne se développent qu'en présence de plantes hôtes. Les cuscutes sont reconnaissables par leurs tiges fines, filamenteuses, rameuses, volubiles, de couleur blanchâtre à jaunâtre-orangé, pouvant atteindre 1 à 3 mm de diamètre et de taille indéfinie. Ces filaments entourent les tiges (ou tout support) et recouvrent les plantes hôtes (Fig. 13.5). Ce sont des angiospermes holoparasites (ou parasites strictes) appartenant systématiquement à l'ordre des *Solanales*, famille des *Convolvulaceae* (ou *Cuscutaceae*) et genre *Cuscuta*. Ce dernier est le seul genre de la famille des *Convolvulaceae* qui renferme les espèces parasites avec 145 à 250 espèces (Heide-Jorgensen, 2008). Cependant, Dawson *et al.* (1994) avançaient un nombre de 150 espèces dont quelques unes sont agronomiquement importantes (Tableau 13.3). Les cuscutes sont cosmopolites et ont une aire géographique plus large que celle des orobanches. Elles sont présentes sur tous les continents mais plus abondantes dans les régions tropicales et subtropicales. La majorité des cuscutes (75%) sont originaires du continent américain (Heide-Jorgensen, 2008).

Tableau 13.3: Principales cuscutes des cultures (Dawson *et al.*, 1994; Qasem, 2003).

Espèces	Cultures hôtes	Distribution
<i>Cuscuta australis</i>	Soja	Chine
<i>Cuscuta campestris</i>	Plusieurs	Mondiale
<i>Cuscuta chinensis</i>	Légumineuses alimentaires	Extrême-Orient
<i>Cuscuta epilinum</i>	Lin	Amérique du nord, Europe, Afrique de l'est
<i>Cuscuta epithymum</i>	Légumineuses fourragères, carotte,	Mondiale
<i>Cuscuta indecora</i>	Légumineuses fourragères	Amérique du nord
<i>Cuscuta japonica</i>	Soja	Japon

Tableau 13.3 (Suite).

<i>Cuscuta monogyna</i>	Agrumes	Moyen-Orient, Europe méditerranéenne, Russie, Maroc
<i>Cuscuta planiflora</i>	Légumineuses fourragères	Amérique du nord, Méditerranée, Asie centrale
<i>Cuscuta reflexa</i>	Agrumes et autres espèces ligneuses	Asie
<i>Cuscuta suaveolens</i>	Légumineuses alimentaires	Mondiale

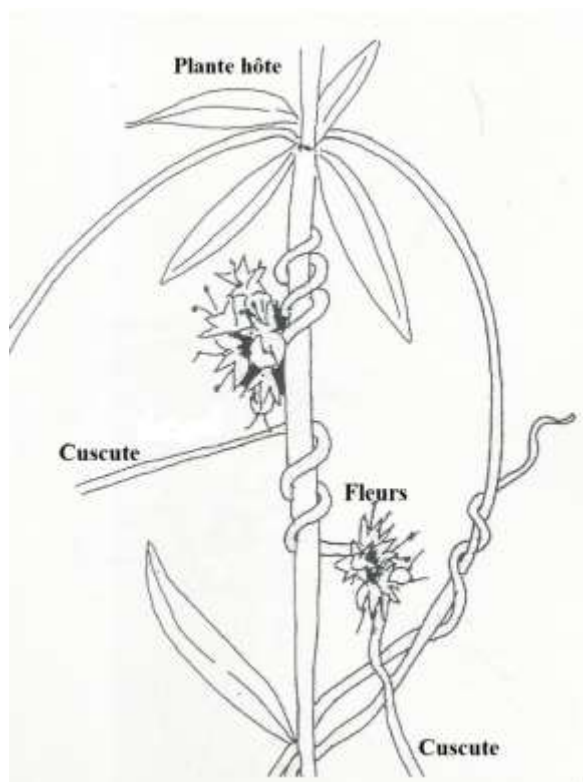


Figure 13.5 : Une plante de cuscute en floraison et sa relation avec la plante hôte (Anonyme, 1995).

10.2. Biologie et cycle de développement

Le cycle de développement d'une cuscute passe par quatre phases bien distinctes: 1) germination des graines, 2) développement précoce de plantules, 3) recherche de l'hôte spécifique avec formation d'haustorium, invasion de l'hôte; maturation d'haustorium, et 4) interaction avec l'hôte pour assurer sa croissance et son développement (Furuhashi *et al.*, 2011). Dès que le contact avec l'hôte est bien établi, la cuscute est désormais coupée de tout contact direct avec le sol. Cette rupture marque la fin de la vie autotrophe et le début de la vie hétérotrophe ou parasitaire (Fig. 13.6).

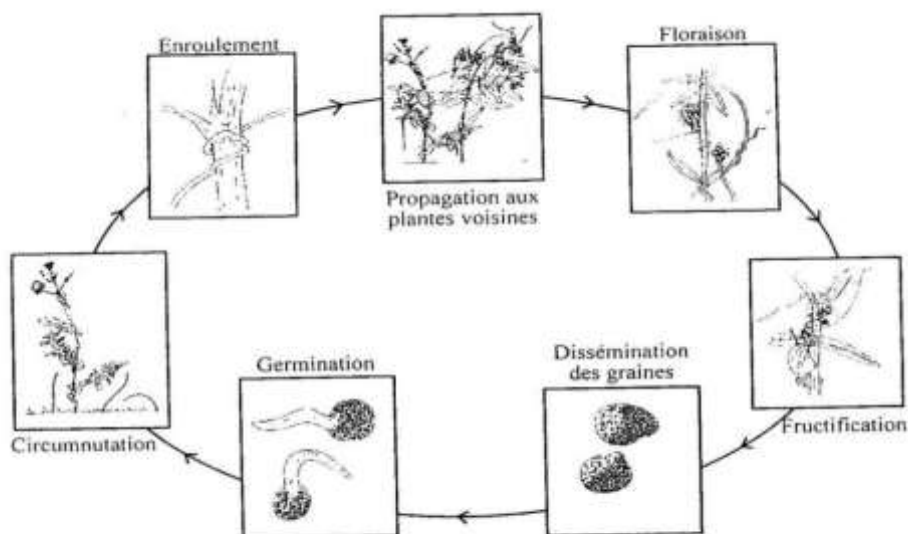


Figure 13.6: Cycle de développement de la cuscute (Anonyme, 1995).

- **Production et germination des graines:** les cuscutes se multiplient essentiellement par les semences (plus de 2 500 graines/tige), mais des fragments de tige pourvus de suçoirs peuvent être aussi un moyen de reproduction végétative et de dissémination (surtout dans le cas des cultures fréquemment fauchées comme la luzerne). Les graines sont généralement de petite taille (1 à 1,5 mm de diamètre) et dotées d'une dormance

tégumentaire profonde liée à l'imperméabilité des téguments à l'eau. Cette dormance garde les semences de la cuscute viables de 10 à 50 ans dans les conditions sèches et plus de 10 à 20 ans lorsqu'elles sont enfouies dans le sol (Qasem, 2003). La dormance observée est levée progressivement pendant l'hiver suite à l'usure progressive du tégument sous l'action de la flore et de la faune du sol et des facteurs climatiques. L'Homme reste le facteur efficient de dissémination de la cuscute à travers le fumier infesté, les outils agricoles, les semences et les plantes contaminés, l'eau d'irrigation et l'utilisation du jujubier infesté comme clôture des champs (Dawson *et al.*, 1994; Saffour, 1999; Lanini et Kogan, 2005; Costea et Tardif, 2006; Baye, 2008).

Contrairement à l'orobanche, les graines de la cuscute n'ont pas besoin ni des exsudats racinaires (stimulus ou signal chimique) de la plante hôte ni de périodes de préconditionnement pour germer. Cependant, leur germination nécessite la présence d'une humidité suffisante dans le sol et des températures de 15 à 38°C avec une température optimale de 30°C (Lanini et Kogan, 2005). De telles conditions sont réunies au printemps et en été. Dans les conditions favorables, les semences de la cuscute germent à la surface du sol et à des profondeurs allant jusqu'à 7,6 cm (Dawson *et al.*, 1994).

- **Emergence et attachement à l'hôte:** à partir de la graine émerge une jeune plantule sans feuilles (dont la racine rudimentaire à peine cachée dans le sol) et sous forme d'un filament arqué avant de se redresser pour chercher un support. Une fois redressée, l'extrémité de la jeune tige s'allonge de quelques centimètres et, par des rotations dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, cherche à atteindre un support vertical (Fig. 13.7). Le mouvement de rotation est dépendant de la lumière (Dawson *et al.*, 1994). Si la plantule ne trouve pas la plante hôte dans 5 à 10 jours ou ne s'attache pas à un support inerte ou non hôte, elle va mourir. Uniquement, les plantes hôtes situées à une distance inférieure à 3 cm qui sont attaquées. Une fois enroulée sur la tige de la plante hôte, la racine et la partie inférieure de la tige de cuscute se dégénèrent progressivement et meurent (Dawson *et al.*, 1994). Ainsi, la cuscute coupe tout contact direct avec le sol (fin de la vie libre ou de l'autonomie) et passe à la vie parasitaire ou de dépendance (Fig. 13.7).

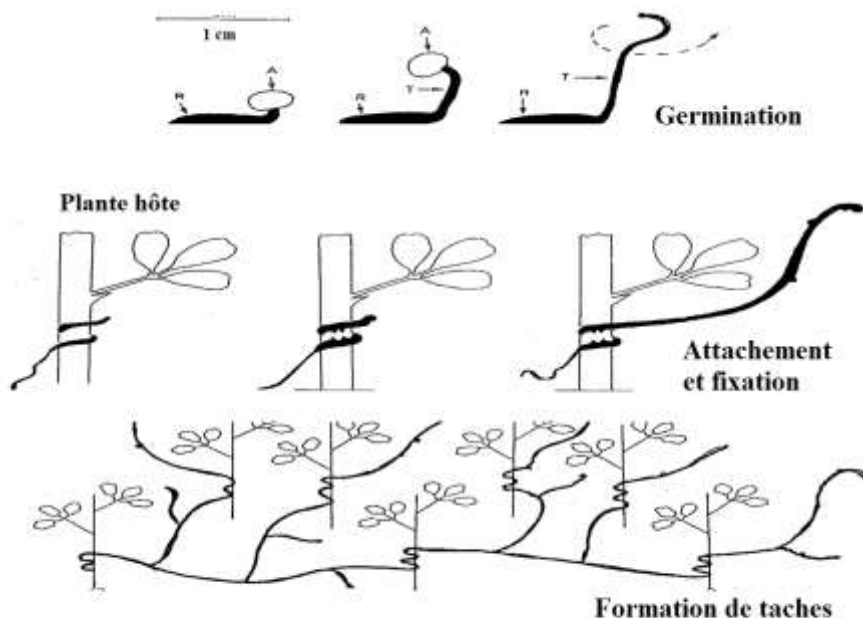


Figure 13.7: Développement d'une tache de cuscute avec A:albumen, R: racine, T: tige (Source: Taleb, 1999).

Dépourvu (ou ayant peu) de chlorophylle et d'une vraie racine, la plantule de cuscute commence sa vie parasitaire en développant des suçoirs (dont la formation est induite par la lumière bleue et infrarouge et le contact avec l'hôte) qui pénètrent dans la tige de la plante hôte en établissant la connexion avec les tissus conducteurs (xylème et phloème) de la plante hôte. Par ce contact, la cuscute vit quasiment aux dépens de son hôte à partir duquel elle puise toutes les substances organiques, les sels minéraux et l'eau nécessaires à sa croissance et son développement. Après fixation, la croissance de la cuscute s'accélère en s'enroulant autour des autres organes de l'hôte ou des plantes voisines et en développant des bourgeons latéraux qui donnent des tiges latérales. Ces dernières vont se ramifier à leur

tour et se mettre elles aussi à la recherche de tiges hôtes pour se fixer. De cette façon, un seul individu peut couvrir plusieurs mètres carrés de filaments fins orangés ou jaunes et envahir complètement une parcelle ou un champ en 4 à 6 semaines (Fig. 13.7).

- **Reconnaissance de l'hôte:** actuellement, il est admis que la cuscute arrive à trouver sa plante hôte par deux mécanismes différents (Costea et Tardif, 2006; Furuhashi *et al.*, 2011). Le premier implique la perception d'une partie des radiations du spectre lumineux réfléchies par l'hôte (phototropisme). Il a été démontré expérimentalement que le rouge lointain (entre le rouge et l'infrarouge ou ondes supérieures à 700 nm) attire la cuscute (Costea et Tardif, 2006). Comme la chlorophylle absorbe les radiations comprises entre 400 et 700 nm, la lumière réfléchie par une plante bien verte ou un couvert végétal se trouve enrichie en rouge lointain. Si une plaque de verre est installée entre l'hôte et le parasite, l'attraction continue (Benvenuti *et al.*, 2005). Ceci indique bien que la cuscute reconnaît son hôte sur la base d'un processus ou mécanisme lié à la qualité de la lumière. Or cette capacité à percevoir et à réagir aux radiations dans le rouge lointain est très connue chez beaucoup de plantules d'espèces chlorophylliennes. Ecologiquement, elle leur permet d'éviter le couvert des autres plantes, et par conséquent, l'ombrage et de profiter au mieux des rayons solaires nécessaires à la photosynthèse. Ce comportement est dû à la présence d'une protéine photosensible appelée le phytochrome. Étant donné que la cuscute n'a pas de chlorophylle donc n'a pas besoin de lumière, elle a une réaction inverse puisque la cuscute est attirée par l'ombrage ou l'obscurité (synonyme de couvert et de présence d'un hôte potentiel) (Furuhashi *et al.*, 2011). De ce fait, la cuscute a ainsi adopté et/ou adapté un mécanisme « renversé » qui lui permet de trouver un hôte esclave « chargé en chlorophylle » !

Le deuxième mécanisme utilisé par certaines cuscutes pour chercher l'hôte est basé sur la perception de signaux chimiques émis par les plantes voisines (chimiotropisme). Mescher *et al.* (2006) ont démontré que *Cuscuta campestris* arrive à localiser et à se diriger vers les plantules de la tomate, qui est son hôte préférable, par le biais des substances chimiques volatiles libérées par la tomate au voisinage du parasite. De même, le parasite

réagit de la même façon à la manipulation des extraits directs des plantes hôtes et des filtrats de l'air. En outre, Mescher *et al.* (2006) ont montré expérimentalement que la cuscute est capable de différencier entre une plante hôte préférée (tomate, luzerne) et une plante non souhaitable (blé). Ils sont arrivés à isoler et à déterminer les substances attractives chez la tomate (ex. pinène, β -myrcène, β -phellandrène) et répulsives (Z-3-hexenyl acetate) chez le blé. La présence des substances attractives ou répulsives dans une plante affecte le degré de préférence de la cuscute vis-à-vis des plantes hôtes.

10.3. Importance de la cuscute au Maroc

Appelée communément Sla el kelba, boujlala ou Chaba en dialecte marocain, la cuscute désigne les 13 espèces inventoriées au Maroc et appartenant au genre *Cuscuta*. Parmi ces espèces, uniquement sept d'entre elles sont considérées importantes sur le plan agronomique: *Cuscuta campestris*, *C. epilinum*, *C. epithymum*, *C. monogyna*, *C. pedicellata*, *C. planiflora* et *C. suaveolens*. *C. pedicellata* parasite le lin cultivé dans les régions de Dar Bouazza et de Berrechid (Fennane *et al.*, 2007). Tandis que les autres espèces attaquent une ou plusieurs cultures comme la menthe, l'oignon, la carotte, l'aubergine, la pomme de terre, le piment, la fève, le pois-chiche, la lentille, la luzerne, la betterave à sucre, la tomate, le piment (ou niora), la courge, le prunier, la vigne, les agrumes, l'olivier, le figuier, le rosier et le grenadier. Bien que les cuscutes soient présentes dans presque toutes les régions du Maroc, elles posent de sérieux problèmes dans les oasis sur la luzerne, dans le Tadla sur les agrumes et l'olivier, dans le Souss sur les agrumes, dans la région de Guercif sur l'olivier, en Chaouia sur la carotte et dans les Doukkala sur les cultures maraichères (Saffour, 1999; Baye, 2008; Baye *et al.*, 2009; Baye, 2012; Baye, 2014; Bouhache, 2018). Contrairement à l'orobanche, la problématique de la cuscute a été très peu étudiée au Maroc et les travaux des malherbologistes se sont limités à des prospections et quelques essais de lutte. Ainsi, les prospections faites au Tadla par Baye *et al.* (2009) et dans le Saïss et le pré-Rif par Saffour (1999) ont permis d'estimer les dégâts occasionnés par la cuscute sur les cultures parasitées (Tableau 13.4). Certaines cultures comme la menthe ou autres cultures maraichères sont parfois parasitées par la cuscute et sont par conséquent non commercialisés. De même, les arbres d'agrumes parasités par la cuscute ont été abattus dans région du Souss. Par contre, les pertes de rendements des légumineuses alimentaires sont très faibles ou limitées du fait que ces cultures sont attaquées à la fin de leurs cycles de développement. Effectivement, le niveau des pertes dépend principalement de l'espèce, du degré d'attaque ou d'infestation, du moment d'attaque et de la durée d'infestation.

Tableau 13.4: Importance des dégâts économiques dus à la cuscute au Maroc.

Cultures	Baye (2008, 2012, 2014), Baye <i>et al.</i> (2009)		Saffour (1999)
	Taux d'infestation (%)	Perte de rendement (%)	Pertes de production (%)
Agrumes	15	30 - 75	-
Olivier	10	Jusqu' à 40	-
Betterave à sucre	20	15 - 20	-
Luzerne	45	30 - 60	-
Oignon	17	10 - 35	30 - 40
Tomate	8	10 - 35	25 - 48
Piment (Niora)	7	10 - 35	-
Courge	7	10 - 35	-
Aubergine	-	-	25 - 48
Menthe	-	-	100
Carotte	-	-	23
Plants maraichers (pépinières)	-	-	100

11. Cas du gui

11.1. Diversité et distribution géographique

Les espèces qui portent le qualificatif du gui sont des dicotylédones pourvues de la chlorophylle (plantes vertes), des tiges, des feuilles (parfois réduites en écailles chez certaines espèces) et de suçoirs qui assurent leur fixation sur les plantes hôtes (Fig. 13.8). Le gui se développe principalement sur la partie aérienne des plantes hôtes sous forme de touffes presque sphériques (souvent confondues avec les nids des oiseaux). La présence des feuilles rend l'observation et/ou la détection du gui sur un hôte très difficile. Le nom du gui est porté par plus de 1 400 espèces hémiparasites appartenant systématiquement à l'ordre des *Santalales* qui regroupe huit familles botaniques dont deux familles fournissent un grand nombre d'espèces du gui, *Loranthaceae* et *Viscaceae*. La première famille contient plus de 1 000 espèces appartenant à 74 genres dont 20 parasitent des arbres forestiers ou fruitiers et dont des exemples sont donnés dans le tableau 13.5. Quant à la famille des *Viscaceae*, elle renferme 400 espèces appartenant à 7 genres dont 5 ont une importance économique y compris les genres *Viscum* avec plus de 70 espèces (Tableau 13.5) et *Arceuthobium* avec plus de 34 espèces (Qasem, 2003; Heide-Jorgensen, 2008).

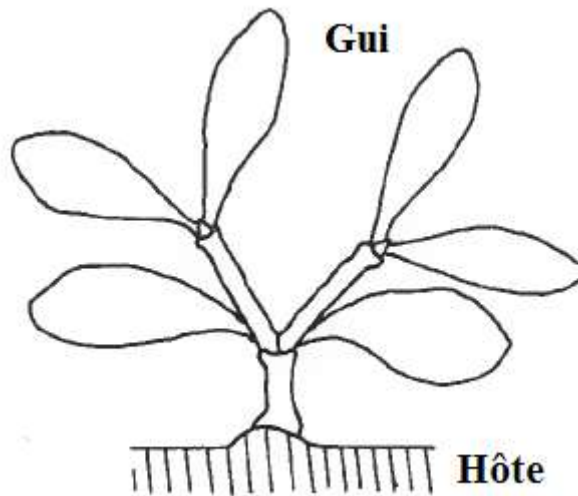


Figure 13.8: Une plante du guifixée sur une branche d'un arbre hôte (Frochot et Sallé, 1980).

Les espèces appartenant à la famille des *Loranthaceae* sont localisées dans l'hémisphère sud du globe, essentiellement dans les régions subtropicales et tropicales (Amérique centrale et du sud, Afrique sub-sahara, Asie et Australie) tout en évitant les zones arides. Des représentants de la famille se trouvent également dans les régions tempérées au centre et au sud-est de l'Europe (Heide-Jorgensen, 2008). Considérée la plus évoluée, de point de vue mode de parasitisme, parmi les *Santalales*, la famille des *Viscaceae* a une distribution plus large que celle des *Loranthaceae*. Ses espèces se trouvent dans les cinq continents: Amérique, Afrique, Europe, Asie et Australie. Les espèces du genre *Viscum* sont largement distribuées que celles d'*Arceuthobium*. Les espèces de ce dernier genre sont généralement confinées en Amérique du nord (Heide-Jorgensen, 2008).

Tableau 13.5: Principaux genres du gui, leurs hôtes et les régions ou pays sévèrement touchés (Source: Mathiasen *et al.*, 2008).

Genres	Hôtes	Régions
<i>Loranthaceae</i>		
<i>Amyema</i>	Eucalyptus, Acacia	Australie
<i>Dendrepemon</i>	Agrumes	Caraïbes
<i>Dendrophthoe</i>	Agrumes, Figuier, Goyavier, Mûrier	Inde
<i>Macrosolen</i>	Citrus	Inde
<i>Oryctanthus</i>	Cacaoyer	Amérique centrale
<i>Phthirusa</i>	Agrumes, Cacaoyer, Avocatier, Caféier, Erythrina, Manguier, Hévéa	Amérique centrale et du sud
<i>Psittacanthus</i>	Agrumes, Pin	Mexique, Amérique centrale
<i>Scurrula</i>	Agrumes	Philippines, Indonésie
<i>Struthanthus</i>	Agrumes, Manguier, Pin	Amérique centrale
<i>Tapinanthus</i>	Cacaoyer	Afrique
<i>Tolypanthus</i>	Agrumes	Inde
<i>Viscaceae</i>		
<i>Arceuthobium</i>	Conifères	Amérique du nord, Asie
<i>Korthalsella</i>	Eucalyptus, Acacia	Australie, Hawaii
<i>Phoradendron</i>	Agrumes, Cacaoyer, Avocatier, Caféier, Erythrina, Sapin, Chêne, Pacanier, Noyer	Amérique
<i>Viscum</i>	Agrumes, Amandier, Pommier, Figuier, Poirier, Prunier, Avocatier, Pêcher, Olivier, Noyer Pin, Sapin, plaqueminier (Kaki)	Afrique, Asie, Europe

11.2. Biologie et cycle de développement

Comparativement aux autres plantes parasites, le gui a une biologie et un cycle de vie remarquables. Etant un hémiparasite obligatoire; épiphyte et pluriannuelle, le gui est caractérisé par un cycle de développement très lent. Ce dernier est accompli totalement hors sol et sur les branches des arbres parasités (Fig. 13.9). Cependant, la nature du substrat influe beaucoup sur l'installation du gui. Les graines ne sont pas retenues par les jeunes branches ayant une écorce lisse ou par les surfaces humides. Une fois installé, le gui développe sa partie aérienne (tige + feuilles) en

quelques mois ou quelques années selon l'espèce du gui. La croissance du gui est plus rapide sur les arbres à vitalité faible. En outre, la pollinisation de ses fleurs unisexuées est assurée principalement par les oiseaux, les insectes, le vent et probablement par certains mammifères (Mathiasen *et al.*, 2008). Le gui boucle son cycle biologique en 4 à 5 ans (de l'infection à la production des semences). Généralement, les guis ont développé des associations évolutives et très complexes avec les animaux pollinisateurs de leurs fleurs et/ou disséminateurs de leurs graines (Heide-Jorgensen, 2008; Wahidet *et al.*, 2015).

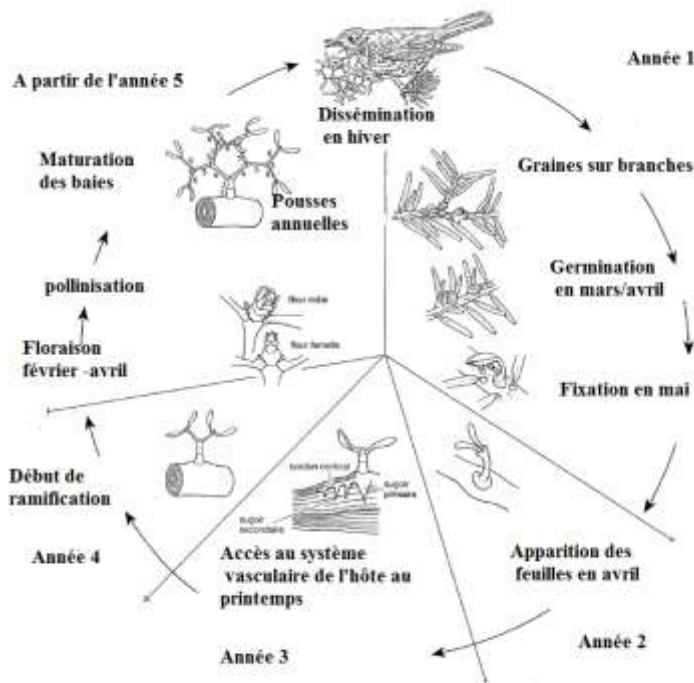


Figure 13.9: Cycle de développement du gui blanc (Source: Wunderwald et Lawrenz, 1997).

- **Production des graines:** les baies (ou pseudo-baies) du gui contiennent une seule graine (pseudo-graine) chlorophyllienne (rarement deux). La baie et la graine sont entourées d'une substance visqueuse et collante, la viscine. Cette dernière joue un rôle très important dans l'adhésion à la plante hôte et dans le processus de germination en assurant une certaine humidité à la

graine. Les graines du gui renferment 1 à 4 embryons chlorophylliens (deux le plus souvent). Chaque embryon contient deux cotylédons, un méristème caulinaire et un hypocotyle renflé à son sommet (région méristématique). Le tout est inclus dans un albumen chlorophyllien, riche en amidon, permettant la survie de la plantule jusqu'au développement du haustorium dans les tissus de l'hôte. Une quantité de baies et/ou des graines produites en été est perdue suite aux prédateurs, maladies et au lavage par les eaux de pluie ou tout simplement à l'effet de la pesanteur en tombant sur le sol (Frochot et Sallé, 1980; Wunderwald et Lawrenz, 1997; Mathiasen *et al.*, 2008; Wahid *et al.*, 2015).

- **Dissémination des graines :** la dissémination des graines se fait verticalement au niveau de l'hôte et horizontalement au niveau d'une zone géographique. Dans le premier cas, la dissémination pourrait être de haut vers le bas chez les espèces du genre *Viscum* et l'inverse chez les espèces du genre *Arceuthobium*. Lorsque les baies sont mûres, elles se détachent des rameaux qui les portent. Ainsi, les baies des touffes situées à l'étage supérieur tombent et s'écrasent sur les branches de l'étage bas et libèrent les graines. La viscine permet à ces dernières de coller aux surfaces touchées. Il est fréquent d'observer des graines suspendues à des branches par un fil de viscine. Alors que chez les espèces du genre *Arceuthobium*, les baies sont dotées d'un mécanisme hydrostatique qui permet de projeter les graines sur les branches hautes ou de l'étage supérieur. Les oiseaux sont aussi accusés de participer à la dissémination verticale (Frochot et Sallé, 1980; Wunderwald et Lawrenz, 1997; Wahid *et al.*, 2015).

La dissémination horizontale se fait sur de courtes ou de longues distances, ce qui contribue à l'extension des infestations déjà existantes sur place et/ou à la création de nouveaux foyers plus loin. Dans le cas des espèces du genre *Viscum*, cette dissémination est prise en charge par les animaux (ex. écureuil) et principalement par les oiseaux. Ces derniers picorent la partie externe de la pulpe adhérente aux téguments en libérant la graine. La graine délogée reste collée à l'écorce. De même, les oiseaux avalent les baies et rejettent séparément dans leurs fientes les téguments externes et les graines enrobées dans la viscine. Ceci permet aux graines d'adhérer fortement au support sur lequel elles sont déposées et donc prêtes à germer. Dans le cas des espèces appartenant au genre *Arceuthobium*, la dissémination

horizontale est assurée par le mécanisme de projection, les oiseaux et les rongeurs. Les graines de ces espèces peuvent être projetées à une vitesse de 100 km/h sur une distance qui peut atteindre 16 m (Frochot et Sallè, 1980; Qasem, 2003; Mathiasen *et al.*, 2008; Wunderwald et Lawrenz, 1997; Wahid *et al.*, 2015).

- **Germination et croissance:** contrairement à certaines espèces hémiparasites (ex. *striga*), les graines du gui n'ont besoin ni de stimulus provenant de la plante hôte ni du passage à travers l'appareil digestif des oiseaux ou de certains animaux pour germer. Cependant, leur germination nécessite le froid d'hiver, l'humidité, la température et la lumière comme les espèces non parasites. La lumière est indispensable durant les premières phases de la germination. Une fois le processus de germination est lancé, il peut continuer à l'obscurité. Durant ce processus, la plantule du gui se comporte comme une plante autotrophe. Les graines, collées aux branches par la viscine qui les entoure, germent au printemps. La germination commence par l'émergence de l'hypocotyle vert dont l'extrémité est libre et renflée. Par le phototropisme négatif, cette extrémité se recourbe et se rapproche du périoderme de l'hôte. Ce mouvement de courbure de l'hypocotyle est indépendant de l'hôte vivant. En absence de lumière, ce mouvement est induit par le géotropisme négatif qui est masqué par la lumière. Cependant, la partie aérienne du gui n'est pas sensible au géotropisme (Frochot et Sallè, 1980; Wunderwald et Lawrenz, 1997; Qasem, 2003; Mathiasen *et al.*, 2008; Wahid *et al.*, 2015).

Dès que le contact est établi, l'extrémité de l'hypocotyle s'élargit et se transforme en disque de fixation. Ce dernier et la viscine assurent une adhésion parfaite de la plantule du gui à la surface de l'hôte. Les troncs à écorce épaisse ou trop dure s'opposent à la pénétration des hypocotyles des graines germées. Au centre de disque de fixation se développe un suçoir primaire. Ce dernier a besoin de plusieurs semaines pour pénétrer. La pénétration se fait mécaniquement et chimiquement. Ce stade est suivi par l'apparition de deux premières feuilles (1 à 12 mois ou plus). Après la traversée de l'écorce, le suçoir continue sa croissance et se connecte avec le système vasculaire de l'hôte. A l'aide des suçoirs primaire et secondaire, le gui arrive à prélever l'eau et les sels minéraux à partir du système vasculaire de l'hôte. Malgré la présence des feuilles et de la chlorophylle, le gui a besoin de

prélever un complément de substances organiques à partir de l'hôte. Après le développement du système haustorial, la partie aérienne commence à se développer en émettant deux tiges (à l'aisselle des deux premières feuilles) terminées chacune par deux feuilles et ainsi de suite chaque nouvelle année. Ce développement régulier permet de dater la partie aérienne du gui en comptant le nombre d'entre-nœuds et en ajoutant une année. La production des fleurs puis des baies qui seront disséminées, engendrant à leur tour de nouveaux pieds de gui, nécessite quatre à cinq années (Fig. 13.9) (Frochot et Sallé, 1980; Wunderwald et Lawrenz, 1997; Mathiasen *et al.*, 2008; Wahid *et al.*, 2015).

11.3. Importance du gui au Maroc

Les trois espèces de gui, inventoriées au Maroc, appartiennent à la famille des *Viscaceae* (ou *Loranthaceae*) et à deux genres, *Arceuthobium* sp. et *Viscum* sp. Une seule espèce du premier genre (*A. oxycedri*) parasite les tiges et les rameaux du genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) et très rarement *J. phoenicea* dans les basses et moyennes montagnes du haut et moyen Atlas, du Maroc atlantique nord, des monts du Maroc oriental, du littoral de la méditerranée et du Rif (Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007). Alors que, le deuxième genre comprend deux espèces, *Viscum album* (le gui blanc) et *V. cruciatum* (le gui rouge). La première espèce est trouvable uniquement sur le pin maritime (*Pinus pinaster*) dans les forêts humides du Rif et précisément à talassemiane (oued Madissouka à 1 400 m d'altitude) (Fennane *et al.*, 2007). Quant à la deuxième espèce, elle parasite de nombreuses espèces ligneuses sauvages et cultivées (Tahri, 1999; Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007). Parmi les espèces ligneuses sauvages parasitées, il est à signaler *Rhamnus cathartica*, *Crataegus laciniata*, *C. monogyna*, *Genista myranther*, *Lonicera arborea*, *Viburnum tinus*, *Fraxinus xanthoxyloides*, *Nerium oleander*, *Prunus armeniaca*, *Prunus avium*, *Prunus communis* et *Olea europaea*. Ce gui appelé communément lendjbar ou assemoum-ouchène en dialecte marocain, il est fréquent dans les forêts et les matorrals des basses et moyennes montagnes dans le haut, moyen et anti Atlas, l'Atlas saharien, le Maroc atlantique nord, les plateaux du Maroc oriental et le Rif (Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007).

L'importance agronomique du gui est déduite à partir des prospections faites dans 11 régions arboricoles du Maroc. Ainsi, sur la base de 320 relevés floristiques, étalés sur plusieurs années (de 1985 à 1989) et mis à jour en 1998, il a été constaté qu'Ifrane, Ouazzane et Taza sont fortement infestées, Azrou et Fès sont moyennement touchées, Meknès et Taounate sont faiblement infestées. Le gui rouge est absent à Midelt, Azilal, Tadla et au Haouz (Tableau 13.6). Ces données

pourraient confirmer l'hypothèse présumant que les régions de Taza et d'Ifrane seraient les foyers primaires de l'espèce parasite (Tahri, 1999). Pour l'ensemble des régions prospectées, l'olivier, le laurier rose et l'aubépine sont les plus infestés, suivis du cerisier et du grenadier, alors que l'amandier, le pommier et le poirier sont faiblement parasités (Tableau 13.6) (Tahri, 1999).

Tableau 13.6: Importance du gui rouge au Maroc (Tahri, 1999).

Régions	Fréquence relative (%)	Plantes hôtes	Fréquence relative (%)
Ifrane	90	Aubépine	67
Ouazzane	87	Laurier-rose	63
Taza	85	Olivier	58
Azrou	77	Cerisier	46
Fès	70	Grenadier	40
Meknès	25	Amandier	18
Taounate	25	Pommier	17
Azilal, Tadla Haouz, Midelt	0	Poirier	8

12. Cas de Thésium

12.1. Diversité et distribution géographique

Les espèces désignées par thésium sont des plantes ligneuses ou herbacées pourvues de la chlorophylle (plantes photosynthétiques), de racines normales, de tiges et de feuilles (parfois réduites chez certaines espèces) (Fig. 13.10). Elles se développent sur les racines des plantes hôtes (épirhizes). Ce sont des angiospermes hémiparasites facultatifs appartenant systématiquement à la classe des Dicotylédones, l'ordre des *Santalales*, famille des *Santalaceae* (ou *Thesiaceae*) et au genre *Thesium*. Ce dernier fournit le plus grand nombre d'espèces parmi les 35 genres de la famille des *Santalaceae*. Les 250 à 350 espèces de ce genre sont présentes sur tous les continents dont plus de la moitié de cet effectif est localisée en Afrique (Qasem, 2003; Heide-Jorgensen, 2008). Lawalrée (1991) a rapporté que sur 300 espèces de thésium, 1 est australienne, 2 sont brésiliennes, 24 se rencontrent en Europe, environ 80 existent en Afrique intertropicale et 150 en Afrique du Sud; les autres étant asiatiques. Ces effectifs confirment l'hypothèse selon laquelle le genre *Thesium* est originaire de l'Afrique du Sud où existe le plus grand nombre d'espèces et le plus grand nombre de différenciations (des espèces à

feuilles épineuses ou à rameaux épineux, des espèces à feuilles succulentes à côté des états de caractères les plus primitifs du genre: port arbustif, feuilles bien développées, etc). De l'Afrique du Sud, le genre a migré dans le reste de son aire géographique actuelle en permettant la distinction de nouvelles espèces; celles-ci sont presque toutes des plantes herbacées vivaces, comme la grande majorité des *Thesium* d'Afrique (Lawalrée, 1991).



Figure 13.10: Plante complète de *Thesium humile* (Source: Tela Botanica)

Les *Thesium* sont des hémiparasites radicales qui parasitent aussi bien les monocotylédones que les dicotylédones et principalement les *Poaceae* (ou *Gramineae*), *Cyperaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae* (ou *Papilionaceae*) et *Lamiaceae*. Cependant, uniquement trois espèces de *Thesium* ont une importance agronomique indéniable: *Thesium resedoides* sur la canne à sucre en Afrique du sud, *T. australe* sur la même culture en Australie et *T. humile*, plante annuelle de petite taille, sur plusieurs cultures dans les pays du bassin méditerranéen (Qasem, 2003; Heide-Jorgensen, 2008). Bouhache *et al.* (1999) ont rapporté que *T. humile* est une espèce ayant la gamme d'hôtes la plus large en parasitant 86 espèces sauvages et cultivées dans le bassin méditerranéen. Par exemple, en Tunisie, *T.*

humile parasite au moins 32 espèces d'Angiospermes appartenant à 13 familles différentes des Dicotylédones et des Monocotylédones (Lawalrée, 1991).

12.2. Biologie et cycle de développement

Les thésium sont des vivaces ou des annuels avec une dominance des premiers. Dans le premier cas, les espèces passent la mauvaise saison sous forme de souches qui assurent la reprise de la végétation, une fois la partie aérienne est desséchée et/ou détruite. Tandis que les espèces annuelles sont conservées sous forme de graines dans le sol. La germination et le contact avec la plante hôte ne nécessitent pas la réception d'un signal stimulateur de la part de l'hôte. Ainsi, la germination et la régénération végétative sont soumises aux mêmes conditions et facteurs que les espèces non parasites. La dégradation des téguments des semences par les champignons du sol favorise la germination. Au Maroc, *T. humile* qui est une espèce annuelle germe entre décembre et février avec une période plus active au mois de janvier. L'espèce boucle son cycle à partir du mois de mai dans les conditions de la région d'Abda (Bouhache *et al.*, 1999). Les semences produites, à la fin du cycle ou de la saison pour les vivaces, sont disséminées par la pesanteur, les fourmis, les semences ou autres produits agricoles contaminés par les semences du thésium, les machines agricoles et l'eau dans certaines situations.

Comparativement aux autres espèces parasites telles que le striga et la cuscute qui ont une vie de pré parasitisme respectivement de 5 à 6 et 14 à 21 jours, *T. humile* peut rester dans la vie libre ou autotrophe pendant 6 semaines après la germination. A la fin de cette période d'indépendance, la jeune plantule développe des vraies racines qui résultent de la croissance et de la ramification des racines embryonnaires (Fer *et al.*, 1994). Les racines des thésium émettent, sans montrer de géotropisme ou de chimiotropisme, de nombreuses ramifications dans tous les sens. Les jeunes parties de thésium s'attachent aux jeunes racines des plantes hôtes. Trois façons de rencontre entre la racine d'un thésium et celle d'un hôte ont été observées: a) la racine de thésium longe celle de l'hôte et enfonce des suçoirs séparés par des intervalles et peu volumineux, b) la racine de thésium croise celle de l'hôte et forme autour de celle-ci une nodosité plus ou moins sphérique qui se déchire au moindre effort, et c) la racine de thésium devient épaisse et englobe celle de l'hôte (Lawalrée, 1991). Une fois, le contact est bien établi entre le parasite et la plante hôte, les haustoria ou suçoirs assurent l'alimentation du parasite en eau, sels minéraux et substances organique aux dépens de l'hôte. Ceci permet à la jeune plantule de continuer son développement en produisant des fleurs et des graines. Une plantule n'ayant pas trouvé d'hôte, après la phase de pré parasitisme, risque de ne pas finir son cycle de développement (Fer *et al.*, 1994). L'autoparasitisme est un comportement très fréquent chez les espèces de thésium. Dans ce cas, une plante de thésium s'attache à ses propres racines ou aux racines d'une autre plante de la même espèce.

12.3. Importance de thésium au Maroc

Au total, trois espèces du genre *Thesium* sont inventoriées au Maroc dont deux pérennes (*Thesium humifusum* et *T. mauritanicum*) fréquentes dans les milieux naturels et une annuelle (*T. humile*) qui est présente dans les milieux naturels et cultivés (Fennane *et al.*, 2007). *T. humifusum* (*T. divaricatum*) est une chaméphyte présente dans les matorrals, les ermes et les steppes des plaines, des basses et moyennes montagnes du haut et moyen Atlas; du Maroc atlantique moyen; des plateaux du Maroc oriental; des monts du Maroc oriental; du littoral de la Méditerranée et du Rif. Quant au *T. mauritanicum*, qui est une chaméphyte endémique du Maroc, est signalée dans les steppes rocailleuses d'Atlas saharien, du haut Atlas et des plateaux du Maroc oriental. La troisième espèce (*T. humile*), qui est une thérophyte, est fréquente dans les matorrals, ermes et cultures dans les plaines et les basses montagnes dans tout le Maroc à l'exception du Maroc saharien (Taleb, 1999; Fennane *et al.*, 2007).

Sur le plan agronomique, une seule étude relative au *T. humile* a été conduite dans la région d'Abda (El Hamri, 1988; Bouhache *et al.*, 1999). Dans cette région, cette plante hémiparasite est relativement problématique. En plus de sa nuisibilité à certaines cultures céréalières, le thésium a été déclaré comme plante toxique aux bovins, ovins, caprins et même aux camélins. Des cas d'intoxication d'ovins ont été également notés dans les régions de Khémisset et de Rommani. Dans la région d'Abda, il est désigné par des noms qui traduisent ses effets néfastes: mliliha, qtilila, trédiga, mjdamt lard ou mjidima. Le thésium a été trouvé comme plante parasite de l'orge, du blé, de la fève, de la lentille, du petit-pois et du carthame. L'infestation de thésium n'était pas uniforme dans toute la région d'Abda. La commune de Sidi Ahmed a été considérée la plus infestée, tandis que le sud d'Eyr, le nord de Had Hrara, l'ouest de Ras el Aïn et une partie de Had Bkhati n'étaient pas infestés. Les autres communes étaient moyennement infestées. La richesse du sol en phosphate et le degré de mécanisation et d'intensification des cultures influent beaucoup sur les infestations observées dans la région. Les graines du thésium sont disséminées par les semences des céréales d'automne, la paille et le fumier (Tableau 13.7). La germination des graines est déclenchée par l'arrivée des premières pluies d'automne. Ainsi, les germinations sont observées de décembre à février avec un maximum au mois de janvier. Le thésium boucle son cycle annuel dans la région d'Abda à partir du mois de mai (El Hamri, 1988; Bouhache *et al.*, 1999).

Tableau 13.7: Importance des semences du thésium dans les échantillons collectés dans la région d'Abda (El Hamri, 1988; Bouhache *et al.*, 1999).

Paramètres mesurés	Nature de l'échantillon		
	Fumier	Semences de céréales	Paille
Nombre total des semences	133	339	46
Nombre moyen de semences/ 10 kg	7	24	3
Viabilité des semences (%)	12	28	15

Page laissée vierge

Quatrième partie:
Invasion biologique et changement climatique

Page laissée vierge

Chapitre 14: Plantes envahissantes

1. Définitions et terminologie associée

1.1. Dimension du phénomène

Le déplacement des êtres humains, des animaux, des plantes et des microorganismes, de leurs milieux naturels aux autres milieux, est un phénomène naturel; vital et très ancien; mais se faisait difficilement et lentement. Ces dernières décennies, le phénomène est devenu très rapide et même inquiétant à cause des changements environnementaux induits par l'Homme. La mondialisation ou la globalisation n'a fait qu'augmenter et accélérer les niveaux du commerce, du transport, des voyages et du tourisme internationaux. L'accroissement continu de ces activités facilite et/ou favorise la circulation, et par conséquent, l'introduction et l'expansion des espèces et surtout les non-indigènes. Ainsi, tous les continents du globe terrestre sont touchés par l'invasion biologique. Fried (2018) a rapporté que le rythme d'introduction était aux alentours de 50 espèces/ an au début de XIX siècle contre 150 espèces/an actuellement. Bien que le nombre exact des espèces échangées entre les continents ne soit pas connu, Anonyme (2020) a rapporté que les dernières estimations ont évoqué 13 000 plantes vasculaires dans le monde, 12 000 animaux et plantes exotiques en Europe dont 15% sont invasifs et 3 500 espèces invasives en Afrique. En 2009, la F.A.O. avait estimé que sur 10 000 espèces d'adventices il y a déjà 4 000 qui ont été échangées entre différents pays et 6 000 attendent le tour pour être échangées (Labrada, comm. pers.). Il ne faut pas croire que l'arrivée de nouvelles espèces est systématiquement catastrophique et toutes les espèces exotiques sont mauvaises ou dangereuses. Par exemple, Zimdahl (2007) a signalé que durant les deux derniers siècles, 50 000 espèces exotiques ont été introduites aux USA dont 5 000 sont des plantes. Parmi ces dernières, certaines (ex. blé, maïs, riz, etc.) ont fourni 98% des produits agricoles en 1998.

1.2. Définitions et terminologie

Depuis la parution de l'ouvrage de Charles Sutherland Elton (1958) « *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* » sur l'invasion des animaux et des plantes, l'invasion biologique a pris plus d'importance et s'est imposée comme une discipline de l'écologie à part entière. Cependant, les termes associés à ce phénomène écologique n'ont cessé d'être au cœur de plusieurs débats et/ou discussions, surtout ces dernières années. Effectivement, une certaine confusion et/ou ambiguïté et une absence d'homogénéisation des définitions et des concepts liés à l'invasion biologique ont été soulevées (Richardson *et al.*, 2000; Pyšek *et al.*, 2004; Zimdahl, 2007; Thévenot *et al.*, 2013). La standardisation de la terminologie

utilisée et des concepts est nécessaire pour comprendre le phénomène et hiérarchiser les objectifs de sa gestion. De nombreuses définitions ont été formulées par les scientifiques, les organisations et/ou groupes et les instances décisionnelles intéressées par le phénomène. En général, quatre critères sont considérés pour définir une espèce exotique envahissante ou invasive (Pyšek *et al.*, 2004; Vanderhoeven *et al.*, 2007; Anonyme, 2020). Ces critères sont a) l'origine spatiale (déplacement de l'espèce hors de son aire de distribution naturelle suite aux activités humaines), b) la date d'introduction (espèces exotiques introduites après 1500 (néophytes), en référence à la découverte de l'Amérique ou l'intensification des échanges internationaux, surtout en Europe centrale), c) la capacité de colonisation (capacité de l'espèce à se naturaliser, à former des populations persistantes et à se répandre dans l'environnement) et d) les impacts environnementaux (différence et niveau de perception de ce critère sont à l'origine des débats entre les scientifiques).

Les définitions qui désignent les espèces envahissantes, invasives ou exotiques envahissantes peuvent être regroupées en deux catégories, la première est dite écologique basée sur la dispersion, tandis que la deuxième est basée sur l'impact. Cette dernière catégorie est illustrée par la définition fournie par la convention des Nations Unies sur la diversité biologique (CDB) et l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et des ressources (UICN) (Anonyme, 2020) «une **plante exotique envahissante** est une plante exotique (**allochtone, nonindigène**) dont l'introduction par l'Homme (volontaire ou fortuit), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques ou sanitaires négatives ». Les écologistes ont formulé d'autres définitions dont celle de Richardson *et al.* (2000) qui est appropriée et fréquemment utilisée pour les plantes. Ces auteurs ont défini une **plante invasive ou envahissante** comme «une plante naturalisée qui produit des descendances capables de se reproduire, souvent en grande quantité, et à de grandes distances des parents et ayant le potentiel de s'étendre sur une zone considérable ». Ces auteurs considèrent cette catégorie de plantes comme celles ayant réussi à atteindre une étape le long du continuum introduction-naturalisation-invasion du processus d'invasion. Ainsi, la connotation d'impact est absente dans cette définition. De même, ils ont défini une plante **naturalisée** comme «plante exotique qui se reproduit toujours et qui maintient durablement des populations durant plusieurs cycles de vie sans intervention directe des humains. Une espèce naturalisée recrute souvent librement ses descendants, généralement à proximité des plantes adultes, et n'envahissent pas nécessairement des écosystèmes naturels, semi-naturels ou artificiels». Quant à une plante **exotique**, c'est toute plante occupant un territoire géographique donné et dont la présence est due à une introduction intentionnelle ou accidentelle résultant des activités. En partant de ces définitions, il est à admettre que l'impact des plantes envahissantes diffère de la

nuisibilité connue chez les adventices et de l'effet des espèces transformatrices. Ces dernières ont été définies comme un sous-groupe de plantes envahissantes qui modifie le caractère, la condition, la forme et la nature des écosystèmes humains (Richardson *et al.*, 2000). Les plantes envahissantes peuvent être considérées comme adventices au sens large du terme puisqu'elles sont indésirables et nécessitent des stratégies ou des actions de gestion. Certains chercheurs réservent le terme «adventice» ou «mauvaise herbe» pour désigner la végétation indésirable des agroécosystèmes et «plantes envahissantes» pour les adventices qui peuvent se répandre au-delà de leur point d'introduction et souvent dans les écosystèmes naturels (Radosovich *et al.*, 2007). Etant donné que le terme espèce comprend toutes les populations y compris celles de l'aire d'origine et celles de l'aire d'introduction, il conviendrait de parler (dans les définitions) de populations exotiques envahissantes et non pas d'espèces exotiques envahissantes. En plus, le statut d'invasion peut changer en fonction du lieu et du temps (Fried, 2018). Dans ce qui suit, espèce ou plante invasive ou envahissante désigne les populations ayant le caractère d'invasion.

2. Impact des plantes envahissantes

2.1. Impact global

Les espèces introduites n'induisent pas toutes des conséquences négatives au sein des écosystèmes dans lesquelles elles s'installent. Sur la base de leur définition, seule une partie de ces plantes introduites est à l'origine d'impacts négatifs, directs ou indirects, observés à différents niveaux. Effectivement, les invasions biologiques ont des conséquences négatives sur l'environnement, la santé humaine et l'économie des régions envahies. En plus, les impacts des espèces exotiques envahissantes sont aggravés par d'autres facteurs qui causent de la perte de la biodiversité comme les changements climatiques, la perte d'habitat, la pollution et la perturbation anthropique. En affectant l'agriculture, la foresterie, la pêche, la santé publique et la biodiversité sauvage (base de subsistance de larges populations dans les pays en voie de développement), les espèces exotiques envahissantes aggravent la pauvreté et compromettent le développement durable. L'ampleur des conséquences des invasions biologiques a obligé, depuis quelques années, les pouvoirs publics nationaux et les organisations internationales à les prendre en considération sous forme de stratégies pour freiner et/ou atténuer les répercussions de ce phénomène (CDB, 2009). Par ailleurs, la FAO rapporte que les plantes envahissantes affectent la santé de l'Homme, l'agriculture et l'environnement et elles sont la deuxième cause de perte de la biodiversité juste après la destruction des habitats (Anonyme, 2004). Ces préoccupations expliquent l'intérêt international grandissant de la législation de la gestion de ces plantes envahissantes

et de la mise en place des systèmes et des procédures d'analyse de risques d'introduction de ces plantes.

2.2. Impact environnemental

Souvent, l'impact des espèces exotiques envahissantes est rapide et dramatique (Pyšek et Richardson, 2010). Il est dû à la combinaison de trois facteurs, a) la superficie occupée par une espèce, b) sa densité sur cette surface et c) l'effet de chaque individu de cette espèce sur la communauté végétale et sur l'écosystème envahis. Les deux premiers facteurs sont relativement faciles à quantifier et parfois utilisés comme synonyme de l'impact. Cependant, la quantification du troisième facteur est très compliquée car l'invasion biologique agit à plusieurs niveaux d'un écosystème (Parker *et al.*, 1999). A l'instar des autres organismes vivants invasifs, les plantes envahissantes ont des effets environnementaux au niveau de a) l'individu (changement de démographie et de morphologie), b) la génétique (indirectement en altérant la sélection naturelle et le flux de gènes et directement par hybridation et introgression génétique, compétition), c) la population (abondance, distribution, structure, vitesse de croissance, etc.), d) la communauté (diversité spécifique, structure trophique, etc.) et e) sur le fonctionnement ou processus des écosystèmes (productivité, résilience, disponibilité des ressources, taux d'utilisation des ressources, propriétés du sol, le régime et type de perturbation, etc.) (Parker *et al.*, 1999). D'autres effets écologiques des plantes envahissantes ont été rapportés par Ben-Ghabrit (2019) tels que l'érosion des sols et l'augmentation des incendies. En outre, il a ajouté que les plantes exotiques envahissantes facilitent l'invasion d'autres espèces exotiques et rendent le milieu plus vulnérable à toute nouvelle invasion biologique. Généralement, les effets négatifs sur la diversité biologique sont les principaux soucis de l'invasion biologique. L'hybridation, l'introduction de 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 (Ben-Ghabrit, 2019).

L'impact environnemental des plantes envahissantes ne se limite pas aux perturbations de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, mais il s'étend aussi aux services écosystémiques (ensemble de bénéfices tirés par les humains des écosystèmes naturels et semi naturels) rendus par les milieux envahis. La dégradation de ces services compromet le bien être de l'Homme. Les espèces exotiques envahissantes, y compris les plantes, impactent les quatre catégories des services écosystémiques: a) les services de soutien (ressources des écosystèmes et cycles d'énergie), b) les services d'approvisionnement (production de marchandises et de produits nécessaires comme les aliments, les fibres, l'eau, etc.), c) les services de régulation (maintenance des processus des écosystèmes) et d)

culturels (bénéfices immatériels comme les loisirs, l'écotourisme, l'histoire, l'éducation, la science, l'esthétique des paysages et les valeurs spirituelles). En outre, une espèce envahissante peut affecter plusieurs services à la fois (Pejchar et Mooney, 2009; Pyšek et Richardson, 2010; Vilà *et al.*, 2010; Rai et Singh, 2020).

Différente de la méthodologie classique habituellement utilisée pour l'étude des impacts, l'approche des services écosystémiques tente d'attribuer des valeurs aux services écosystémiques, ce qui permet de quantifier relativement les services qui sont les plus menacés et les espèces qui ont le plus d'effets. Une telle approche permet de classer les différentes espèces en termes de priorisation de leur gestion (Vilà *et al.*, 2010). Au niveau européen, ces auteurs ont classé 100 espèces exotiques envahissantes, sur la base de leurs impacts sur les quatre catégories de services écosystémiques définies. Ils ont conclu que les invertébrés terrestres et les plantes terrestres sont les deux groupes taxonomiques ayant le plus d'espèces causant des impacts. De même, ils ont identifié les plantes exotiques envahissantes ayant le plus d'impacts et les écosystèmes les plus affectés. En outre, ils ont démontré que les plantes terrestres envahissantes causent plus de dommages écologiques qu'économiques, bien que les premiers soient moins tangibles et difficiles à estimer économiquement. Egalement, ils ont indiqué que les espèces qui affectent écologiquement les écosystèmes sont les plus répandues. Malheureusement, le nombre des études reliant l'impact écologique des espèces exotiques envahissantes à la notion des services écosystémiques reste très limité (Ben-Ghabrit, 2019).

2.3. Impact sur la santé publique

Cet impact n'est qu'une facette des dommages socio-économiques des plantes envahissantes. Plusieurs auteurs ont montré que les plantes exotiques envahissantes peuvent avoir des conséquences sur la santé humaine. Les plantes exotiques agissent directement par la production des pollens allergéniques qui augmente la prévalence des rhumes des foins, la provocation des dermatites et des blessures (cas des plantes épineuses) et les intoxications et indirectement en hébergeant certains vecteurs de maladies (Rai et Singh, 2020). Ces auteurs ont cité une cinquantaine de plantes exotiques envahissantes qui causent des dommages à la santé publique dont l'ambrosie à feuille d'armoïse (*Ambrosia artemisiifolia*). Originaire d'Amérique du nord, cette armoïse est présente dans plusieurs pays européens, Asie, Afrique du sud, Australie et Amérique du sud. Elle pose de sérieux problèmes sanitaires en Amérique du nord et en Europe où elle provoque des allergies, rhinites, conjonctivites, asthme, urticaires ou eczémas (Chen *et al.*, 2018). C'est à la période de sa pollinisation qu'elle devient dangereuse et agressive. Une enquête européenne sur les dépenses de médication des personnes sensibles au pollen de l'ambrosie a permis de montrer l'impact financier de celle-ci dans

certains pays européens (Tableau 14.1). En outre, Schaffner *et al.* (2020) ont estimé les européens sensibles au pollen de l'ambroisie à 23,2 millions de personnes dont 13,5 millions souffrent cliniquement de cette allergie et le coût à 7,4 milliards d'euros/an. Ces dépenses couvraient les frais de médication et le nombre de journées d'arrêt du travail. Avec les changements climatiques, l'impact et l'expansion de l'ambroisie seront plus importants dans le futur proche. Ceci a obligé plusieurs pays à mettre en place des stratégies ayant pour objectifs l'atténuation de ces impacts et la sauvegarde de la santé publique. Ces stratégies demandent des engagements financiers supplémentaires. Ainsi, l'Europe dépensait 27 millions d'euros /an pour l'éradication ou le contrôle, le suivi et les programmes d'éducation environnementale en relation avec l'ambroisie (Vilà *et al.*, 2010).

Deux espèces exotiques envahissantes des milieux aquatiques, la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) et la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), signalées dernièrement au Maroc, sont bien connues pour leurs effets indirects sur la santé des humains (Bouhache et Taleb en 2013; Bouhache, 2019). Elles sont originaires de l'Amérique du sud et répandues dans plusieurs pays. Ce sont des plantes flottantes librement à la surface de l'eau. En plus de leur impact direct sur l'environnement et l'économie, elles sont considérées comme hôtes préférentiels et lieux de pullulation pour plusieurs vecteurs de maladies de l'Homme (bilharziose, encéphalomyélite, filariose, paludisme, etc..) et abri pour les serpents venimeux (Bouhache et Taleb, 2013; Bouhache, 2019).

Tableau 14.1: Coûts de médication de l'allergie au pollen de l'ambroisie à feuilles d'armoïse (Source: Chen *et al.*, 2018).

Pays	Coût/habitant (euros)	Coût total/an (euros)
Autriche	630	88 millions
République tchèque	43,5	Non disponible
Allemagne	650	17-47 millions
Hongrie	Non disponible	100 millions
Suisse	484-645	8-24 millions
Italie	Non disponible	1,74 millions
Serbie	547-2555	Non disponible
France	26-386	Non disponible
Angleterre	3030 (sur dix ans)	Non disponible

2.4. Impact économique

Les études de l'impact économique global des plantes exotiques envahissantes ont été basées principalement sur la quantification des pertes (en quantité et en qualité) causées par ces espèces et le coût de leur gestion. Ceci est dû aux difficultés rencontrées pour l'estimation du coût économique global de l'impact des invasions biologiques (surtout de certains effets environnementaux) à tous les niveaux des écosystèmes, à la multitude des paramètres à prendre en compte et au nombre important des espèces exotiques envahissantes non encore évaluées ou inventoriées. Ben-Ghabrit (2019) a rapporté qu'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 millions de dollars dans le secteur agricole, 7,52 millions de dollars dans le secteur pastoral, et 0,178 millions de dollars dans le secteur environnemental. De même, Olson (2006) a rapporté quelques tentatives d'estimation de l'impact économique global des espèces exotiques envahissantes y compris les plantes au niveau national de quelques pays. Annuellement, les dommages et les frais de contrôle ont été évalués à 4 milliards de \$AUD en Australie ; 38,2 millions de \$CAN au Canada; 103 millions d'euros en Allemagne; 100 milliards \$NZ en Nouvelle Zélande et 34,5 milliards \$US aux Etats Unis d'Amérique. Parfois, une seule ou quelques espèces exotiques envahissantes suffisent pour infliger un impact économique annuel non négligeable comme l'indique le tableau 14.2.

Tableau 14.2: Coût économique annuel dû à quelques plantes exotiques envahissantes (Boy & Witt, 2013).

Espèces	Base d'évaluation	Pays	Coût annuel (millions en US\$)
<i>Lantana camara</i>	Cultures et pâturages	Inde	924
	Pâturage	Australie	46,2
<i>Euphorbia esula</i> et <i>Cetaurea</i> spp.	Parcours pastoraux (dans 4 états)	Etats Unis (USA)	134
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pêche et hydraulique	7 pays africains	20 – 71,4
<i>Pinus</i> sp. et <i>Accacia</i> spp.	Frais de contrôle	Afrique du sud	160

Tableau 14.2 (Suite)

<i>Tamarix</i> spp.	Pertes en eau	USA (25 états)	200
<i>Parthenium hysterophorus</i>	Pertes d'animaux sur les ranchs	Australie	5-17
<i>Lythrum salicaria</i>	Frais de contrôle	USA	45
6 adventices	Cultures	Australie	105

3. Etapes du processus d'invasion

La dispersion ou l'expansion d'une plante peut être appréciée à plusieurs niveaux: dans un champ, dans une région, dans un pays, dans un continent et globalement. La région est le niveau approprié pour une espèce exotique qui devrait être considéré pour la dispersion et l'invasion subséquente dans une nouvelle région (Cousens et Mortima, 1995). Ces auteurs ont ainsi divisé le processus d'invasion d'une région, non occupée par une nouvelle espèce, en trois phases: introduction, colonisation et naturalisation. Dans ce continuum, une espèce n'est nuisible qu'après avoir atteint la troisième phase !! Cependant, Richardson *et al.* (2000) ont argumenté que la colonisation, comme définie par Cousens et Mortima, n'est qu'une composante intégrée dans la notion de naturalisation et l'invasion devrait être distinguée de la naturalisation, et par conséquent, l'invasion décrit une large dispersion et une intégration d'une espèce exotique naturalisée dans la flore résidente. Etant donné que la croissance d'un individu et/ou d'une population suit une courbe logistique sigmoïde (Radosevich *et al.* 2007), les étapes du processus d'invasion d'une espèce sont représentées dans la figure 14.1 comme conceptualisées par Richardson *et al.* (2000) et Pyšek et Richardson (2010).

La conceptualisation des étapes du processus d'invasion considère les facteurs limitant la dispersion d'une espèce introduite dans une région selon le schéma de Richardson *et al.* (2000). Ainsi, le statut des espèces peut être déterminé selon l'étape atteinte, par chaque espèce, le long du continuum introduction-naturalisation-invasion qui décrit la capacité des espèces à surmonter les barrières géographiques, environnementales et biologiques. Ainsi, une espèce introduite est considérée envahissante ou invasive lorsqu'elle franchit avec succès l'avant-dernière barrière naturelle (Fig. 14.2). L'existence de ces différentes barrières entrave l'acclimatation de toutes les espèces introduites, seule une très faible fraction d'entre elles acquiert le statut d'espèce exotique envahissante. Selon la « règle de 3 x 10 », proposée par Williamson (1996) et applicable aux plantes, 10% des espèces introduites deviennent exotiques occasionnelles, 10% de ces dernières deviennent naturalisées et 10% de ces dernières deviennent envahissantes. En d'autres termes, sur 1 000 espèces de plantes introduites, une seule espèce pourrait

devenir envahissante. Le succès des espèces, après leur introduction, dépend a) de leurs traits permettant de supporter les environnements sévères du nouvel habitat, b) de leur capacité de reproduction, c) de dissémination et de compétition avec d'autres composantes de la biocénose locale, d) de degré de similarité entre l'habitat et le climat de la région d'origine et ceux de la région envahie ou e) de l'invasibilité des communautés végétales envahies. En plus, des interactions synergiques pourraient s'établir entre les différentes espèces envahissantes, ce qui accélère l'invasion et/ou amplifie leurs effets sur les communautés végétales indigènes (Pyšek *et al.*, 2010).

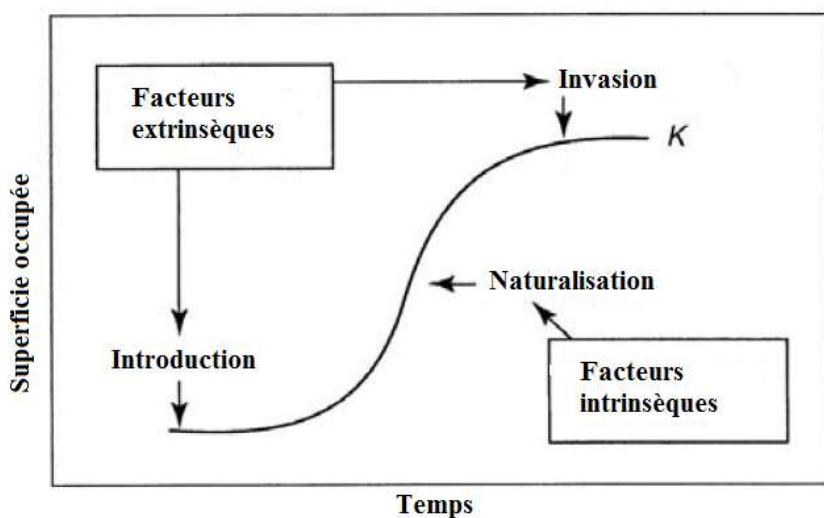


Figure 14.1: Etapes du processus d'invasion avec K: capacité limite du milieu (d'après Radosевич *et al.*, 2007).

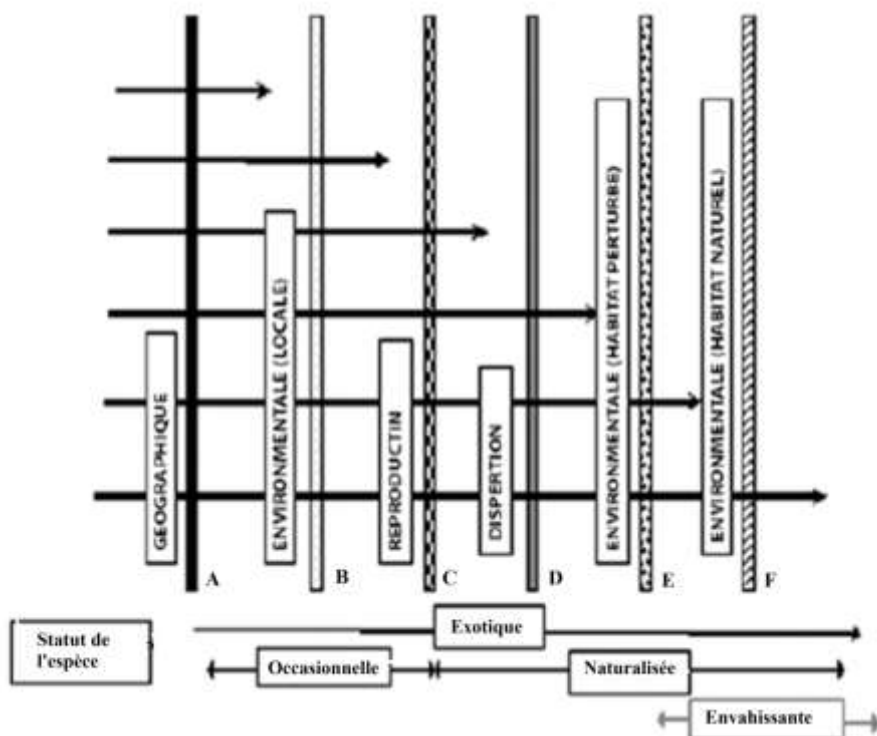


Figure 14.2: Représentation schématisée des principales barrières limitant la dispersion des espèces introduites avec **A**: barrières géographiques, **B**: barrières environnementales biotiques et abiotiques au site d'introduction, **C**: barrières reproductives empêchant la reproduction végétative à long terme ou la production de descendance, **D**: barrières aux dispersions locales et régionales, **E**: barrières environnementales dans les habitats anthropisés et/ou dominés par des exotiques, **F**: barrières environnementales dans les habitats naturels ou semi-naturels (Source: Richardson *et al.*, 2000; Pyšek et Richardson, 2010).

3.1. Introduction

L'introduction est la première phase du processus d'invasion (Fig. 14.1) qui consiste à apporter les propagules ou les individus dans un nouveau site loin de celui des parents et hors de leur aire de répartition potentielle. Dans cette étape,

l'Homme joue un rôle très important, d'une façon volontaire ou accidentelle, dans leur dispersion. Les espèces ayant dépassé les barrières géographiques, difficilement surmontables sans l'assistance humaine, sont qualifiées de plantes exotiques occasionnelles, fugaces ou acclimatées (Fig. 14.2). Richardson *et al.* (2000) ont défini cette catégorie comme espèces qui peuvent fleurir voire se reproduire occasionnellement, mais qui ne forment pas des populations autonomes et dont la persistance dépend d'introductions répétées. Souvent, les populations introduites ne sont pas facilement détectables au début de cette phase et/ou les colonies ne sont pas assez importantes (du point de vue nombre) pour continuer dans le processus d'invasion. Les plantules issues des semences nouvellement introduites devraient entrer en compétition avec la flore locale (établie et adaptée au site envahi) pour occuper l'espace, et par conséquent, ont une faible chance pour leur établissement. En outre, à part la convenance de l'écosystème, plusieurs facteurs extrinsèques (ex. perturbations) influent sur le taux d'introduction des espèces ou/et des propagules d'une espèce (Radosevich *et al.*, 2007).

L'invasion biologique, qui est un processus ancien et inhérent aux activités humaines depuis le néolithique (âge de la pierre polie) s'est accrue suite à la découverte du nouveau monde en 1492 (Amérique) et surtout avec la globalisation des échanges commerciaux (Fried, 2018). Ainsi, la différenciation entre une espèce indigène ou autochtone et une espèce dite introduite ou allochtone ou exotique n'est pas facile. Par exemple, les européens font la distinction entre les espèces introduites sur la base de leur temps de résidence: les archéophytes désignent les espèces introduites avant 1492 et les néophytes, les espèces introduites après cette date. Les australiens font référence à la date de la colonisation européenne du continent (Richardson *et al.*, 2000). Etant donné qu'il est difficile dans certains cas de préciser la date exacte d'introduction des espèces, il est souvent admis de se référer au temps minimal de résidence « Minimum Residence Time » basé sur la date de la première signalisation de l'espèce dans sa nouvelle aire (Pyšek *et al.*, 2009; Ben-Ghabrit, 2019).

3.2. Naturalisation

La naturalisation est une phase qui suit celle de l'introduction aussi bien dans l'espace que dans le temps (Fig. 14.1). Pour être préparées à la naturalisation, les espèces occasionnelles devraient surmonter les barrières environnementales (B) pour survivre et les barrières qui régulent leur reproduction (C) (Fig. 14.2). Une espèce ou population est considérée naturalisée quand elle franchit les barrières A, B et C selon le schéma de Richardson *et al.* (2000). Cette phase dépend beaucoup des facteurs intrinsèques des espèces exotiques. A ce stade du processus d'invasion, de nouvelles générations d'individus sont générées, sans nouveaux apports de propagules, et le stade de population stable est atteint, ce qui fait la

probabilité d'extinction est très faible. Certains scientifiques parlent même de degré de naturalisation des espèces dans les habitats envahis (Richardson *et al.*, 2000). L'expansion qui mène à l'invasion est fréquemment précédée d'une période de latence de quelques dizaines d'années voire quelques centaines d'années (Fig. 14.1). Ce temps d'attente peut être lié au temps inhérent à la croissance des populations, au temps nécessaire pour faire face aux contraintes écologiques et/ou au temps nécessaire à l'acquisition de nouveaux génotypes qui donneront des individus avec une fitness améliorée (Vanderhoeven *et al.*, 2007). Durant la période de latence, les espèces exotiques naturalisées sont capables de rester indisciplinées avant de devenir invasives et se propager rapidement. Par exemple, la morelle jaune a passé une quarantaine d'années, dans la région du Tadla, avant qu'elle soit déclarée plante envahissante en 1983 (Ben-Ghabrit *et al.*, 2016).

3.3. Invasion

L'invasion est la dernière étape du processus (Fig. 14.1). Elle s'agit d'une dispersion à partir du site d'introduction vers d'autres nouveaux sites. Ainsi, les espèces ou populations naturalisées exotiques et/ou indigènes devraient franchir la barrière de dissémination (D) et faire face aux environnements abiotique et biotique (E) dans les habitats progressivement envahis, et ce en passant des milieux anthropisés ou perturbés (E) vers les milieux naturels plus résistants à l'invasion (F) selon la conception de Richardson *et al.* (2000) (Fig. 14.2). Cette phase exige que les plantes produisent des descendants (souvent en grande quantité) à une distance du site d'introduction (parents) d'environ 100 m sur une période de moins de 50 ans pour les espèces disséminées par graines et plus de 6 m / 3 ans pour les espèces disséminées par les propagules végétatives tels que les racines, les rhizomes, les stolons, les bulbes et les tubercules. Les nouvelles propagules produites seront disséminées sur de grandes distances, ce qui leur confère le potentiel d'expansion sur une zone considérable. Les plantes envahissantes transformatrices désignent des plantes envahissantes qui peuvent modifier le caractère, la condition, la forme ou la nature des écosystèmes sur une zone non négligeable par rapport à l'étendue d'un écosystème (Richardson *et al.*, 2000). Ainsi, plusieurs catégories de plantes envahissantes peuvent être observées dans les habitats envahis: les plantes invasives des agroécosystèmes, les plantes invasives des écosystèmes semi-naturels et naturels et les plantes invasives transformatrices.

4. Voies d'introduction

En général, une invasion biologique commence avec une colonie de quelques individus voire même un seul individu. L'arrivée d'une espèce dans un nouveau site est le résultat du transport de ses individus ou de ses propagules du site d'origine au site envahi. Le transport comprend le moyen ou le vecteur de transport (transporteur) et le chemin emprunté. Ainsi, la quantité et la qualité du matériel

végétal transporté dépend étroitement a) de la capacité et de la nature du moyen de transport, b) de la durée qui est liée à la distance du trajet et de la vitesse du transporteur et c) des conditions vécues lors du transport et qui sont imposées par le type de chemin utilisé. La voie d'introduction est la façon avec laquelle une espèce est introduite dans une nouvelle région. Plusieurs voies d'introduction intentionnelle (volontaire) ou non intentionnelle (involontaire ou accidentelle) ou naturelle sont identifiées. Les activités humaines jouent un rôle déterminant dans l'introduction volontaire et accidentelle. Les causes du mouvement des espèces envahissantes sont connues sous "les 4 T" qui signifient en anglais: Trade (Commerce), Travel (Voyage), Transport (Transport) et Tourism (Tourisme). Ainsi, l'introduction d'origine intentionnelle peut être a) directe en relation avec l'agriculture, l'horticulture, la sylviculture ou la foresterie, les aménagements paysagers et l'enrichissement de la biodiversité et b) indirecte dans le cas d'évasions de jardins botaniques ou privés et des unités de recherche. L'introduction intentionnelle des plantes est l'une des principales causes de l'introduction d'origine non intentionnelle via les contaminations des semences, des denrées agricoles, de certains matériaux, des emballages, des véhicules personnels, des engins de transport, etc. Naturellement, les espèces pourraient être déplacées par les catastrophes naturelles (inondations, cyclones, etc.) ou par les animaux (surtout les oiseaux migrateurs). Cependant, les voies non naturelles restent les plus importantes pour le déplacement des plantes exotiques envahissantes. Par exemple, Fried (2018) a rapporté que 63% des introductions de plantes (occasionnelles ou naturalisées) en Europe sont d'origine volontaire et 37% sont d'origine involontaire. En plus, 40% de la première catégorie a été introduite pour des activités ornementales. De même, Ben-Ghabrit (2019) a rapporté qu'environ 52% des plantes exotiques envahissantes ont été introduites intentionnellement en république Tchèque et 57% des plantes naturalisées ont été introduites intentionnellement à Montpellier au sud de la France.

Au Maroc, la jacinthe d'eau et la laitue d'eau (Fig. 14.3) ont été introduites comme plantes ornementales dans les jardins exotiques de Bouknadel, cis sur la route nationale entre Rabat et Kenitra, durant les années 80 (information recueillie auprès des jardiniers du site) sachant que ces jardins ont été créés en 1951 et leur ouverture au public a été lancée en 1961. En 2012, la laitue d'eau a réussi à franchir les murailles d'une résidence pour se trouver finalement dans l'oued Fès et précisément au niveau de Ras el Ma. Elle arrive ainsi à former un tapis dense de végétation qui couvre totalement la surface d'eau de la rivière sur plus de 5 km de longueur (Bouhache et Taleb, 2013; Bouhache, 2019). Sur la base de la recherche bibliographique, l'analyse moléculaire des échantillons de la morelle jaune du Maroc (faite en Australie) et des observations sur le terrain, Ben-Ghabrit (2019) a confirmé l'hypothèse selon laquelle l'invasion de la morelle jaune au Maroc est le résultat de plusieurs introductions non intentionnelles (entre 1940 et 1950) à partir

des Etats-Unis. Les propagules de la morelle jaune ont été introduites au Tadla sous forme de contaminations des lots de semences du cotonnier, en provenance de différents champs américains infestés par cette espèce.

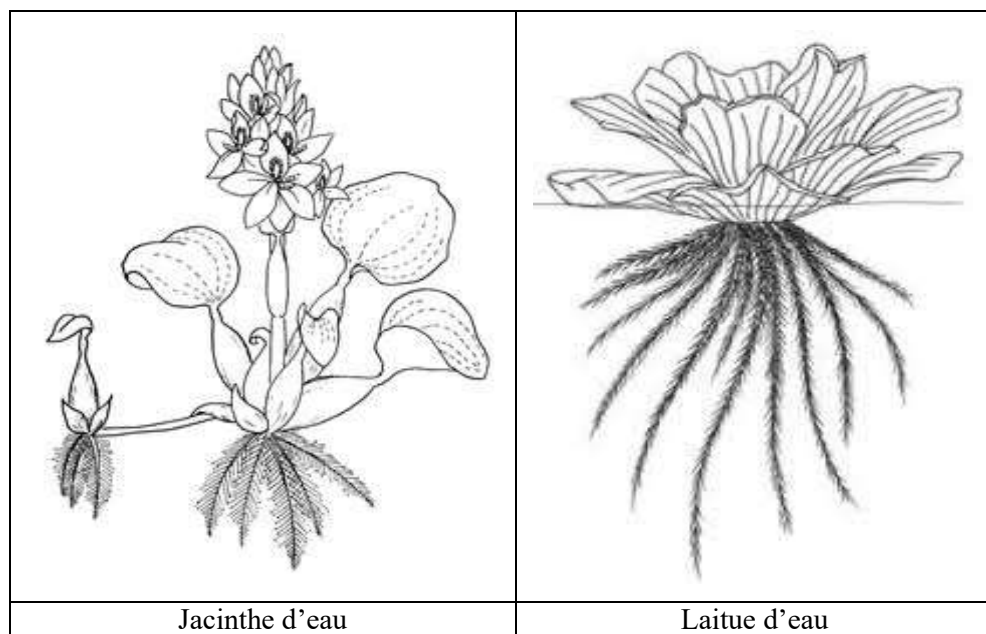


Figure 14.3: Plantes de la jacinthe d'eau en floraison et de la laitue d'eau au stade végétatif (Source: Internet)

5. Caractéristiques des plantes envahissantes

Peu d'espèces ou de populations introduites réussissent à surmonter les filtres biologiques et physiques imposés par le processus d'invasion. Ceci permet de supposer que les traits biologiques des plantes sont un facteur essentiel pour franchir chaque étape du processus de l'invasion (Fig.14.1). Malheureusement, les scientifiques n'ont pas suffisamment de données sur la biologie des plantes envahissantes pour pouvoir prédire si une plante introduite pourrait être invasive et avoir un impact sur les écosystèmes (Zimdahl., 2007). Ainsi, depuis l'émergence de l'invasion biologique en tant que discipline bien distinguée de l'écologie contemporaine, une des questions fondamentales est quels sont les traits qui

prédisposent une espèce à devenir naturalisée et envahissante dans une région où elle est introduite ? (Pyšek *et al.*, 2009). Effectivement, les écologistes théoriciens et de terrain n'ont cessé, sur la base des études avec plusieurs approches, à dessiner un profil type d'une plante envahissante et à donner ainsi une identité à cette catégorie de plantes nuisibles (Zimdahl, 2007). Cependant, une plante envahissante type ou universelle n'existe pas et que les traits qui confèrent à une plante un potentiel invasif dépendent de la nature des milieux à envahir. De ce fait, il existe une multitude de « type » de plantes envahissantes en relation avec la diversité des habitats envahis par ces espèces (Fried, 2018).

Les plantes envahissantes des milieux cultivés sont soumises à de fortes pressions dues aux différentes pratiques culturales. Ces dernières conduisent à une certaine homogénéisation des conditions, ce qui permet de dresser aisément un portrait-robot général sur la base des caractéristiques biologiques fréquemment associées aux adventices envahissantes (Fried, 2018). Ainsi, Baker (1965) fut l'un des premiers à décrire des plantes invasives en général, sans faire de distinction entre les plantes exotiques et indigènes. Les 12 traits physiologiques, démographiques et génétiques de l'adventice idéale, définis par Baker, sont aussi applicables aux plantes envahissantes (Radosevich *et al.*, 2007). Sur la base de l'étude de Jauzein (2001), ces traits ont été affinés pour les espèces vivaces et donnés dans le tableau 14.3 (Fried, 2018). Parfois, un seul de ces attributs peut rendre certaines espèces agressives ou dangereuses et d'autres non. Selon la classification écologique de Grime, les espèces invasives appartiennent aux deux stratégies, les rudérales (thérophytes) ou les compétitives-rudérales (géophytes). Elles sont caractérisées par une croissance rapide, une grande plasticité, un cycle de vie court, une forte production semencière ou une forte multiplication végétative associée à une grande capacité de dissémination des propagules (Fried, 2018).

Sur la base de 188 populations de la morelle jaune, collectées dans 224 sites de six zones géographiques du Maroc (Rif, Maroc Oriental, Maroc Atlantique Nord, Maroc Atlantique Moyen, Atlas et Maroc Saharien), le potentiel invasif de cette espèce envahissante a été déterminé par l'analyse des traits d'histoire de vie liés à la reproduction sexuée. Six variables morphologiques et physiologiques (parmi les 11 étudiées) ont été définies comme les traits liés au potentiel invasif de la morelle jaune: le nombre de graines par baie, le nombre de baies par plante, le nombre de plantes par population, le taux de germination, la vitesse de germination et la viabilité des graines (Ben-Ghabrit, 2019; Ben-Ghabrit *et al.*, 2020). Certes, il est reconnu dernièrement que les caractéristiques biologiques d'une espèce jouent un rôle déterminant dans le processus de son invasion, mais elles restent insuffisantes pour expliquer tous les cas d'invasion. D'autres facteurs et leurs interactions participent aussi à la réussite des invasions biologiques (Catford *et al.*, 2009; Pyšek *et al.*, 2009; Fried, 2018; Ben-Ghabrit, 2019).

Tableau 14.3: Caractéristiques biologiques des adventices invasives (Source: Fried, 2018).

Profil annuel (thérophytes), R	Profil vivace (géophytes), CR
Exigences de germination remplies dans de nombreux environnements	Multiplication végétative importante
Germinations échelonnées	Régénération par fragments
Longévité des semences élevée	Capacité de vie ralentie
Induction florale rapide	Profondeur des organes de survie
Floraison échelonnée	Réserves métaboliques: fortes capacités de bouturage en profondeur
	Dominance apicale
Croissance rapide des stades végétatifs à la floraison	
Production continue de graines tant que les conditions le permettent	
Autofécondation possible mais pas d'autogamie ou d'apomixie	
Allogamie par le vent ou par des visiteurs non spécialisés	
Production de graines élevée lorsque les conditions environnementales sont favorables	
Production de graines possible dans une large gamme de conditions; tolérance et plasticité phénotypique élevées	
Adaptation pour la dispersion à courte et à longue distances	
Capacité de compétition particulière: rosette, étouffement, allélopathie	

R: stratégie rudérale et **CR:** stratégie compétitive-rudérale selon la classification écologique de Grime.

6. Facteurs du succès des invasions

La compréhension des mécanismes et/ou des facteurs impliqués dans la réussite des invasions biologiques est indispensable pour le développement des stratégies de gestion des plantes envahissantes y compris la prévention. La conceptualisation du processus d'invasion sous forme de phases successives a encouragé les écologistes à émettre des hypothèses et/ou à chercher les facteurs qui permettent aux plantes envahissantes de passer d'une étape à l'autre du processus (Catford *et al.*, 2009). Ces auteurs ont énuméré une trentaine d'hypothèses émises pour expliquer le succès d'implantation et d'expansion des espèces introduites. Malgré le nombre important et la diversité de ces hypothèses, Catford *et al.* (2009) avaient conclu que l'invasion biologique est essentiellement une fonction de la pression de

propagules (P), des caractéristiques abiotiques (A) et des caractéristiques biologiques (B) de l'espèce envahissante et du milieu envahi. L'extension et l'intensité de l'invasion dépendent de la combinaison de ces trois facteurs, bien que leurs effets ne soient pas égaux, et souvent influencés par les activités humaines (H) (ex. introduction et dissémination, perturbations, etc.).

6.1. Pression de propagules (P)

Il est certain qu'aucune invasion biologique n'aura lieu sans la présence des propagules dans le milieu envahi. Ainsi, le succès d'une invasion exige une pression de propagules (P) suffisante (Radosevich *et al.*, 2007; Zimdahl, 2007; Catford *et al.*, 2009; Fried, 2009; Rai et Singh, 2020). Ce terme désigne à la fois le nombre de propagules et la fréquence d'introduction. Bien qu'une propagule puisse déclencher une invasion, la pression de propagules est importante pour un succès continu de la plante envahissante. Un P élevé implique un renforcement et/ou une augmentation de la diversité génétique des populations introduites, ce qui leur confère plus de chances d'adaptation aux conditions du nouvel habitat (Catford *et al.*, 2009). Les introductions continues jouent un rôle de tampon si les conditions sont temporairement défavorables ou si la population d'une espèce souffre d'une réduction sévère de son effectif. Le temps écoulé depuis l'introduction (temps de résidence) des propagules est un autre facteur important à considérer. Plus le temps de résidence d'une espèce exotique est important, plus la chance qu'elle devienne invasive dans son écosystème d'accueil est grande.

6.2. Caractéristiques abiotiques du milieu (A)

Les caractéristiques abiotiques du milieu envahi est un indicateur du degré de l'invasibilité de l'habitat récipiendaire. La réussite d'une invasion biologique exige que les caractéristiques environnementales du site d'introduction correspondent aux exigences écophysiologiques de la plante introduite. Dans le cas échéant, l'invasion est vouée à l'échec. Ainsi, la similarité climatique et édaphique entre la région géographique d'origine et la région d'introduction est un premier tri (Fried, 2018). La recherche de ces correspondances pourrait aboutir à l'établissement d'une carte de distribution potentielle de quelques espèces envahissantes à toutes les échelles géographiques (continent, région, pays, etc.). Ce genre de correspondance ne peut donner qu'une idée sur l'étendu de 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 (Ben-Ghabrit, 2019).

Le niveau des ressources disponibles d'un milieu est un facteur déterminant dans la réussite d'une invasion biologique (Davis *et al.*, 2000; Jauzein, 2001; Radosevich *et al.*, 2007; Zimdahl, 2007; Catford *et al.*, 2009; Fried, 2009; Rai et Singh, 2020).

Un écosystème est susceptible à l'invasion durant les périodes marquées par une augmentation brusque du niveau des ressources ou une réduction soudaine du taux d'utilisation des ressources par la végétation résidente (Davis *et al.*, 2000; Fried, 2018). Un milieu riche en ressources favorise généralement la croissance et le développement des populations introduites et fournit aux espèces invasives l'opportunité de colonisation et de réinitialisation de la succession écologique. L'excès des ressources pourrait être dû a) à une réduction de leur utilisation par les plantes indigènes à cause d'une baisse de leurs populations suite à des perturbations ou des prédateurs excessives ou b) à un apport externe ou interne (Davis *et al.*, 2000). Dans les conditions normales, les ressources du milieu sont complètement utilisées. Un environnement avec une fluctuation de la disponibilité en ressources est plus vulnérable qu'un environnement qui a un taux stable d'approvisionnement en ressources (Davis *et al.*, 2000). Ces auteurs ont identifié la fluctuation des ressources comme un autre facteur clé (ou hypothèse) dans le contrôle de la susceptibilité d'un écosystème à l'invasion. Ceci implique que l'invasibilité des écosystèmes change d'une année à l'autre voire même dans une année. Ceci démontre qu'il s'agit d'un phénomène dynamique et non statique (Davis *et al.*, 2007). De même, plus l'intervalle du temps entre l'approvisionnement en ressources et leur utilisation par la végétation résidente est prolongé, plus l'invasibilité de l'écosystème est grande.

Comme d'autres organismes, les plantes ont besoin d'espace pour capturer les ressources. Il va de soit que toute action et/ou processus qui libère ou élargit l'espace conduit également à une augmentation du niveau des ressources disponibles dans un écosystème, et par conséquent, sa vulnérabilité à l'invasion (Radosевич *et al.*, 2007; Zimdahl, 2007). Les perturbations sont connues pour jouer parfaitement ce rôle. Plus un milieu est perturbé et plus il contient des espèces allochtones ou exotiques. Ceci montre tout simplement que toute perturbation va dans un premier temps déstructurer les communautés végétales résidentes, mais surtout, elle va créer des ouvertures (niches vides ou vacantes) où la compétition est réduite ou absente et où diverses espèces à stratégie R pourront s'installer (Jauzein, 2001). Effectivement, Davis *et al.* (2000) prévoyaient que le milieu cultivé où un degré de perturbation élevé est combiné à des disponibilités en ressources élevées connaîtra des niveaux d'invasion qui ne sont observés que dans les berges des rivières et les bords des routes et des chemins de fer. Ces derniers changent la structure des paysages, et par conséquent, ils favorisent l'installation des espèces exotiques en créant des corridors facilitant leur dissémination rapide et accélérant la phase d'expansion (Catford *et al.*, 2009; Fried, 2018).

6.3. Caractéristiques biologiques de l'écosystème (B)

En plus des caractéristiques ou traits biologiques spécifiques, la réussite d'une invasion biologique d'une plante exotique dépend aussi de ses interactions avec les

autres plantes ou organismes existants dans le nouvel écosystème envahi. Dans ce dernier, une plante introduite pourrait gagner ou perdre des interactions biologiques qui sont importantes pour le succès et l'impact d'une invasion (Catford *et al.*, 2009). Par exemple, dans leur site d'origine, les espèces ont évolué avec leurs ennemis naturels (insectes, maladies et autres) et soumises à des régulations biologiques. Une fois libérées de ce contrôle (absence d'ennemis) par l'introduction dans un nouveau site géographique, ces espèces vont se développer sans contrainte. L'absence d'attaque par les ennemis naturels permet aux espèces introduites d'allouer à la croissance et à la reproduction des ressources auparavant utilisées pour leurs mécanismes de défense. Ceci leur donne un avantage compétitif certain par rapport aux espèces indigènes (Evolution de la capacité compétitive accrue) (Vanderhoeven *et al.*, 2007).

Certaines plantes sont susceptibles de libérer des substances chimiques allélopathiques (voir chapitre 12 sur l'allélopathie) dans leur environnement. Ces substances sont utilisées comme armes dans leurs interactions négatives avec d'autres organismes y compris les plantes. Dans la zone d'origine, la communauté végétale est adaptée aux composés chimiques produits par les différentes espèces indigènes, tandis que les substances allélopathiques sont utilisées comme « nouvelles armes » par les espèces exotiques pour favoriser leur établissement au détriment de certaines espèces existantes dans l'écosystème envahi (Davis *et al.*, 2000; Jauzein, 2001; Radosevich *et al.*, 2007; Vanderhoeven *et al.*, 2007; Zimdahl, 2007; Catford *et al.*, 2009; Fried, 2009; Rai et Singh, 2020). Par exemple, au Maroc, 65,5% des plantes exotiques ont des effets allélopathiques (Bouhache et Taleb, 2012). Des interactions positives entre les plantes envahissantes ont été aussi observées. Ce phénomène est appelé facilitation écologique. Explicitement, lorsqu'un écosystème est envahi par une plante exotique invasive, la probabilité d'invasion par d'autres espèces est grande. Ce processus est très frappant dans les écosystèmes naturels et semi-naturels (Radosevich *et al.*, 2007; Vanderhoeven *et al.*, 2007; Catford *et al.*, 2009).

La richesse floristique (espèces et groupes fonctionnels) d'un site est considérée comme une autre caractéristique biotique liée au processus de l'invasion biologique (résistance biologique). Cependant, l'effet et l'importance de ce facteur reste encore un sujet de débat entre les écologistes (Jauzein, 2001; Radosevich *et al.*, 2007). Cette incertitude a été soulevée par Ben-Ghabrit (2019) en citant deux types d'études: une catégorie d'études a montré qu'un écosystème riche en espèces est moins sensible à l'invasion, alors que l'autre catégorie a montré le contraire. Il a ajouté aussi que l'échelle de l'étude est à l'origine de cette contradiction. A petite échelle (échelle locale), plus il y a d'espèces et d'individus moins il y a de ressources disponibles pour l'espèce introduite. En plus, une communauté diversifiée est exposée à être habitée par plus d'ennemis naturels qui pourraient

avoir un impact négatif sur une espèce introduite. A grande échelle (l'ensemble de l'aire envahie), la richesse indique que ce milieu est pénétrable et/ou accueillant 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.

L'introduction d'espèces exotique dans un milieu implique aussi l'apport de nouveaux gènes et de nouveaux allèles. L'implication des espèces exotiques dans des hybridations interspécifiques est considérée comme un stimulus pour l'évolution de nouvelles espèces invasives. Il est aussi possible d'assister à des introgressions génétiques qui impliquent des croisements avec les parents en donnant des génotypes polyploïdes qui vont jouer un rôle déterminant dans l'évolution de l'invasion dans le nouvel environnement (Vanderhoeven *et al.*, 2007). En outre, des introductions multiples et d'origines géographiques différentes permettent de maintenir ou même d'augmenter la biodiversité génétique de la communauté végétale. Cette diversification permet de produire des individus, avec une plasticité phénotypique et une variabilité génétique, bien adaptés à des niches écologiques différentes de celle des génotypes parents et capables d'étendre l'aire d'invasion à l'échelle locale et/ou régionale.

7. Importance des plantes envahissantes au Maroc

Les dernières études relatives aux plantes envahissantes au Maroc ont permis d'arrêter une liste de 31 espèces (Tableau 14.4). Deux espèces, parmi ces dernières, sont très connues pour l'invasion des milieux aquatiques naturels et artificiels non cultivés: la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) et la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) (Fig. 14.3). Les deux espèces sont originaires de l'Amérique du sud et introduites au Maroc vers 1980 comme plantes ornementales. Depuis 2002, la législation marocaine les a considérées parmi les organismes de quarantaine (l'arrêté du Ministre de l'Agriculture N° 832-02 du juin 2002 dans le Bulletin Officiel N°5022). Les deux espèces ont un indice d'invasion très élevé puisqu'elles ont une grande capacité de reproduction et des impacts négatifs environnementaux et socio-économiques sur les écosystèmes envahis. Elles se multiplient par semences et par voie végétative et doublent leurs populations en moins de deux semaines. Actuellement, la jacinthe d'eau persiste dans la première étape de son processus d'invasion (phase de latence). Ainsi, sa présence reste limitée aux pièces d'eau des jardins (publics ou d'hôtels) et des résidences privées et aux pots de certains pépiniéristes ou vendeurs de plantes ornementales. La laitue d'eau a réussi à franchir la phase de latence en envahissant Oued Fès et précisément au niveau de Ras el Ma. En 2012, elle arrive ainsi à former un tapis dense de végétation qui couvre totalement la surface d'eau de la rivière sur plus de 5 km de longueur (Bouhache et Taleb, 2013; Bouhache, 2019). De ce fait, ces deux espèces aquatiques constituent une menace pour les zones humides naturelles et artificielles

constituées de retenues de plus de 150 barrages, plus de 200 barrages collinaires, 10 grands fleuves, 30 lacs naturels, une dizaine de marécages et environ 10 000 ha des rizières inondées. Ainsi, tout retard dans la prise des mesures d'éradication qui s'imposent pourrait compromettre la politique nationale en matière d'eau ou rendre la facture socio-économique et environnementale à payer très lourde.

Quant aux espèces terrestres, elles sont au nombre de 29 espèces appartenant à 12 familles botaniques dont cinq familles fournissent 76% de l'effectif spécifique, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Solanaceae* et *Euphorbiaceae* (Tableau 14.4). Uniquement 34,5% de ces espèces sont des néophytes, 17,2% ont été introduites entre les années 1930 et 1970, alors qu'environ la moitié de ces espèces a été introduite entre 1980 et 2000 (Bouhache et Taleb, 2012). Bien que les origines des introductions soient diversifiées ; 31,1% des plantes exotiques envahissantes du Maroc proviennent du continent américain; 20,6% du bassin méditerranéen; 17,2% de l'Afrique et les 31% restants sont réparties entre l'Europe, l'Asie et l'Australie. La flore invasive du Maroc est aussi caractérisée par la dominance des espèces annuelles (58,7%), allélopathiques (65,5%) et polyploïdes (58,6%). Environ la moitié des plantes exotiques envahissantes du Maroc a envahi les champs cultivés, alors que 27,6% a été trouvé dans les terrains non cultivés et le reste a envahi les deux types de milieux (Bouhache & Taleb, 2012). Parmi les espèces classées comme les plus invasives, 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. Ces études ont porté principalement sur l'état d'infestation, l'impact de ces espèces sur les plantes cultivées, la biologie de ces espèces, les mécanismes et voies d'invasion et les différentes techniques de lutte (Ben-Ghabrit, 2019).

Tableau 14.4: liste des espèces exotiques envahissantes du Maroc (Bouhache et Taleb, 2012 et 2013).

Espèces	Famille botanique	Date d'introduction	Indice d'invasion
Milieux aquatiques naturels et artificiels			
<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pontederiaceae</i>	1980	4
<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Araceae</i>	1980	4

Tableau 14.4 (Suite)

Milieux 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>Inula 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 organifolia</i>	<i>Solanaceae</i>	1949	3
<i>Ammannia coccinea</i>	<i>Lythraceae</i>	1980	3
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	<i>Poaceae</i>	1980	3
<i>Arctotheca calendula</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

Chapitre 15: Changement climatique et adventices

1. Définitions et historique

1.1. Définitions

La compréhension et/ou l'étude d'un phénomène commence par sa définition la plus communément acceptée et/ou utilisée. Ainsi, les définitions données ci-après sont celles des instances scientifiques ou politiques internationales reconnues dans le domaine. L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a défini le climat comme étant une « synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par des statistiques à long terme (valeurs moyennes, variances, probabilité de valeurs extrêmes, etc.) des éléments météorologiques dans cette région » (OMM, 1992). Pour le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en anglais) et au sens étroit du terme, « le climat désigne en général le temps moyen ou, plus précisément, se réfère à une description statistique fondée sur les moyennes et la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années (la période type, définie par l'OMM, est de 30 ans) ». Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, la hauteur des précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat désigne l'état du système climatique, y compris sa description statistique (GIEC, 2013). Le système climatique est l'interaction entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère.

L'OMM a donné deux définitions au changement climatique, une définition générale et une autre restreinte (OMM, 1992). La première définition considère le changement climatique comme un « terme général qui englobe toutes les formes d'inconsistance climatique (c'est-à-dire toute différence dans les statistiques à long terme des éléments météorologiques calculées pour des époques différentes mais se rapportant au même endroit, quelle que soit leur nature statistique ou leur cause physique ». Dans son sens restreint, le changement climatique « désigne un changement significatif (c'est-à-dire entraînant des effets importants sur le plan économique, social ou celui de l'environnement) de valeurs moyennes d'un élément météorologique (en particulier la température ou la hauteur des précipitations) au cours d'une période donnée, les moyennes étant prises sur des durées de l'ordre de la décennie ou davantage ».

Quant au GIEC, il a défini le changement climatique comme étant « la variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui

persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres » (GIEC, 2013). La Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), dans son article premier, a défini les changements climatiques comme « des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. Donc, cette convention a établi une distinction entre les changements climatiques attribuables aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat imputable à des causes naturelles » (GIEC, 2013). Ce dernier a aussi défini le changement climatique brusque ou rapide comme « un changement de grande échelle touchant le système climatique et s'étalant sur quelques décennies voire moins. Il persiste (ou devrait persister) durant quelques décennies au moins, provoquant des bouleversements humains et naturels ».

1.2. Bref historique du phénomène

Le dérèglement du climat, évoqué ces dernières années, n'est pas un phénomène récent caractérisant notre ère contemporaine, mais le climat change tout le temps et depuis toujours. Cependant, le changement climatique actuel ne peut pas être compris sans une mise en perspective historique et la connaissance des mécanismes qui régissent les dérèglements du climat de notre planète (Mouhot, 2012). Certes, plus on s'éloigne dans le temps, plus il est difficile de reconstituer l'histoire du climat de la Terre. Depuis la formation de notre planète (il y a 4,6 milliards d'années), la Terre a connu des cycles répétés de refroidissement et de réchauffement dus à l'effet de trois gaz, le gaz carbonique, le méthane et l'oxygène (Ramstein, 2017). La période de refroidissement (glaciaire) vécue durant l'ère géologique Tertiaire a été pilotée par la tectonique des plaques. Alors que les périodes de refroidissement du Quaternaire sont liées à trois facteurs orbitaux, l'excentricité (trajectoire elliptique de la Terre autour du soleil) qui varie avec une fréquence de 400 000 à 100 000 ans, l'Obliquité (inclinaison de l'axe de la Terre) qui varie avec une fréquence de 41 000 ans et la précession des équinoxes (axe de rotation de la Terre) avec une fréquence de 20 000 ans (Ramstein, 2017).

Les variations d'insolation induites par ces trois paramètres orbitaux peuvent faire basculer d'une période chaude à une autre froide. Effectivement, les forages marins ont permis de démontrer que le climat oscille, depuis un million d'années environ, entre les phases de grande glaciation (environ 100 000 ans) et des phases

interglaciaires courtes (10 000 à 40 000 ans) (Ramstein, 2017). En outre, l'analyse de l'air piégé dans les carottes de glace extraites avec des forages en Antarctique a permis de connaître avec précision la composition de l'atmosphère depuis 800 000 ans. En outre, ces études scientifiques ont accusé le niveau du gaz carbonique atmosphérique d'être derrière l'alternance entre les phases froides et chaudes (Ramstein, 2017; Davidson, 2018). Cependant, il n'y a pas eu de grandes variations du climat depuis la dernière grande glaciation, qui est terminée il y a 12 000 ans. Cette fin correspond en effet avec le début de l'agriculture (Mouhot, 2012). Les niveaux de CO₂ dans l'atmosphère sont restés assez stables jusqu'à la révolution industrielle (moitié du XIX^e siècle) après laquelle les niveaux se sont mis à augmenter d'une façon considérable. Une concentration de 280 ppm de CO₂ atmosphérique a été enregistrée durant la révolution industrielle contre 400 ppm en 2015. Cette dernière concentration est la plus élevée depuis 650 000 ans et aucune source naturelle de CO₂ ne peut expliquer cette augmentation (Davidson, 2018). L'enregistrement systématique de divers paramètres climatiques (ex. températures et précipitations) avait commencé au milieu du XIX^e siècle. La compilation des données, relevées depuis 1861, montrent qu'à la fin du XIX^e siècle, une tendance au réchauffement commençait à se manifester dans les hémisphères nord et sud avec quelques années où les températures globales accusèrent une légère baisse avant de reprendre leur tendance à la hausse (Fig. 15.1). De nombreux scientifiques estiment que la période de températures relativement douces que nous vivons aujourd'hui sera suivie par une autre ère glaciaire selon l'alternance entre les phases froides et chaudes connue depuis la création de notre planète (FAO, 1997). Les projections futures indiquent un retour inévitable à des périodes froides ou glaciaires dans 10 000 à 20 000 ans en absence des perturbations des cycles naturels (Seguin et Soussana, 2008).

Le changement naturel du climat se fait à un rythme très lent, alors que depuis la révolution industrielle, le climat change à un rythme très rapide au point que les températures moyennes d'aujourd'hui sont presque 1°C supérieures à celles d'avant l'ère industrielle. Cette augmentation apparaît si minime, mais 1°C de réchauffement à l'échelle globale peut être derrière des modifications dans les modèles de température, les cycles de l'eau et les écosystèmes. Cette accélération du rythme des changements climatiques a été attribuée en grande partie à l'activité humaine. Effectivement, les scientifiques ont confirmé ceci et ont démontré que toute activité humaine qui émet des gaz à **effet de serre** contribue à l'élévation des températures moyennes du globe terrestre (FAO, 1997; GIEC, 2001, 2007, 2014; Davidson, 2018). En 2014, le GIEC parle de risques « élevés à très élevés » en cas de hausse moyenne des températures de +4°C par rapport à la période préindustrielle (« extinction substantielle d'espèces », « risques importants pour la sécurité alimentaire »), mais évoque des risques « considérables » dès un réchauffement de 1 à 2°C. Une augmentation d'environ 2°C par rapport à la

période préindustrielle pourrait entraîner une perte de 0,2 à 2% des revenus annuels mondiaux. Les gaz à effet de serre suivent eux aussi leurs propres cycles physico-chimiques. Le problème est que l'être humain a bouleversé ces différents cycles. Les gaz à effet de serre d'origine anthropique étaient bien directement liés au changement climatique et que ce dérèglement du climat s'accélérera dans le futur si rien n'est fait pour changer nos manières d'émettre ces gaz à effet de serre. Dans ce contexte, le changement climatique est synonyme au réchauffement planétaire.

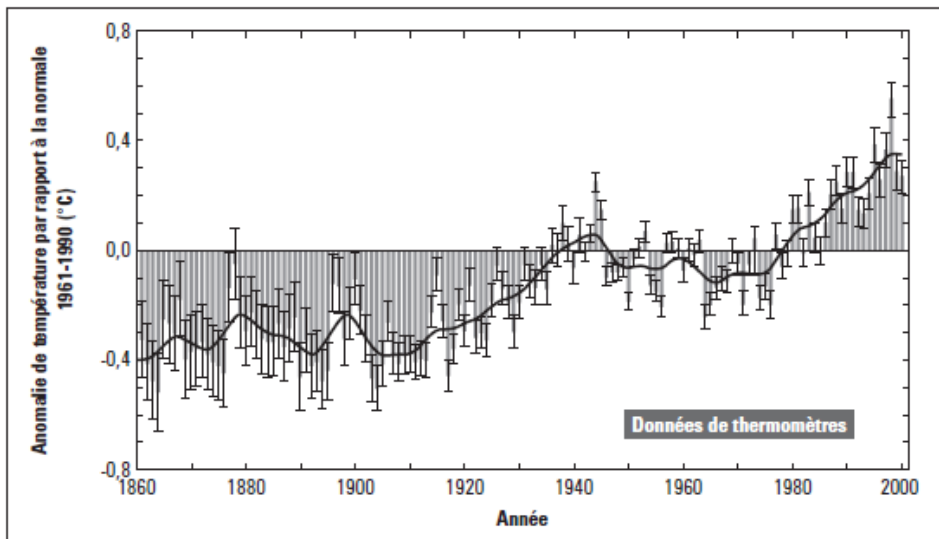


Figure 15.1: Variation de la température moyenne de la planète depuis 1861 (Source: GIEC, 2001)

2. Phénomène de l'effet de serre

2.1. Importance du phénomène

La notion de « l'effet de serre » est utilisée pour notre planète par analogie à ce qui se passe dans une serre vitrée utilisée en agriculture. Il est connu que toute l'alimentation en énergie de la Terre vient du Soleil. Les gaz présents dans l'atmosphère jouent le rôle de la vitre en laissant passer les rayons solaires (lumière visible), ce qui réchauffe la terre. Cependant, une partie (1/3) de ces rayons est renvoyée par la terre sous forme de rayons infrarouges invisibles. La partie restante

(2/3) des rayons est absorbée et réémise par les sols, les océans et l'atmosphère elle-même, ce qui a pour effet de refroidir la Terre. Mais, les gaz présents dans l'atmosphère absorbent les rayons infrarouges et les renvoient vers la terre, ce qui permet de la réchauffer à nouveau. Ainsi, les gaz présents dans l'atmosphère ont la particularité d'être transparents au rayonnement solaire et opaques au rayonnement infrarouge émis par la Terre. De ce fait, l'énergie est piégée. Ce phénomène est baptisé: « effet de serre » et les gaz impliqués sont dits « gaz à effet de serre » (Fig. 15.2). Cet effet est un phénomène tout à fait naturel, vital et essentiel pour nos conditions de vie sur Terre. Sans l'effet de serre de l'atmosphère, la température moyenne à la surface de notre planète serait autour de -18°C au lieu de $+15^{\circ}\text{C}$ que nous connaissons. La quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère influe sur les températures globales: une augmentation de ces gaz entraîne une élévation des températures, alors qu'une réduction de ces gaz conduit à une baisse des températures globales. Effectivement, ces dernières années, la stabilité de la température globale est fragile et menacée par les activités humaines ou facteurs anthropiques (FAO, 1997; Seguin et Soussana, 2008).

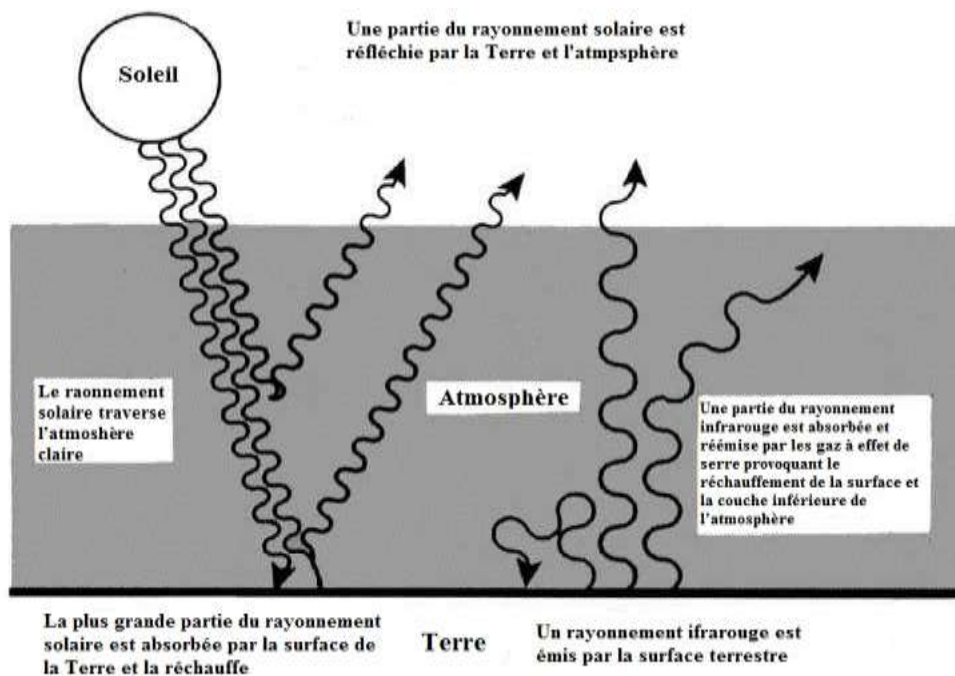


Figure 15.2: Schéma simplifié de l'effet de serre (Source: FAO, 1997).

2.2. Nature et sources des gaz à effet de serre

Plusieurs gaz à effet de serre (GES) sont naturellement présents dans l'atmosphère, mais seuls quelques uns participent activement dans la modulation du climat global. L'impact des GES sur ce dernier dépend de leur capacité à absorber et à émettre les rayonnements infrarouges, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie. Les principaux GES de l'atmosphère sont: la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), l'ozone (O_3) et les chlorofluorocarbones (CFC). La vapeur d'eau qui est le gaz le plus répandu des GES est responsable de la grande majorité de l'effet de serre naturel. Malgré l'irrigation et la construction des réservoirs d'eau, la quantité de la vapeur d'eau n'est pas très affectée par les activités humaines. Lorsque la température augmente, l'évaporation augmente et la vapeur d'eau dans l'atmosphère augmente aussi, ce qui renforce l'effet de serre (FAO, 1997; GIEC, 2001; Seguin et Soussana, 2008; GIEC, 2014).

Le dioxyde de carbone qui est le gaz le plus important des GES est influencé par l'activité humaine aussi bien en termes de quantité dans l'atmosphère que pour ses effets potentiels sur le réchauffement de la planète. Naturellement, ce gaz provient des éruptions volcaniques, des feux des forêts, de la respiration des animaux et des végétaux et de la décomposition des végétaux. Cependant, l'utilisation de carbone fossile (pétrole, gaz naturel, charbon pour l'industrie, le chauffage et les transports), la fabrication du ciment et la déforestation sont les principales sources et causes de l'augmentation de CO_2 , depuis le début de la révolution industrielle, au milieu du XVIII^e siècle. Le méthane est un gaz à faible concentration dans l'atmosphère, comparativement aux deux premiers, mais il a un effet de serre plus grand que le gaz carbonique. Il provient naturellement des terres marécageuses, des marais, des termites (dans les régions tropicales) et des océans. L'exploitation et le brûlage des combustibles fossiles, les processus digestifs chez les ruminants de l'élevage (ovins et bovins) et des animaux sauvages, les rizières inondées et les sites d'enfouissement des déchets restent la principale cause d'augmentation du méthane dans l'atmosphère. L'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote est produit par la déforestation, la combustion de la biomasse, les processus de nitrification et de dénitrification du sol dans les zones périodiquement humides, l'application d'engrais azotés et l'utilisation des combustibles fossiles. L'ozone et les chlorofluorocarbones (CFC-11 et CFC-12) sont relâchés dans l'atmosphère par des processus industriels comme l'utilisation de combustibles fossiles, l'industrie chimique et certains appareils ménagers. En définitive, le réchauffement climatique est causé principalement par la production d'énergie et de carburant pour les transports, mais aussi par l'agriculture, la déforestation et l'élevage (FAO, 1997; GIEC, 2001; Seguin et Soussana, 2008; GIEC, 2014).

Les concentrations de ces gaz dans l'atmosphère terrestre ont varié au cours des périodes géologiques. Depuis la dernière période glaciaire, les niveaux de ces gaz sont restés relativement constants. Avec une démographie croissante, une industrie polluante et une agriculture intensive, les concentrations des GES ne cessent d'augmenter rapidement. Comparativement à la période préindustrielle (avant 1750), la concentration de CO₂ est passée de 280 ppm (partie par million) à 379 ppm en 2005, celle du méthane de 700 ppb (partie par milliard) à 1 745 ppb en 1998 et celle de l'oxyde nitreux de 275 ppb à 314 ppb en 1998. A la fin du XXI^e siècle, les estimations prévoient des concentrations atmosphériques en CO₂ comprises entre 540 et 970 ppm (Seguin et Soussana, 2008). Déjà, le gaz carbonique a atteint une concentration de 400 ppm en 2015 qui est considérée la plus élevée depuis 650 000 ans et qu'aucune source naturelle de CO₂ ne peut expliquer cette augmentation (Davidson, 2018). Effectivement, en 2010, 34% des GES proviennent de la production d'énergie (surtout CO₂ qui résulte de la combustion) et 24% de l'agriculture, de la foresterie et du changement de l'utilisation des terres. En outre, il a été estimé que le CO₂ contribue avec 76% (dont 65% revient aux combustibles fossiles et à l'industrie) à l'effet de serre, le méthane avec 16%, l'oxyde nitreux avec 6% et les autres gaz avec 2% (GIEC, 2014). Sur la base des travaux des scientifiques, il existe maintenant un consensus très large de la communauté sur la réalité du changement climatique ou du réchauffement planétaire, ses conséquences éventuelles et la nécessité de renforcer les actions ou les stratégies pour l'atténuer (ex. convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques en 1992, protocole de Kyoto en 1997, conférences des parties connues par COP, accord de Paris en 2015, etc.) (GIEC, 2014, 2018).

2.3. Conséquences de l'effet de serre

Les travaux du GIEC ont permis d'abord d'écarter des esprits que le changement climatique (ou réchauffement planétaire) est un problème assez lointain et juste une question de thermomètre, mais les impacts sont directs ou indirects sur les milieux naturels ou semi naturels et certaines activités humaines. En plus, ces travaux attestent d'un réchauffement de la planète, avec une accentuation notée depuis les années 1980, causé fort probablement par l'effet de serre (GIEC, 2007). L'émission des GES due aux activités humaines avait continué à croître durant la période 1970 à 2010, malgré la prise de certaines mesures d'atténuation, avec 2,2% d'augmentation durant la décennie 2000–2010 contre 1,3% durant les quatre décennies 1970–2010. La quantité des GES émise entre 2000 et 2010 est considérée la plus élevée dans l'histoire humaine. Sur la base de ce constat et en absence de toute action pour stopper ce phénomène, la température moyenne à la surface du globe augmenterait de 3,7 à 4,8°C à la fin du siècle, comparativement à la période préindustrielle (GIEC, 2014). L'analyse des données météorologiques, à partir des milliers de stations météorologiques éparpillées dans le monde, a permis

de montrer que le réchauffement de la terre s'est accéléré et l'année 1988 a été la plus chaude depuis 1880 et que la température moyenne à la surface du globe a été déjà accrue de 0,6°C depuis la fin du XX^e siècle avec deux périodes de réchauffement bien remarquées: la première entre 1910 et 1945 et la deuxième à partir de 1976 (Fig. 15.1) (GIEC, 2001). Selon la FAO (1997), l'augmentation de la température globale devrait être de 0,3°C/décennie au cours du XXI^e siècle et pourrait aboutir à une hausse de 1°C, par rapport aux années 1990-2025 et de 2°C à la fin du siècle. Davidson (2018) a rapporté que si l'augmentation des GES se poursuit au même rythme que les cinq décennies passées, il faut s'attendre à une élévation des températures moyennes de 2°C et plus de 4°C respectivement en 2050 et 2100 par rapport à l'ère préindustrielle,.

Un tel changement, causé par les GES, aurait inéluctablement un impact sur les écosystèmes, la société et l'économie. Cependant, l'attribution d'un impact écologique et socio-économique à ce réchauffement n'est pas une question scientifique facile. Cette difficulté est due d'une part à la diversité d'autres facteurs ayant les mêmes conséquences sur les différents systèmes ou secteurs (ex. pollution) et d'autre part à la latence des effets qui ne sont pas apparents immédiatement en réponse au forçage climatique (Seguin et Soussana, 2008). L'analyse des travaux scientifiques en relation avec le phénomène a permis au GIEC de souligner que le réchauffement récent a des répercussions certaines. Ainsi, un impact a été observé sur a) la cryosphère (fonte des glaces et recul des glaciers), b) l'hydrologie et les ressources en eau (augmentation des sécheresses en zones arides et semi-arides, des inondations, réchauffement des eaux des fleuves et rives avec toutes les répercussions chimiques et biologiques, etc.), c) les zones côtières (élévation des niveaux des océans et des mers, acidification et désoxygénation des zones océaniques, etc.), d) les systèmes biologiques des eaux marines et douces (abondance, composition, distribution, migration et productivité des communautés végétales et animales), e) les systèmes biologiques terrestres (avancement de la phénologie, saison de végétation longue, diminution ou extinction de certaines espèces, etc.), f) l'agriculture et la foresterie (phénologie, saison de végétation, productivité, etc.), g) la santé humaine (maladies) et h) les catastrophes liés au réchauffement régional (GIEC, 2007; Seguin et Soussana, 2008; Davidson, 2018).

3. Changement climatique au Maroc

3.1. Quantités et sources des émissions

Les émissions des GES dues aux activités humaines ou d'origine anthropique sont liées étroitement à la population d'un pays et son activité économique. Au Maroc, les émissions ont connu une évolution croissante durant la période 1994-2012

puisqu'elles sont passées de 47,9 millions de tonnes équivalent CO₂ (Eq-CO₂) en 1994 à 100,55 millions t Eq-CO₂ en 2012, enregistrant ainsi un taux de croissance annuel de 4,2% (Croitoru et Sarraf, 2017). L'inventaire des GES en 2012 a permis de montrer que ces gaz ont été émis par cinq sources avec 57% des émissions est produit par l'énergie, 21% par l'agriculture, 10% par l'industrie, 8% par les déchets et 4% par la foresterie (Tableau 15. 1).

Tableau 15.1: Source et quantité des gaz à effet de serre émis au Maroc en 2012
(Source: Croitoru et Sarraf, 2017).

Source	Emissions (millions t Eq- CO ₂)	Secteurs dominants émetteurs
Energie	56,9	Industrie énergétique (41%), Industrie manufacturière et de construction (14%) et autres
Agriculture	21,4	Sols agricoles (63%), fermentation entérique (21%), gestion du fumier (16%)
Procédés industriels	9,9	Production des minéraux (81%) et production de métaux (19%)
Déchets	7,9	Décharges des déchets solides (82%), eaux usées et déjections humaines (18%)
Changement dans l'utilisation des terres et foresterie	4,4	Evolution du patrimoine forestier et autres stocks de biomasse ligneuse (93%), conservation de forêts et prairies (7%)
Total	100,55	

Malgré cette croissance galopante, les émissions/habitant générées au Maroc restent presque similaires à celles des pays voisins (Algérie, Tunisie et Egypte), mais considérablement inférieures à celles des pays développés comme le Canada et les pays européens (Croitoru et Sarraf, 2017). Le protocole de Kyoto reconnaît que parmi les six gaz associés à la portion anthropique des GES, uniquement trois fournissent 98% des effets, le CO₂ ou gaz carbonique, le CH₄ ou méthane et le N₂O ou oxyde nitreux. En 2012, les émissions anthropiques de ces trois gaz étaient évaluées au Maroc à 76,1 millions t Eq-CO₂. Avec ce niveau de production, les

trois gaz représentaient 75,7% de toutes les émissions anthropiques avec une dominance du CO₂ (73%) suivi par le CH₄ (19%) et le N₂O (8%) (Guay, 2021). Selon cet auteur, la production de ces trois GES étaient de 32 (dont 52% du CO₂); 41 (dont 60% du CO₂); 53 (dont 67% du CO₂) et 71 (dont 72% du CO₂) millions t Eq-CO₂, respectivement en 1980, 1990, 2000 et 2010.

3.2. Conséquences des émissions

A cause de sa situation géographique, le Maroc se trouve dans l'une des régions où les conséquences du dérèglement climatique seraient les plus accentuées. En effet, les premières manifestations du changement climatique sont déjà visibles ces dernières décennies et qui se traduisent par une augmentation de la température moyenne et une perturbation du régime des précipitations. L'analyse des données issues de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) a montré qu'effectivement entre les périodes 1971-1980 et 2009-2017, les températures moyennes annuelles ont augmenté dans la majorité des villes marocaines et variaient de 0,8°C à Al Hoceima à 2,6°C à Oujda (Fig.15.3). En outre, une certaine accélération du réchauffement a été notée durant la dernière décennie puisqu'entre les périodes 1971-1980 et 1998-2007, la hausse des températures était comprise entre 0,3°C à Tétouan et 1,7°C à Béni-Mellal (Jaa, 2019).

Dans son troisième rapport présenté à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le Maroc a réitéré une autre fois que le changement climatique est déjà en cours dans notre pays au vu des tendances climatiques observées entre 1960 et 2005. Les températures moyennes annuelles ont augmenté de 1,0 à plus de 1,8°C et les précipitations ont subi un déclin qui varie entre 3 et 30% avec une baisse de 26% dans la région Nord-Ouest du pays considérée comme la zone la plus humide du Maroc. Les projections climatiques portées sur les précipitations annuelles et les températures moyennes ont permis d'observer une tendance à la baisse des cumuls annuels des précipitations qui varie entre 10 et 20% pour atteindre 30% dans les provinces sahariennes à l'horizon 2100. Pour était projetée à l'horizon 2020 et de 1 à 1,5 °C aux horizons 2050 et 2080, sur l'ensemble du pays (MEMEE, 2016).

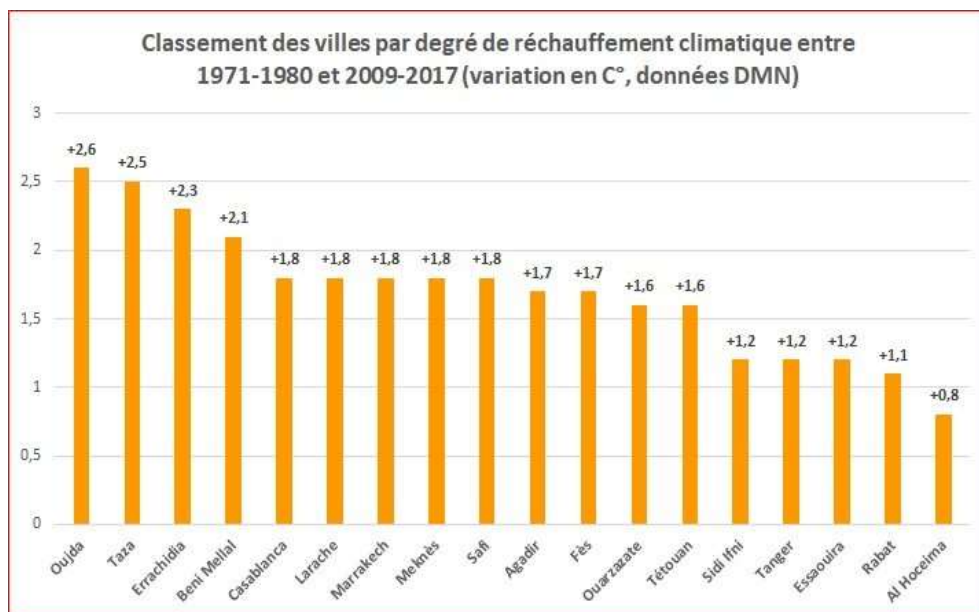


Figure 15.3: Augmentation des températures moyennes annuelles de quelques villes marocaines (Source: Jaa, 2019).

En plus de la hausse des températures et la réduction du cumul des précipitations, le Maroc a connu et connaîtra des extrêmes climatiques plus fréquents et plus intenses. Par exemple, les sécheresses sont plus fréquentes et plus longues: entre 1980 et 2002, le Maroc a connu 10 sécheresses contre cinq sécheresses entre 1940 et 1979. En outre, le nombre d'inondations a tendance à augmenter fortement: la région du Souss-Massa a connu quatre inondations durant une période de 25 ans (de 1982 à 2007) contre sept inondations en 7 ans (de 2008 à 2015). L'impact du changement climatique a été aussi caractérisé par les vagues de chaleur qui deviennent de plus en plus fréquentes, longues et intenses et par une élévation du niveau de la mer. Durant la période entre 1955 et 2003, une augmentation du niveau de la mer de 0,6 mm/an a été relevée au niveau des côtes méditerranéennes contre 1,6 à 2 mm/an au niveau du littoral atlantique durant la période entre 1945 et 2000 (MEMEE, 2016; Jaa, 2019).

Comparativement aux pays industrialisés, notre pays n'est pas un grand émetteur de GES, mais il n'est pas à l'abri des impacts négatifs du réchauffement climatique. Ainsi, la hausse des températures, l'élévation du niveau des mers et des

océans et la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes ont déjà affecté ou affecteront encore davantage de nombreux secteurs économiques vitaux pour le Maroc tels que les ressources en eau, l'agriculture, la pêche maritime, les forêts, le littoral (submersion des côtes basses, érosion côtière qui pourrait emporter des plages, etc.) et la biodiversité (MEMEE, 2016). En agriculture, par exemple, le changement climatique aura des conséquences négatives comme a) la réduction de la productivité des cultures pluviales, b) le déplacement de l'aire de production de certaines cultures exigeantes en eau (ex. maïs), c) la perte de fertilité des sols à cause de la baisse de la matière organique des sols et des érosions hydrique et éolienne et d) la baisse des ressources en eau d'irrigation (Badraoui et Balaghi, 2012).

4. Changement climatique et adventices

L'évaluation des effets des facteurs du changement climatique, particulièrement l'augmentation du CO₂ atmosphérique; l'élévation de la température et les perturbations du régime des précipitations, sur l'agriculture et les pratiques culturales est très importante pour anticiper et adapter les pratiques et/ou les techniques qui maximisent la production agricole dans le futur. L'augmentation de la production agricole et sa durabilité passent obligatoirement entre autres par une gestion efficace des ennemis des cultures comme les adventices. La physiologie, la croissance et le développement des adventices sont directement affectés par la concentration du CO₂ atmosphérique, la température et la disponibilité de l'eau et des nutriments (Varanasi *et al.*, 2016). Comparativement aux cultures, les adventices réagissent rapidement à tout changement de ces facteurs abiotiques et ont une grande capacité d'adaptation aux différents milieux à cause de leurs grandes diversité génétique et plasticité physiologique. Beaucoup d'études ont indiqué que toute augmentation de la concentration du CO₂ atmosphérique et le changement climatique qui en découle pourrait favoriser la croissance et le développement des adventices plus que les cultures avec toutes les conséquences négatives sur la production agricole (Ziska, 2016). Le changement climatique affecte les adventices à plusieurs niveaux, de la cellule à la plante entière. En outre, les changements dans les processus biologiques (ex. photosynthèse) se manifestent rapidement au niveau cellulaire ou à une échelle très petite, alors qu'ils ont besoin de longues périodes pour se manifester au niveau des écosystèmes ou à une échelle très grande (Ziska et Dukes, 2011).

Presque la totalité des adventices font partie de deux principales classes de mécanisme de fixation du carbone lors de la photosynthèse, type en C₃ et Type en C₄. Les adventices ayant le mode de fixation du CO₂ en C₃ (95%) ou en C₄ (4%) réagissent différemment à l'élévation de la concentration du CO₂ atmosphérique et de la température (Tableau 15.2). Du fait que la Rubisco est une enzyme carboxylase et oxygénase, l'élévation de la concentration du CO₂ atmosphérique

stimule la photosynthèse chez les plantes de type C_3 en augmentant le gradient du CO_2 de l'atmosphère à la surface des feuilles et en réduisant, par conséquence, la photorespiration qui signifie que la Rubisco fixe O_2 au lieu de CO_2 . Ainsi, toute augmentation du CO_2 stimule la carboxylation, et par conséquent, réduit les pertes de CO_2 par la photorespiration, ce qui entraîne une augmentation du taux de photosynthèse nette chez les plantes en C_3 . Alors que, les plantes en C_4 ne bénéficient pas beaucoup de l'augmentation du CO_2 atmosphérique car ces plantes ont déjà un mécanisme interne qui leur permet de concentrer le CO_2 au niveau du site de carboxylation de ce gaz. Ainsi, ces plantes ont des taux de photosynthèse élevés aux concentrations actuelles du CO_2 (Fig. 15.4) (Gagnon *et al.*, 2011; Ziska et Dukes, 2011; Varanasi *et al.*, 2016; Malarkodi *et al.*, 2017; Ramesh *et al.*, 2017). En considérant uniquement l'effet de l'augmentation de la concentration du CO_2 , des hausses de biomasse de l'ordre de 10 à 30% pour les plantes en C_3 et de 0 à 10% pour les plantes en C_4 seraient envisageables (Fig. 15.4). Ceci explique pourquoi les plantes en C_3 sont généralement plus avantagées que celles en C_4 dans un milieu où la concentration du CO_2 est supérieure à la concentration normale ou habituelle (Gagnon *et al.*, 2011).

Tableau 15.2: Effet de l'élévation de la concentration de CO_2 et de la température sur les adventices selon leur mode de fixation du CO_2 (Source: Varanasi *et al.*, 2016).

Mode de fixation du CO_2	Plantes en C_3	Plantes en C_4
Différences physiologiques	- Chloroplastes présents uniquement dans les cellules du mésophylle - CO_2 fixé par Rubisco (Ribulose bisphosphate carboxylase/oxygénase) - Photorespiration élevée - Température optimum 15-25 °C	- Chloroplastes présents dans les cellules du mésophylle et les cellules de la gaine périvasculaire - CO_2 fixé par PEP (Phosphoenolpyruvate carboxylase) - Photorespiration faible - Température optimum 30-40°C
Exemples d'adventices	<i>Avena sterilis</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Convolvulus arvensis</i> <i>Lolium rigidum</i> <i>Polygonum convolvulus</i> <i>Papaver rhoeas</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Echinochloa crus-galli</i> <i>Sorghum halepense</i> <i>Panicum repens</i>

Tableau 15.2 (Suite)

Elévation du CO ₂	Grande stimulation de la photosynthèse et de la croissance	Faible stimulation de la photosynthèse et de la croissance
Elévation de la température	Augmentation de la photorespiration et réduction de la photosynthèse nette	Stimulation de la photosynthèse et de la croissance à des concentrations élevées du CO ₂

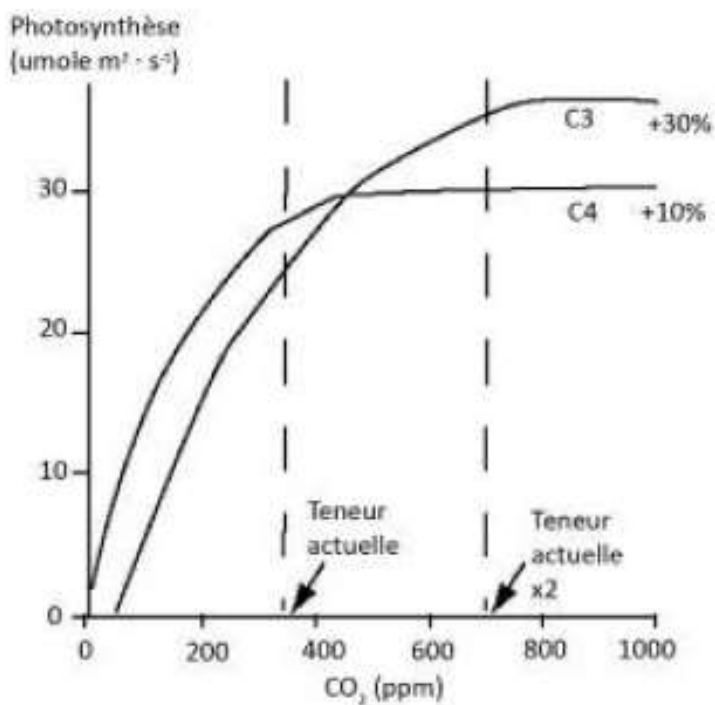


Figure 15.4: Effet de l'augmentation de la concentration du CO₂ sur le taux de photosynthèse des plantes en C₃ et C₄ (Source: Gagnon *et al.*, 2011).

Une concentration élevée du CO₂ atmosphérique entraîne à long terme une augmentation de la température moyenne à la surface du globe, une perturbation du régime des pluies et une augmentation de la fréquence et de l'intensité des extrêmes climatiques. En général, l'élévation de la concentration du CO₂ a plus d'effet sur la biologie (ex. capacité reproductive), la physiologie (ex. photosynthèse, photorespiration), la croissance (ex. biomasse, surface foliaire) et le développement des adventices. Une température élevée réduit le ratio CO₂/O₂ dans la solution, ce qui augmente l'affinité de la Rubisco vis-à-vis de l'oxygène et la photorespiration. Ainsi, les plantes en C₃ perdent leur avantage sur les plantes en C₄, dans une atmosphère très riche en CO₂ (Ziska et Duckes, 2011). Les températures et les précipitations jouent un rôle très important dans la distribution géographique des espèces. Par exemple, les adventices agressives originaires des régions tropicales et subtropicales sont actuellement confinées dans les zones à climat méditerranéen (limite supérieure de leur répartition) et les conditions du futur climat permettraient à ces espèces d'élargir leur aire de distribution aux régions tempérées (Amare, 2016). L'auteur a rapporté que toutes les simulations prévoient que les espèces limitées par le froid hivernal vont migrer dans le futur vers le nord de leur aire de répartition et/ou en altitude. L'action de chaque facteur et/ou de leurs interactions affectent la compétitivité, et par conséquent, la composition floristique d'un territoire soumis au changement climatique (Gagnon *et al.*, 2011). Une élévation de la concentration du CO₂ et de la température permettrait aux nouvelles adventices de devenir problématiques ou aux adventices existantes de devenir plus problématiques. Comparativement aux adventices de type C₃, celles de type C₄ sont caractérisées par une grande utilisation efficace de l'eau. De ce fait, l'augmentation du taux de la photosynthèse et de la croissance de certaines adventices de type C₄ est observée lorsque l'élévation de la concentration du CO₂ atmosphérique est accompagnée des conditions sèches (Amare, 2016 ; Malarkodi *et al.*, 2017). Les élévation de la température et de l'humidité du sol ont un effet sur la germination des semences (via la dormance) et l'émergence dans l'espace et dans le temps des plantules des adventices (Ramesh *et al.*, 2017). Ces auteurs ont rapporté que la germination et la phénologie des adventices ont été beaucoup plus affectées par l'augmentation de la température que par l'élévation de la concentration du CO₂. Par exemple, une élévation de la température de 4°C a fait avancer la période de germination du *Chenopodium album* et de *Setaria viridis* respectivement de 26 et 36 j et leurs périodes de floraison de 50 et 31,5 jours.

Dans la région du Tadla, les changements climatiques de ces dernières décennies ont fait que les mois de septembre et d'octobre sont de plus en plus chauds. Les semis de la betterave à sucre se font de plus en plus précocement (début septembre) pour échapper au problème de sécheresse sévissant en fin de cycle. Ces conditions ont eu pour conséquence l'infestation précoce de la betterave à sucre par des espèces estivales habituellement très peu rencontrées dans cette culture à cette

époque dans les conditions normales. C'est le cas de certaines Dicotylédones comme le pourpier (*Portulaca oleracea*), les amarantes (*Amaranthus albus* et *A. retroflexus*) et la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium*) et de certaines Monocotylédones telles que la sétairie (*Setaria viridis*) et le souchet à tubercule (*Cyperus rotundus*) (Baye, comm.pers.). De même, pour la cuscute qui est une plante parasite printanière ne germant qu'à la sortie de l'hiver, des attaques ont été constatées (à maintes reprises) en automne sur certaines adventices et certaines cultures comme la betterave à sucre, les légumineuses et les fourrages (luzerne en particulier) (Baye, comm. pers.). Ceci implique que les stratégies de désherbage préconisées dans ce périmètre doivent être revues et adaptées à ce changement de la flore de début du cycle.

5. Changement climatique et interaction cultures-adventices

La réaction différentielle des plantes en C_3 et C_4 à l'élévation de la concentration du CO_2 atmosphérique et au changement climatique qui en résulte peut modifier les interactions entre les plantes. Effectivement, le changement climatique affecte les ressources des écosystèmes, ce qui entraîne un changement de la nature et de l'intensité des interactions entre les cultures et les adventices (Varanasi *et al.*, 2016). Tout facteur qui augmente le stress environnemental sur les cultures rend ces dernières vulnérables aux attaques des insectes et des agents pathogènes et moins compétitives vis-à-vis des adventices (Amare, 2016). Une bonne compréhension des interactions potentielles (ou futures) entre les cultures et les adventices, sous l'effet du changement climatique, est essentielle pour l'évaluation de la vulnérabilité des cultures dans différentes régions du globe (Varanasi *et al.*, 2016). Quatre interactions peuvent être observées au champ, adventices C_4 dans les cultures C_3 , adventices C_3 dans les cultures C_3 , adventices C_3 dans les cultures C_4 et adventices C_4 dans les cultures C_4 . Etant donné que l'augmentation du CO_2 influe directement sur la physiologie des plantes à travers la photosynthèse, la transpiration et la respiration, les plantes en C_3 profitent mieux de l'augmentation de la concentration du CO_2 et deviennent plus compétitives que les plantes C_4 . Lorsque les adventices et les cultures ont le même mode de fixation de carbone, les adventices sont toujours les plus favorisées car elles ont été sélectionnées naturellement pour être plus performantes et plus compétitives (Tableau 15.3).

A cause de la photorespiration, les plantes en C_4 sont avantagées dans un environnement où les températures sont élevées. Ainsi, les plantes C_3 sont plus compétitives que les plantes C_4 dans un milieu très riche en CO_2 et sous une température clémente. Cependant, les plantes C_4 sont compétitives dans un écosystème où l'élévation du CO_2 est associée à une élévation de la température (Gagnon *et al.*, 2011; Varanasi *et al.*, 2016; Manisankar et Ramesh, 2019). En outre, lorsque l'humidité du sol est élevée, la pression compétitive des adventices aurait moins de répercussions sur la croissance et le développement des cultures, et

par conséquence, sur le niveau des pertes de rendements finaux (Fig. 15.5). A cause de leur utilisation efficace élevée de l’eau, les plantes C₄ sont plus compétitives dans les milieux où la sécheresse est combinée à l’élévation de la concentration du CO₂ atmosphérique. D’autant plus, la majorité des adventices reconnues les plus agressives (ou redoutables) et difficiles à gérer sont des plantes en C₄ (Amare, 2016; Malarkodi *et al.*, 2017).

Tableau 15.3: Compétition entre les cultures et les adventices dans une atmosphère enrichie avec CO₂ (Source: Manisankar et Ramesh, 2019).

Adventices	Cultures	Favoris à [CO ₂] élevée
<i>Amaranthus retroflexus</i> (C ₄)	Soja (C ₃)	Culture
<i>Amaranthus retroflexus</i> (C ₄)	Sorgho (C ₄)	Adventice
<i>Chenopodium album</i> (C ₃)	Soja (C ₃)	Adventice
<i>Taraxacum officinale</i> (C ₃)	Luzerne (C ₃)	Adventice
<i>Abutilon theophrasti</i> (C ₃)	Sorgho (C ₄)	Adventice
Riz rouge (C ₃)	Riz (C ₃)	Adventice
<i>Echinochloa glabrescens</i> (C ₄)	Riz (C ₃)	Adventice

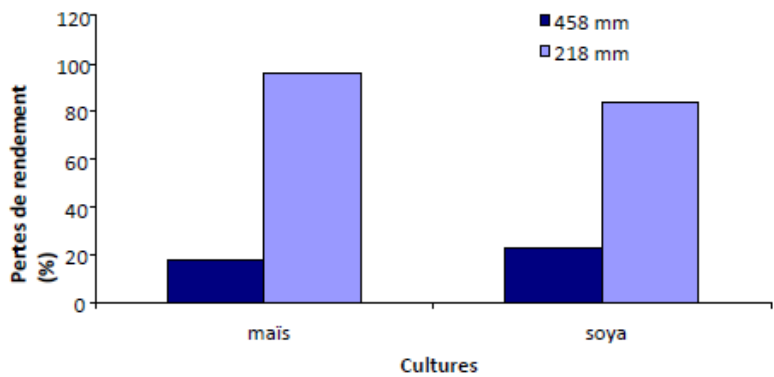


Figure 15.5: Effet des précipitations annuelles sur la compétitivité des adventices avec le maïs et le soja ou soja (Source: Gagnon *et al.*, 2011).

6. Changement climatique et gestion des adventices

Pour atténuer les répercussions négatives des adventices, plusieurs méthodes sont utilisées pour leur gestion dans les cultures et les écosystèmes naturels et semi-naturels. Les moyens de lutte culturale, physique, mécanique, chimique et biologique sont les plus préconisés dans les opérations de désherbage. Plusieurs études, basées sur les simulations du climat futur, ont montré que le changement climatique affecte directement et indirectement l'efficacité de ces méthodes de lutte (Ziska et Dukes, 2011; Amare *et al.*, 2016 ; Varanasi *et al.*, 2016; Kumar et Kumar, 2017; Malarkodi *et al.*, 2017; Ramesh *et al.*, 2017).

6.1. Effet du changement climatique sur la lutte chimique

L'utilisation des herbicides 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. Non seulement, ces conditions affectent la croissance et la physiologie des plantes, mais elles influent aussi sur l'interaction entre les plantes et les herbicides appliqués. Ainsi, les facteurs comme la lumière, le CO₂, la température, l'humidité relative de l'air, les précipitations et le vent ont un effet direct ou indirect sur l'activité des herbicides sur et/ou dans les plantes traitées. 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. Au niveau biochimique, 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 *et al.*, 2017)

Au niveau de la feuille, l'activité des herbicides est affectée par un nombre d'effets induits par l'interaction CO₂-climat. Par exemple, l'élévation de la concentration du CO₂ atmosphérique augmente le nombre de feuilles et la surface foliaire, ce qui augmente l'interception des herbicides appliqués aux feuilles. Alternativement, l'élévation de la concentration du CO₂ et/ou le stress hydrique changent l'anatomie et les caractéristiques de leurs surfaces foliaires, ce qui impacte négativement l'absorption des herbicides. 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 *et al.*, 2016;

Ramesh *et al.*, 2017). Au niveau de la plante entière, les taux de développement pourraient être augmentés, ce qui active le métabolisme et réduit la durée du stade plantule qui est un stade sensible aux herbicides. Généralement, plus la taille des plantes est grande, plus l'efficacité des herbicides foliaires est réduite. En outre, l'élévation du CO₂ et le changement climatique affectent l'allocation des ressources aux différents organes de la plante avec des retombées sur la translocation des herbicides systémiques. Une étude conduite au champ sur la tolérance de *Cirsium arvense* (adventice vivace, C₃) aux deux herbicides foliaires, le glufosinate et le glyphosate, a permis de montrer que la partie aérienne de l'adventice a été desséchée complètement au bout de deux semaines. La régénération (après application des herbicides) a été réduite de 90% quand le glyphosate a été appliqué à la concentration ambiante du CO₂ contre uniquement 10% dans le cas où la concentration du CO₂ a été augmenté de 250 ppm. Dans cette dernière atmosphère, *C. arvense* alloue plus de biomasse aux racines, ce qui entraîne une certaine dilution de l'effet des herbicides systémiques comme le glyphosate (Fig. 15.6) (Ziska et Dukes, 2011).

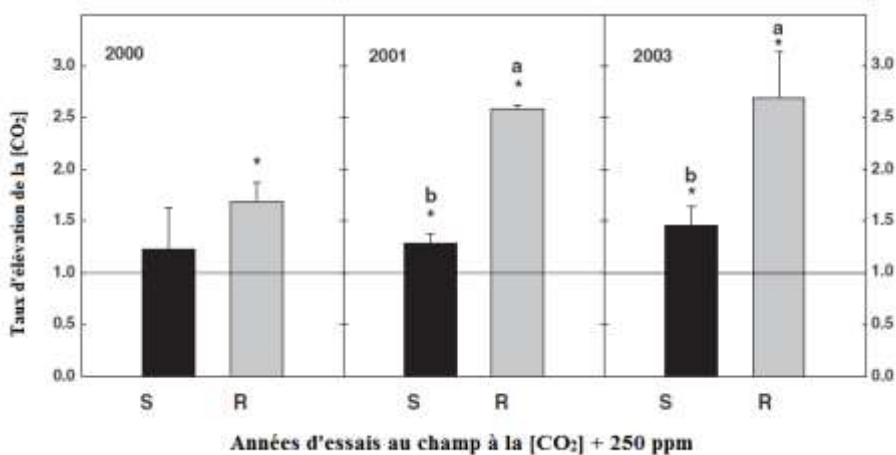


Figure 15.6: Effet de l'élévation de la concentration de CO₂ par rapport à la concentration ambiante sur la biomasse de la partie aérienne (S) et des racines (R) du *Cirsium arvense* (Source: Ziska et Dukes, 2011).

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. Les herbicides foliaires sont sensibles à tous ces facteurs, tandis que l'action des herbicides appliqués au sol dépend essentiellement de l'humidité et de la température du sol. Par exemple, des humidités relatives élevées sont bénéfiques à l'action des herbicides foliaires systémiques hydrophiles. Cependant, des pluies intenses ou un grand cumul annuel de précipitations pourraient augmenter le lessivage des herbicides foliaires et résiduels, et par conséquent, causer des contaminations de la nappe. Une augmentation de la fréquence des jours ventés peut réduire les périodes convenables pour l'application des herbicides, sans oublier qu'un vent dont la vitesse dépasse les normes peut causer la dérive des herbicides et les emporter plus loin du lieu de traitement. De même, une température élevée et une sécheresse accrue augmentent la volatilisation de certains herbicides dans l'atmosphère.

6.2. Effet du changement climatique sur la lutte non chimique

La lutte mécanique contre les adventices est une méthode fréquemment utilisée dans les pays à agriculture bien développée ou ceux à agriculture moins développée pour réduire l'utilisation des herbicides, gérer la résistance des 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 (Fig. 15.7), 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 *et al.*, 2016; Malarkodi *et al.*, 2017). De même, une humidité excessive ou une sécheresse prolongée compromet l'efficacité de la lutte mécanique. Le fauchage est une technique qui vise à détruire la partie aérienne des adventices. Contrairement aux adventices annuelles, un seul fauchage n'est pas suffisant pour combattre les adventices vivaces. Cependant, répété plusieurs fois durant une année et/ou plusieurs années, le fauchage arrive à épuiser les réserves du système racinaire des vivaces, ce qui permet de bien contrôler cette catégorie d'adventices. 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.

6.3. Effet du changement climatique sur la lutte biologique

Les agents biologiques (insectes, champignons, bactéries, etc.) ont été utilisés depuis 1902 comme moyen de lutte contre les adventices. Ainsi, 500 agents

biologiques ont été utilisés pour contrôler 200 espèces d'adventices dans 90 pays (Day et Witt, 2019). 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 *et al.*, 2016; Malarkodi *et al.*, 2017). Quant à Sun *et al.* (2020), ils ont rapporté que 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 *et al.*, 2020). Par exemple, l'augmentation de la concentration du CO₂ atmosphérique modifie les métabolismes primaire et secondaire des adventices. Le premier métabolisme fournit plus de biomasse au profit des agents herbivores et augmente le taux de croissance des adventices qui leur permet de tolérer l'herbivorie. Quant au deuxième métabolisme, il permet de produire des substances chimiques (ex. composés phénoliques) utilisées dans les mécanismes de défense des plantes contre les ennemis naturels, ce qui pourrait réduire l'attaque des agents biologiques (Sun *et al.*, 2020).

7. Changement climatique et plantes envahissantes

Avec le changement global de l'environnement, tous les pronostics, basés sur des études concrètes et/ou sur la modélisation, prévoient que le phénomène de l'invasion biologique deviendra de plus en plus important en posant plus de défis quant à sa gestion. Bien que beaucoup d'études aient énuméré les menaces directes et/ou indirectes posées séparément par les plantes invasives et le changement climatique sur les écosystèmes, d'autres études ont essayé de considérer l'interaction et les impacts potentiels de ces deux facteurs sur les écosystèmes. L'action conjointe de l'invasion biologique et du changement climatique aurait un impact désastreux sur les écosystèmes touchés. Effectivement, le changement climatique augmente la capacité des plantes prédisposées à envahir les nouveaux habitats, et parallèlement, réduit la résistance des communautés naturelles ou autochtones aux processus d'invasion. Cependant, la conceptualisation des relations/interactions entre la dynamique de l'invasion et le changement climatique

est relativement complexe (Fig. 15.7). L'effet du changement climatique sur l'invasion biologique pourrait être perçu à trois niveaux, la source des espèces invasives, les voies de dispersion et le processus d'invasion (Thuiller *et al.* 2006). Ces auteurs ont conclu que le troisième niveau reste le plus important et le plus pertinent. Effectivement, plusieurs études ont démontré que le changement climatique peut influencer les différentes étapes du processus d'invasion des plantes depuis l'introduction jusqu'à l'impact sur les écosystèmes envahis (Kathiresan et Gbehounou, 2016; Sun *et al.*, 2020).

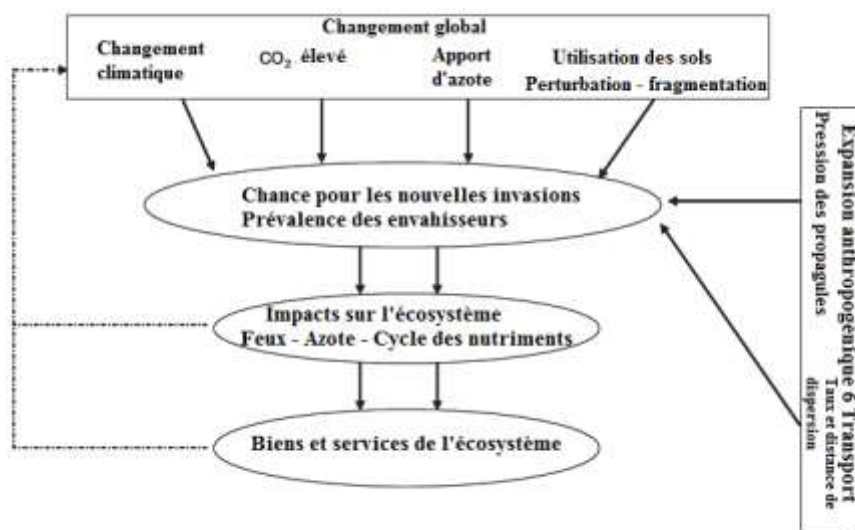


Figure 15.7: Impact du changement global sur l'invasion biologique et ses processus (Source: Thuiller *et al.*, 2006).

Le changement climatique altère trois paramètres qui déterminent la prévalence des plantes envahissantes dans un écosystème, les conditions abiotiques, les conditions biologiques et le comportement des humains (Ziska et Dukes, 2011). Le changement climatique modifie les conditions de l'environnement, et par conséquent, les plantes autochtones se trouvent dans des conditions défavorables pour leur survie, ce qui favorise l'introduction et l'installation des plantes envahissantes. Effectivement, certaines espèces ayant certains traits profitent mieux que les plantes autochtones ou endémiques de tout changement survenu, et par conséquent, elles deviennent plus dominantes. Par exemple, les plantes originaires

des régions chaudes seraient plus avantagées que les plantes autochtones lorsque la température est élevée. Le comportement invasif d'une plante dépend de sa variabilité génétique, des facteurs biologiques et des facteurs climatiques avec qui elle a des interactions. Les facteurs climatiques qui affectent les traits invasifs des plantes englobent la température de l'air et du sol, les précipitations, l'évaporation et la concentration du CO₂ atmosphérique. Les traits biologiques influencés par le changement d'un ou de plusieurs facteurs climatiques sont le pattern de distribution des assimilats, la dormance et la germination, la tolérance aux herbivores, la production et la dispersion des propagules, la variation de l'architecture des plantes, le taux de photosynthèse et la longévité du stock semencier dans le sol (Kathiresan et Gbehounou, 2016). Par exemple, la température et les précipitations agissent sur l'aire géographique de distribution des espèces, ce qui permet de prédire en avance les régions menacées par ces espèces en cas d'un éventuel changement climatique. Ainsi, le changement climatique est reconnu comme la principale raison de dissémination des espèces envahissantes. Comparativement aux plantes endémiques, les plantes envahissantes peuvent devenir plus menaçantes sous l'effet du changement climatique à cause de leur grande réaction à l'élévation de la concentration du CO₂ et au changement climatique.

Page laissée vierge

Références

- Aafi A., Ghanmi M., Satrani B., Aberchane M., Ismaili M. R. & El Abid A. (s.d.) Diversité et valorisation des principales plantes aromatiques et médicinales (PAM) de l'écosystème cédraie au Maroc. Centre de Recherche Forestière, Rabat, 16 p.
- Abdennebi E. H. & Taleb A. (2019) Plantes toxiques pour les animaux domestiques au Maroc. I.A.V. Hassan II, Rabat, 282 p.
- Abidi I. (1991) Croissance et productivité de la betterave à sucre dans le Gharb, en relation avec l'enherbement à différentes périodes du cycle. Mémoire de 3ème cycle, option agronomie, IAV. Hassan II, Rabat, 158p.
- About M., Bensellam E. H. & Rochdi A. (2018) Effet allélopathique des fractions organiques et aqueuses de deux plantes sauvages (*Ricinus communis* L. et *Ammi visnaga* (L.) lam.) sur la germination et la croissance de *Phalaris canariensis* L. et *Lactuca sativa* L.. Onzième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes, Rabat, pp. 399-409.
- AFPP (2011) Répertoire terminologique en protection des plantes. Alfortville, France, 104 p.
- Alaoui Yazidi A., Nejari C. & Bartal M. (2001) La sensibilisation cutanée aux pollens au Maroc. Rev. Mal. Respir., 18: 523-29.
- Aldrich R. J. (1984) Weed-crop ecology: Principles in weed management. Breton Pub., N. Scituate, MA. pp. 5-6.
- Amare T. (2016) Review on impact of climatic change on weed and their mangement. Am. J. Biol. and Environ. Statistics, 2 (3): 21-27.
- 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 XIIème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, France.
- Ameur A., Bouhache M. & Baye Y. (2005) Lutte non chimique et sa combinaison avec la lutte chimique contre la morelle jaune. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 115-125.

- Anderson W.P. (1983) Weed science principles. West publishing Co, 2d Edition, Minnesota, USA, 655 p.
- Anonyme (1995) Biologie et gestion de l'orobanche et de la cuscute au Maroc. Manuel de formation pour les vulgarisateurs. GTZ-INRA, Rabat.
- Anonyme (2004) Procédures d'analyse du risque des plantes nuisibles. Division de la Production et la Protection des Plantes, FAO, Rome. Italy.
- Anonyme (2020) Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) terrestres au Maghreb Arabe. Etat des lieux et perspectives pour une stratégie sous régionale (Algérie, Lybie, Mauritanie, Maroc, Tunisie). Observatoire du Sahara et du Sahel, 148 p.
- Ater M. (2005) Quelques aspects de la biologie de la reproduction d'*Oxalis pes-caprae* au Maroc. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 73-79.
- Badraoui M. & Balaghi R. (2012) L'adaptation de l'agriculture marocaine au changement climatique. In: Environnement et changement climatique au Maroc – diagnostic et perspectives, Zeino-Mahmalat E. et Bennis A. (eds.), pp. 61-62, Konrad-Adenauer-Stiftung et Association Ribat Al Fath, Rabat.
- Baker H. G. (1965) Characteristics and modes of origin of weeds. In: Genetics of colonizing species, Baker H. G. and Stebbins G. L (Eds.), pp. 147-168, Academic Press, NY.
- Baker H. G. (1974) The evolution of weeds. Annual Review of Ecological Systems 5:1-x.
- 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. (2008) La cuscute des agrumes (*Cuscuta monogyna* Vahl.) au Tadla : état actuel de l'infestation, importance et cycle biologique. Symposium Méditerranéen sur la Protection Phytosanitaire des Agrumes, AMPP, pp. 211-220.
- 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, pp. 397-408.

- Baye Y. (2014) La cuscute de l'olivier (*Cuscuta monogyna* Val.) au Tadla : état actuel de l'infestation, importance, cycle biologique et possibilité de gestion intégrée. Symposium International Oléa 2014 Maroc. Gestion intégrée et durable de la filière oléicole en zones méditerranéennes. SMAHo, pp. 119-124.
- Baye Y. (2016) Le liseron des champs (*Convolvulus arvensis* L.): études de quelques aspects biologiques et possibilités de contrôle dans une culture de blé dans le périmètre irrigué de Tadla. Proc. 10ème Congrès de l'AMPP, pp. 409-421.
- Baye Y. & Bouhache M. (2007) Etude de la compétition entre la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) et le maïs de printemps (*Zea mays* L.). Bulletin OEPP/EPPO, N° 37: 129-131.
- Baye Y., Bouhache M. & Taleb A. (2009) Etat actuel de l'infestation de la région de Tadla par les plantes parasites. Colloque International sur la Gestion des Risques Phytosanitaires, AMPP, Marrakech, pp. 751-759.
- 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, Mohammed Naguib Abd El-Ghany Hasaneen (ed.), pp. 382-404. In Tech Publisher, Rijeka, Croatia.
- 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, I.A.V. Hassan II, Rabat,
- Ben-Ghabrit S., Bouhache M. & Akkif M. (2017) Effets allélopathiques d'une adventice envahissante (*Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. & Hook.f.) sur la germination et la croissance du blé dur. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 11: 17-28.
- 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. (2020) Variation intraspécifique du potentiel invasif de la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) au Maroc: Influence des conditions écologiques. Revue Marocaine de Protection des Plantes, 14: 1-18.

- 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.H. (2005) Effet de quelques stratégies de désherbage sur les adventices du verger d'agrumes: biologie, réserves glucidiques et allélopathie -cas du *Cyperus rotundus* L. et du *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Doctorat ès Sciences Agronomiques, I.A.V. Hassan II, Rabat, 180p.
- Benvenuti S., Dinelli S., Bonetti A. & Cartizone P. (2005) Germination ecology, emergence and host detection in *Cuscuta campestris*. Weed Research, 45 (4): 270-278.
- 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 3ème cycle, option agronomie, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Berrichi A., Bouhache M. & Reda Tazi M. (2004) Contribution à l'étude de la croissance et du développement de *Cyperus rotundus* L. adventice de la plaine des Triffa (Maroc oriental). Al Awamia, 112: 57-73.
- Berrichi A., Bouhache M., Lekchiri A., Moueqqit M. & Reda Tazi M. (2005) Etude de la biologie et de l'écologie du *Cyperus rotundus* L., adventice de la plaine des Triffa. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 23-34.
- Berrichi A., Bouhache M., Lekchiri A., Moueqqit M. & Reda Tazi M. (2003) Etude qualitative des réserves glucidiques dans les organes de stockage de *Cyperus rotundus* L. adventice de la plaine des Triffa (Maroc oriental). Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc), Vol. 23 (1): 27-31.
- 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, Rabat, 140 p.
- 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. (2019) La jacinthe d'eau: une autre plante exotique envahissante menaçant les eaux douces au Maroc. Agriculture du Maghreb, 123, Novembre 2019: 105-107.
- Bouhache M. (2020) Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc. Dar Al Qalam, AMPP, Rabat, 165 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 2^{ème} Congrès de l'AMPP, Rabat, pp. 171-178.
- 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. & Boulet C. (1984) Étude floristique des adventices de la tomate dans le Souss. Revue Hommes, Terre et Eaux, Maroc, vol. 14 (57): 37-49.
- Bouhache M. & Dahan R. (2008) Gestion de l'orobanche dans les légumineuses au Maroc. In : l'état d'avancement de la formation des agriculteurs dans la gestion de mauvaises herbes parasites, Labrada R. (ed), pp. 59-67, FAO, Rome.
- Bouhache M. & Taleb A. (2012) New developments on invasive plants species of Morocco. Hands-on training workshop for weed risk assessment and weed risk management, Amman, Jordan, 22-26 April.
- Bouhache M. & Taleb A. (2013) La laitue d'eau: une plante exotique envahissante des eaux douces marocaines. Agriculture du Maghreb, 71, Novembre 2013: 100-103.
- Bouhache M., Boulet C. & El Hamri D. (1999) Le thésium: une plante hémiparasite des céréales d'automne dans la région des Abda. Journée Nationale sur les Plantes Parasites, Association Marocaine de Malherbologie, Meknès, pp. 67-73.
- Bouhache M., Boulet C. & Hammoumi M. (1983) Étude du stock en semences d'*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv dans le sol des rizières du Gharb (Maroc). Weed Research, Vol. 23: 385-390.

- Bouhache M., Ezzahiri B. & Zbair K. (1999) Impact du contrôle des mauvaises herbes et de la septoriose sur la croissance et le rendement du blé en irrigué. Proc. 2ème Symposium Régional sur les Maladies des Céréales et Légumineuses Alimentaires, Nabeul, Tunisie, pp. 455-462.
- 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., Taleb A. & Ghammarte A. (2010) Allelopathic effects of *Oxalis pes-caprae* L. on winter cereal crops. Proc. 2nd International Workshop on Invasive Plants in Mediterranean type Regions of the World, Trabzon (Turkey), EPPO, pp. 339-347.
- 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.
- 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.
- Boy G. & Witt A. (2013) Invasive alien plants and their management in Africa. CABI Africa, Nairobi, Kenya, 184 p.
- Bunting A. H. (1960) Some reflections on the ecology of weeds. In: The biology of weeds: A symposium of the British Ecological Society, Harper J. L. (ed.), pp. 11-26, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Catford J. A., Jansson R. & Nilsson C. (2009) Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. Diversity and Distributions, 15: 22-40.
- CDB (2009) Espèces exotiques envahissantes, menace à la diversité biologique. Montréal, Canada, 26 p.
- Chadoeuf H.R. (1985) La dormance chez les semences de mauvaises herbes. Agronomie, 5 (8): 761-772.
- Chafik Z. (2014) Contribution à l'étude de la flore adventices des régions arides et semi-arides du Maroc oriental. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed 1er, Fac. Sci. Oujda, 216 p.

- Chafik Z., Bekkouch I., Kouddane N., Berrichi A. & Taleb A. (2010) Diversité et importance des mauvaises herbes des espaces verts de la ville de Berkane. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 1: 25-32.
- Chauhan B. S., Matloob A., Mahajan G., Aslam F., Florentine S. K. & Jha P. (2017) Emerging challenges and opportunities for education and research in weed science. *Front. Plant Sci.*, 8, article 1537: 1-13.
- Chauvel B., Tschudy C. & Munier-Jolain N. (2011) Gestion intégrée de la flore adventice dans les systèmes de cultures sans labour. *Cahiers Agricultures*, 20 (3): 194-203.
- Chauvel B., Darmency H., Nicolas M. J. & Rodriguez A. (2018) Gestion durable de la flore adventice des cultures. Editions Quae, Versailles, France, 350 p.
- Chen K. W. *et al.* (2018) Ragweed pollen allergy: burden, characteristics, and management of an important allergen source in Europe. *Int. Arch. Allergy Immunol.*, 176 (3-4): 163-180.
- Colquhoun J. (2001) Perennial weed biology and management. Extension service, Oregon State University, USA, 11 p.
- Corbineau F. & Gendreau E. (2016) De la pollinisation à la formation des graines et des fruits. *Jardins de France*, 643: 17-19.
- Costea M. & Tardif F. J. (2006) The biology of Canadian weeds. 133. *Cuscuta campestris* Yunker, *C. gronovii* Willd. Ex Shult, *C. umbrosa* Beyer ex. Hook, *C. epithymum* (L.) L. and *C. epilinum* Weihe. *Can. J. plant Sci.*, 86: 293-316.
- Cousens R. & Mortimer M. (1995) Dynamics of weed populations. Cambridge University Press, N.Y., USA.
- Crémer S. (2014) Approche à reconnaître les principales espèces de la flore des prairies. Fourrages – Mieux, ASBL, Marloie, Belgique.
- Croitoru L. & Sarraf M. (2017) Le coût de dégradation de l'environnement au Maroc. Banque mondiale, Washington, Rapport N° 105633MA, 147 p.
- Davidson D. (2018) Changement climatique. L'encyclopédie canadienne, 11 p
- Davis M. A., Grime J. P. & Thompson K. (2000) Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility. *Journal of Ecology*, 88: 528-534.

- Dawson J. H., Musselman L. J., Wolswinkel P. & Dorr I. (1994) Biology and control of *Cuscuta*. *Rev. Weed Sci.*, 6: 265-317.
- Day M. & Witt A. (2019) Weed biological control: challenges and opportunities. *Weeds*, 1(2): 34-44.
- Dayan F. E., Owens D. K. & Duke S. O. (2012) Rationale for a natural products approach to herbicide discovery. *Pest Management Science*, 68: 519-528.
- De Wit J. T. (1960) On competition. *Agric. Res. Rep. Verl. Landbouk. Onderz.* 66: 1-82.
- De Wet J. M. J. (1966) The origin of weediness in plants. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science for 1966*, pp. 14-17.
- De Wit J. T. & Van Den Bergh J. P. (1965) Competition between herbage plants. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 3: 212-221.
- Dekker J. (2011) *Evolutionary ecology of weeds*. Iowa State University, USA, 305 p.
- Derek B. J. (1997) Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*. Vol. 9: 1055-1066.
- Dhivert-Donnadieu H. & Bousquet J. (1996) Pollinose. *Rev. Prat.*, 46: 942-8.
- DiTommaso A., Averill K. M., Hoffmann M. P., Fuchsberg J. R. & Losey J. E. (2016) Integrating insect, resistance, and floral resource management in weed control decision-making. *Weed Sci.*, 64: 743-756.
- Doré T., Sène M., Pellissier F. & Gallet C. (2004) Approche agronomique de l'allélopathie. *Cahiers agricultures*, 13: 249-256.
- El Hamri D. (1988) Etat actuel de l'infestation par *Thesium humile* Vahl. et impact agronomique dans les cultures des Abda. Mémoire d'ingénieur phytiatre, I.A.V. Hassan II, C. H. Agadir.
- Ennami M. (2018) Etude de l'interaction légumineuses-orobanche à travers la spécificité et la diversité génétique des populations d'*Orobanche crenata*. Doctorat, I.A.V. Hassan II, Rabat, 160p.
- Essadini 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 Phytiatre, I.A.V. Hassan II, Complexe Horticole d'Agadir, 86 p.

- FAO (1997) Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier: aspects généraux. Rome, Italie.
- Farooq M., Bajwa A. A., Cheema S. A. & Cheema Z. A. (2013) Application of allelopathy in crop production. *Int. J. Biol.*, 15: 1367-1378.
- Fennane *et al.* (1999, 2007, 2014) Flore pratique du Maroc. Institut scientifique, Rabat, Volumes 1, 2 et 3.
- Fennane M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. & El Oualidi J. (2007) Flore pratique du Maroc, Manuel de détermination des plantes vasculaires, Tome 2, Institut Scientifique, Univ. Mohamed V, Rabat, 636 p.
- Fer A. & Thalouarn P. (1997) L'orobanche, une menace pour nos cultures. *Phytoma – La défense des végétaux*, 499: 34-40.
- Fer A., Russo N., Simier P., Arnaud M. C. & Thalouarn P. (1994) Physiological changes in a root hemiparasite angiosperm, *Thesium humile* (*Santalaceae*), before and after attachment to the host plant (*Triticum vulgare*). *J. plant Physiol.*, 143: 704-710.
- Fernandez-Aparicio M., Delavaut P. & Timko M. P. (2020) Management of infection by parasitic weeds: a review. *Plants*, 9 (1184): 1-26.
- Forcella F., Webster T. & Cardina J. (2005) Protocoles pour la détermination de banque de semences de mauvaises herbes. In: gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement, Labrada R. (ed.), p. 3-20, Addendum 1, FAO, Rome.
- Fried G. (2007) Variations spatiale et temporelle des communautés adventices des cultures annuelles en France. Thèse de doctorat. INRA-Université de Bourgogne, Dijon, France, 357 p.
- Fried G. (2018) Le cas des espèces exotiques envahissantes dans les champs cultivés. In: Gestion durable de la flore adventice des cultures, Chauvel *et al.* (eds.), pp. 257-273, éditions Quae, Versailles, France.
- Frochot H. & Sallé G. (1980) Modalités de dissémination et implantation du gui. *Revue Forestière Française*, 32 (6): 505-519.
- Furuhashi T., Furuhashi K. & Weckwerth W. (2011) The parasitic mechanism of the holostemparasitic plant *Cuscuta*. *Journal of Plant Interactions*, 6 (4): 207-219.

- Gagnon A. E., Roy M. & Roy A. (2011) Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures. Document de synthèse, Projet « Etudes de cas pour faciliter une gestion efficace des ennemis des cultures dans le contexte de l'augmentation des risques phytosanitaires liés aux changements climatiques », Québec, Canada, 80 p.
- Gasquez J. (2018) Historique de la gestion de la flore adventice. In: Gestion durable de la flore adventice des cultures, Chauvel B., Darmency H., Nicolas M.J. & Rodriguez A. (éds), p. 11-15, Quae, Versailles, France
- 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.
- GIEC (2001) Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GIEC (2007) Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. Contribution of working group II to the fourth assessment report of IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GIEC (2013) Glossaire. In: changements climatiques 2013: les éléments scientifiques. Contribution du groupe de travail au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. Cambridge University Press, Cambridge, UK et N.Y., USA.
- GIEC (IPCC) (2014) Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK et N.Y., USA.
- GIEC (2018) Résumé à l'intention des décideurs. Réchauffement planétaire de 1,5 °C. Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émission mondiales de gaz à effet de serre dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. OMM, Genève, Suisse, 32 p.
- Godinho I. (1984) les définitions d' "adventice" et de "mauvaise herbe". Weed Research, 24 (2): 121-125.

- Guay J. H. (2021) Maroc, gaz à effet de serre (GES). Perspectives monde, Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- 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.
- Hamal A. (1993) Concurrence entre le blé dur (*Triticum durum* L.) et une communauté adventice dominée par le brome dans le Sais. Mémoire de 3ème cycle, option agronomie, I.A.V. Hassan II, Rabat, 180 p.
- Hamal A. (2005) Elaboration des bases de gestion intégrée du brome raide (*Bromus rigidus* Thot.) dans la culture de blé (*Triticum spp.*) dans le Sais, Maroc. Thèse de Doctorat, I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Hami H. *et al.* (2008) Intoxication par l'*Atractylisgummifera* L. A propos de 240 cas recensés au Maroc par le CAPM entre 1981 et 2004. Actes Congrès Mixte International de Toxicologie, SMTCA, SFTA et STC, Essaouira, Maroc.
- Harper J. (1977) Population biology of plants. Academic Press, NY.
- Hartzler R. G., Gover A. & Stellingwerf J. (1991) Factors Affecting Winter Survival of johnsongrass (*Sorghum halepense*) rhizomes. *Weed Technology*, 5(1): 108-110.
- Heide-Jorgensen H. S. (2008) Parasitic flowering plants. Brill, The Netherlands, 454 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, Université Cadi Ayyad, Marakech, 200 p.
- Holt J. S. & Orcutt D. R. (1991) Functional relationships of growth and competitiveness of in perennial weeds and cotton. *Weed Science*, 39 (4): 575-584.
- Holzner W. (1982) Concepts, categories and characteristics of weeds. In: biology and ecology of weeds, Holzner W. & Numata N. (eds), Springer Science, the Hague, Netherlands.

- Hossain M. & Begum M. (2015) Soil weed seed bank: importance and management for sustainable crop production- a review. J. Bangladesh Agril. Univ., 13 (2): 221-228.
- Iqbal J. A. *et al.* (2019) Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control through interference by summer crops. Intl. J. Agric. Biol., 21: 1083-1088.
- Jaa Y. (2019) Exclusif. Réchauffement climatique au Maroc: les derniers chiffres. Media 24, 3p.
- Jauzein P. (1986) Echelonnement et périodicité des levées de mauvaises herbes. Bulletin de la Société Botanique de France, Lettres Botaniques, 133 (2): 155-166.
- Jauzein P. (2001) Biodiversité des champs cultivés: l'enrichissement floristique. Dossier de l'environnement de l'Inra, 21: 65-78.
- Kathiresan R. & Gbehounou G. (2016) Impact of climate change on the invasive traits of weeds. Weed Biology and Management, 16: 59-66.
- Klein O., Kroschel J. & Sauerborn J. (1999) Lutte biologique contre l'orobanche au Maroc: efficacité et possibilités. Proceed. de la Journée Nationale sur les Plantes Parasites. Assoc. Maroc. de Malherbologie (AMM): 37- 45.
- Klimesova J. & Klimes L. (2007) Bud banks and their role in vegetative regeneration- a literature review and proposal for simple classification and assessment. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 8: 115-129.
- Klimesova J. & Martinkova J. (2004) Intermediate growth forms as a model for the study of plant clonality functioning: an example with root sprouters. Evolutionary Ecology, 18: 669-681.
- Kohli R. K., Batish D. R. & Singh H. P. (2006) Allelopathic interactions in agroécosytems. In: A physiological process with ecological implications, Reigosa M. J, Pedrol N. & Gonzalez L. (eds), pp. 465-493, Springer, Netherlands.
- Kong C. H., Chen X. H., Hu F. & Zhang S.Z. (2011) Breeding of commercially acceptable allelopathic rice cultivars in China. Pest Management Science, 67 (9): 1100-1106.

- Kong C. H., Xuan T. D., Khanh T. D., Tran H. D. & Trung N. T. (2019) Allelochemicals and signaling chemicals in plants. *Molecules*, 24, 2737: 1-19.
- 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.
- Lawalrée A. (1991) L'étude des Santalaceae de l'Afrique centrale *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, 37 (2): 201-211.
- Lanini W. T. & Kogan M. (2005) Biology and management of *Cuscuta* in crops. *Cien. Inv. Agr.*, 32(3): 127-141.
- Leblanc M. L., Cloutier D. C., Leroux G. D. & Hamel C. (1998) Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes. *Phytoprotection*, 79 (3): 111-127.
- Link R. & Koch W. (1984) Analyse des effets de l'envahissement par les mauvaises herbes aux différents stades de végétation sur le rendement des betteraves sucrières. *Proc. EWRS, 3rd Symp. on weed problems in Mediterranean area*, pp. 121-128.
- Lonchamp J. P. & Boulet C. (1989) Etude de la germination des graines de *Solanum elaeagnifolium* Cav., adventice du Tadla (Maroc). *Actes Inst. Agron. Vétér.*, 9 (3 et 4): 51-56.
- Maata F. (1996) Combinaison de la variété, du peuplement et de l'herbicide dans le contrôle du brome raide (*Bromus rigidus* Roth.) dans une culture de blé tendre dans la Chaouia. Mémoire de 3ème cycle, option protection des végétaux, I.A.V. Hassan II, Rabat, 73 p.
- Maataoui A., Talouizte A., Benbella M. & Bouhache M. (2005) Competitiveness and dry matter allocation of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and two mustards (*Sinapis alba* L. and *S. arvensis* L.) under water stress conditions. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 70/1, 67-74.
- 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.
- Malone C.R. (1967) A rapid method for enumeration of weed seeds in soil. *Weeds*, 15 (4): 381-382.

- Manisankar G. & Ramesh T. (2019) Response of weeds under CO₂ and temperature: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP2: 427-431.
- Manning R. (2004) *Against the grain: How agriculture has hijacked civilization*. North Point Press, New York, 232 p.
- Mathiasen R. L., Nickrent D. L., Shaw D. C. & Watson D. M. (2008) Mistletoes: pathology, systematics, ecology, and management. *Plant Disease*, 92 (7): 988-1006.
- McWhorter C. G. (1972) Factors affecting johnsongrass rhizome production and germination. *Weed Science*, 20 (1): 41-45.
- MEMEE (Dépt. Environnement) (2016) 3ème communication nationale du Maroc à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Rabat, 296 p.
- Mescher M. C., Runyon J. B. & De Moraes C. M. (2006) Plant host finding by parasitic plants. *Plant Signaling and Behaviour*, 1(6): 284-286.
- Monaco T. J., Weller S. C. & Ashton F. M. (2002) *Weed Science: principles and practices*. 4th Edition, John Wiley & Sons, N.Y., USA, 685 p.
- Montégut J. (1970) *Clé de détermination des semences de mauvaises herbes*. Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture, Versailles, France.
- Montégut J. (s.d. a) *Mauvaises herbes: reconnaissance au stade plantules, critères morphologiques, physiologiques, écologiques*. Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture, Versailles, France, 28 p.
- Montégut J. (s.d. b) *Caractères de détermination des graminées*. Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture, Versailles, France, 10 p.
- Montsserat V., Bartomeus I., Gimeno I., Travest A. & Moragues E. (2006) Demography of the invasive geophyte *Oxalis pes-caprae* across a Mediterranean Island. *Annals of Botany*, 97: 1055-1062.
- Mouhot J. F. (2012) Du climat au changement climatique: chantiers, leçons et défis pour l'histoire. *Cultures & Conflits*, 88 (hiver 2012): 1-25.
- Mouhri K. (2014) *Classification des principaux groupes botaniques actuels*. Module floristique, SVI, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech.

- Muller M. H., Roumet M. & Lecomte V. (2012) Les tournesols adventices: un exemple d'évolution d'une mauvaise-herbe apparentée à une espèce cultivée – Synthèse des recherches menées sur les populations adventices de tournesol en France depuis 2004, OCL ,19 (5): 304–312.
- Mulligan G. H. & Junkins B. E. (1976) The biology of Canadian weeds. 17. *Cyperus esculentus* L. Canadian Journal of Plant Science, 56: 339-50.
- Nabloussi A. (2018) Orobanche du tournesol au Maroc. Agriculture du Maghreb, 109: 50-51.
- Nassif F. & Tanji A. (2013 a) Gathered food plants in Morocco the log-forgotten species in ethnobotanical research. Life Sciences leaflets, 3: 17-54.
- Nassif F. & Tanji A. (2013 b) Revisiting famine plants and their role in fighting hunger and saving lives in Morocco. Life Sciences leaflets, 9: 29-56.
- Naylor R. E. L. (2002) Weed management handbook. 9th Edition, Blackwell Science, Oxford, UK, 434 p.
- Nelder J. A. (1962) New kinds of systematic designs for spacing studies. Biomet., 18: 283-307.
- Nkurunziza L. (2010) Phenology and sink dynamics of carbohydrates in relation to management of perennial weeds: *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Tussilago farfara* L.. Ph.D Thesis, University of Copenhagen, Faculty of life Sciences, 57 p.
- Oerke E.C. (2006) Crop losses to pests. J. Agric. Sci., 144: 31-43.
- Olson L. J. (2006) The economics of terrestrial invasive species: a review of the literature. Agricultural and Resources Economics Review, 35 (1): 178-194.
- 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.
- OMM (Organisation météorologique Mondiale) (1992) Vocabulaire météorologique international. Deuxième édition, Genève, Suisse, N° 182, 802 p.
- Parker I. M. *et al.* (1999) Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. Biological invasions, 1 (1): 3-19.

- Pejchar L. & Mooney H. A. (2009) Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology and Evolution*, 24 (9): 493-504.
- PNUE (1994) Convention sur la biodiversité. Texte et annexes, Secrétariat intérimaire pour la convention sur la diversité biologique, Genève, Suisse, 34 p.
- Porsild A. E., Harington C. R. & Mulligan G. A. (1967) *Lupinus arcticus* Wats. Grown from seeds of Pleistocene age. *Science*, 3797: 113-114.
- Pyšek P. & Richardson D. M. (2008) Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand? In : *Biological invasions*, pp. 97-125. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pyšek P. & Richardson D. M. (2010) Invasion species, environmental change and management, and health. *Ann. Rev. Environ. Resour.*, 35: 25-55.
- Pyšek P., Krivanek M. & Jarosik V. (2009) Planting intensity, residence time, and species traits determine invasion success of alien woody species. *Ecology*, 90 (10): 2734-2744.
- Pyšek, P. *et al.* (2004) Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*, 53 (1): 331-143.
- Qasem J. R. (1992) Nutrient accumulation by weeds and their associated vegetable crops. *J. Hort. Sci.*, 67: 189 – 195.
- Qasem J. R. (2003-2004) Weeds and their control. University of Jordan Publications, Amman, Jordan, 625 p.
- Qasem J.R. (2019) Weed seed dormancy: the ecophysiological and survival strategies. *Intech Open* 88015, 36 p.
- 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.
- Radicetti E. (2012) Ecological weed management. Ph.D. Thesis, Tuscia University, Italy, 185 p.
- Radosevich S. R., Holt J. & Ghersa C. M. (2007) Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management. 3rd Edition, Wiley, New Jersey, 475 p.

- Rai P. K. & Singh J. S. (2020) Invasive alien plant species: their impact on environment, ecosystem services and human health. *Ecological Indicators*, 111: 1-20.
- 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 irrigué du loukkos. Mémoire de 3ème cycle, option protection des végétaux, I.A.V. Hassan II, Rabat, 116 p.
- 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.
- Ramstein G. (2017) Une brève histoire du climat de la Terre. *Reflets de la physique*, 55: 6-14.
- Raunkiaer C. (1934) The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford.
- Raynal-Rouques A. & Paré J. (1998) Biodiversité des phanérogames parasites: leur place dans la classification systématique. *Adamsonia*, sér. 3, 20 (2): 313-322.
- Rejmanek M., Robinson G. & Rejmanekova E. (1989) Weed-crop competition: experimental designs and models for data analysis. *Weed Science*, 37: 276-284.
- Rhalem N., Khattabi A., Soulaymani A., Ouammi L. & Soulaymani-Bencheikh R. (2010) Caractéristiques épidémiologiques et cliniques des intoxications aiguës par les plantes au Maroc. Actes du 3ème Congrès International de Toxicologie, Fès, Maroc.
- Rice E. L. (1974) Allelopathy, Academic Press, N.Y., 352 p.
- Rice E. L. (1984) Allelopathy, 2d Edition, Academic Press, N.Y., 422 p.
- Richardson D. M., Pyšek P., Rejmanek 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.
- Riemsens 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.

- Robin J.I. (2011) *Tussilago farfara*. In: Fire Effects Information System, U.S. Department of Agricult., Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/forb/tusfar/all.html>.
- Rocatel A. & Manuchehri M. (2019) Johnsongrass in pastures: weed or forage? Oklahoma Cooperative Extension, Oklahoma State University, USA, 4 p.
- Rodriguez A. & Mamarot J. (s.d.) Exposé introductif, reconnaissance des adventices au stade plantule. Acta, Paris, France.
- Rodriguez A. (2004) Le contrôle de la flore adventice en grandes cultures biologiques. Première partie : connaître la biologie des adventices pour mieux les maîtriser. Alter Agri., 68: 4-7.
- Ross M. A. & Lembi C. A. (1985) Applied weed science. Burgess publishing Company, Minneapolis, Minnesota, USA, 340 p.
- Roush M. L. & Radosevich S. R. (1985) Relationships between growth and competitiveness of four annual weeds. J. Applied Ecology, 22: 895-905.
- Sharma A. *et al.* (2019) World wide pesticide usage and its impacts on ecosystem. SN Applied Science, 1 (1446): 1-16.
- 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) Résultats préliminaires d'une étude de quelques éléments biologiques du Jujubier. Proc. Symposium National sur les Vivaces au Maroc, AMM, Mohammedia, pp. 45-54.
- Rsaissi N. & Bouhache M. (2005b) 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., 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. (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., Bouhache M. & Bencharki B. (2013b) Potentiel allélopathique du figuier de barbarie « *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill » sur la germination et la croissance du jujubier « *Ziziphus lotus* (L.) Desf. ». International Journal of Innovation and Applied Studies, 3 (1): 205- 214.
- Sadlo J., Chytry M., Pergl J. & Pysek (2018) Plant dispersal strategies: a new classification based on the multiple dispersal modes of individual species. Preslia, 90: 1-22.
- Saffour K. (1999) La cuscute : un parasite qui menace l'agriculture marocaine en silence. Journée Nationale sur les Plantes Parasites. Association Marocaine de Malherbologie, Meknès, pp. 47-53.
- Saffour K. (2003) Utilisation des herbicides et des sous-produits d'olive (Grignon et Margines) dans le contrôle d'Orobanche sur fève. Doctorat National, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences, Dhar Elmahraz, Fes, Maroc, 179 p.
- Saffour K., Bouhache M., Taleb A., Abderabihi M. & Ater M. (1999) Mauvaises herbes du tournesol dans le Saïs: Aspects botanique, agronomique et écologique. Proc. Journée Nationale sur les Cultures Oléagineuses, AMM, Meknès, pp. 23-38.
- Saffour K., Rzozi S.B. & Bouhache M. (2000) Caractérisation de la période critique de compétition des adventices avec le blé. XIème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes. Dijon, pp.261-268.
- Sattin M. & Berti A. (2005) Paramètres pour la compétition des mauvaises herbes – culture. In: Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement, Labrada R. (ed.), pp. 21 – 38, FAO, Rome.
- Schaffner U. *et al.* (2020) Biological weed control to relieve millions from Ambrosia allergies in Europe. Nat. Commun., 11 (1745).
- Scopel A. L., Ballaré C. L. & Radosevich S. R. (1994) Photostimulation of seed germination during soil tillage. New Phytol., 126: 145-152.

- Seguin B. & Soussana J. F. (2008) Emissions de gaz à effet de serre et changement climatique: causes et conséquences observées pour l'agriculture et l'élevage. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 55: 79-91.
- Sorensen A. E. (1984) Seed dispersal and the spread of weeds. *Proc. VI Int. Biol. Contr. Weeds*, Vancouver, Canada, pp. 121-126.
- Spitters C. J. T. (1983) An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. I. Estimation of competition effects. *Netherl. J. Agric. Sci.*, 31: 1-11.
- Stevens O.A. (1957) Weights of seeds and numbers per plant. *Weeds*, 5 (1): 46-55.
- Stoller E. W. (1981) Yellow nutsedge: a menace in the corn belt. *Technical bulletin*, N° 1642, USDA, 16 p.
- 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.
- Swanton C. J., Nkoa R. & Blackshaw R. E. (2015) Experimental methods for crop-weed competition studies. *Weed Science*, Special Issue: 2-11.
- Tahiri A., Blenzar A., Cica U. & Peterschmitt M. (2010) Identification des plantes hôtes de *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) au Maroc et évaluation du risque d'infection de la tomate par le TYLCV à partir de quelques espèces adventices. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 1: 33-39.
- Tahri M. (1999) Etat actuel de l'infestation des arbres par le gui rouge (*Viscum cruciatum*). *Journée Nationale sur les Plantes Parasites*, Association Marocaine de Malherbologie, Meknès, pp. 61-65.
- Tahri M., Bouhache M & Boulet C. (1989) Stocks grainiers de *Solanum elaeagnifolium* Cav. dans les sols du Tadla: importance et répartition verticale. *Actes Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II*, vol.9 (3 et 4): 45-51.
- Tahri M., Bouhache M. & Boulet C. (1992) Effet de l'étêtage sur la régénération végétative des plantules de *Solanum elaeagnifolium* Cav. du Tadla. *Bull. de l'Assoc. Maroc. de Malherb.*, 3: 4-6.
- 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. (1999) Les plantes parasites que sont-elles? Journée Nationale sur les Plantes Parasites. Association Marocaine de Malherbologie, Meknès, pp. 1-8.
- Taleb A. (2017) Monographie et guide des bonnes pratiques de collecte des principales plantes aromatiques et médicinales spontanées des régions d'Oulmès et de Rich du Maroc. Somapam, 81p.
- Taleb A. *et al.* (2005) Flore nuisible aux monuments historiques du Maroc: cas des villes de Rabat et Salé. Proc. Xème Congrès Société Espagnole de Malherbologie, pp. 255-259.
- Taleb A. & Bouhache M. (2008) Flore adventice des vergers d'agrumes au Maroc. Proc. Symposium Méditerranéen sur la Protection Phytosanitaire des Agrume, Rabat (Maroc), AMPP, pp.199-210.
- Taleb A., Bouhache M. & El Mfadli B. (2010) New species threatening Moroccan biodiversity: *Verbesina encelioides* (Asteraceae). Proc. 2nd International Workshop on Invasive Plants in Mediterranean type Regions of the World, Trabzon (Turkey), EPPO, pp. 156-167.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozi S.B. (1998) Flore adventice des céréales d'automne au Maroc. Actes Inst. Agron. Vet. Hassan II, 18 (2): 121-130.
- Taleb A., Bouhache M. & Rzozi S.B. (2000) Diversité et importance des mauvaises herbes de la betterave à sucre au Maroc. XIème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes. Dijon, France, pp.159-166.
- Taleb A., Bouhache M., Kharibach F. & Chafik Z. (2004) Flore adventice des vignobles du Maroc: Aspects systématique et agronomique. XIIème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, France.
- Taleb A., Ezzahiri B. & Bouhache M. (1999) Liste annotée des adventices hôtes des ennemis des céréales et légumineuses alimentaires au Maroc. Proc. 2ème Symposium Régional sur les Maladies des Céréales et Légumineuses Alimentaires, Nabeul, Tunisie, pp. 295-303.
- Tang C. and Young C. (1982) Collection and identification of allelopathic compound from the indisturbed root system of bigalta limpgrass (*Hemarthria altissima*). Plant Physiol., 69: 155-160.
- Tanji A. (1993) Analyse fourragère de 26 adventices du blé non irrigué en Chaouia. Al Awamia, 83: 59-75.

- Tanji A. (1994) Growth and competitive ability of wheat (*Triticum aestivum*) and rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) and cowcockle (*Vaccaria hispanica*). Ph. D. Thesis, Colorado State University, USA, 179 p.
- Tanji A. (1999) Production de semences par les adventices dans les champs de blé et d'orge en milieu semi-aride marocain. *Al Awamia*, 99: 9-10.
- Tanji A., & Taleb A. (1997) New weed species recently introduced into Morocco. *Weed Research*, 37(1): 27-3.
- Tanji A. & Taleb A. (2010) *Ambrosia coronopifolia*: une nouvelle espèce adventice au Maroc. Proceedings du septième Congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP), Rabat, pages 27-36.
- 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.
- Tanji A., El Gharras O., Mayfield A. & El Mourid M. (2017 a) On-farm evaluation of integrated weed management in no-till rainfed crops in semi-arid Morocco. *African Journal of Agricultural Research*, 12 (6): 1404-1410.
- Tanji A., El Gharras O., Ouabbou H. & Mladen T. (2017 b) Weed Dynamics in No-till rainfed crops in Chaouia, semi-arid Morocco. *J. Agr. Sci.*, 9(11): 198-208.
- 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.
- Tbatou M., Belahyan A. & Belahsen R. (2016) Wild edible plants traditionally used in the countryside of El Jadida, coastal area in the Center of Morocco. *Life Sciences Leaflets* 75: 28-48.
- Tbatou M., Kabil M., Belahyan A. & Belahsen R. (2016) Dietary potential of some forgotten wild leafy vegetables from Morocco. *International Food Research Journal*, 25 (5): 1829-836.
- 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. Service du patrimoine naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 31 p.

- Thuiller W., Richerdson D. M. & Midgley G. (2006) Will climate change promote alien plant invasions? *Ecological Studies*, Vol. 193: 197-211.
- Thullen R. J. & Keeley P. E. (1975) Yellow nutsedge sprouting and resprouting potential. *Weed Science*, 23 (4): 333-337.
- Tinniere P.A. & Battegay S. (2017) Réussir l'implantation d'une luzerne. Arvalis info.fr.
- Tissut M., Delval P., Mamarot J. & Ravane P. (2006) Plantes, herbicides et désherbage. ACTA, Paris, France.
- Travlos I., Gazoulis I., Kanatas P., Tsekoura A., Zannopoulos S. & Paspastylianou P. (2020) Key factors affecting weed seeds' germination, weed emergence, and their possible role for the efficacy of false seedbed technique as weed management practice. *Front. Agron.*, 2 (1): 1-9.
- 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.
- Uludag A., Gbehounou G., Kashefi J., Bouhache M., Bon C., Bell C. & Lagopodi A.L. (2016) Review of the current situation for *Solanum elaeagnifolium* in the Mediterranean Basin. *EPPO Bulletin*, 46 (1): 139-147.
- Vacher C. & Bouttet D. (s.d.) Biologie des adventices et leviers agronomiques. Arvalis, Paris, France, 54 p.
- Vanderhoven S., Grégoire J. C., Branquart E. & Mahy G. (2006) Les espèces exotiques envahissantes. Région Wallonne, Belgique, 43p.
- Varanasi A. & Jugulam M. (2017) Introduction: advancement of weed science as an important discipline of agriculture. *Biology, Physiology and Molecular Biology*, Kansas State University, USA, 12 p.
- 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.
- Vilà M. *et 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.

- Vilà M., Williamson M. & Lonsdale M. (2004) Competition experiments on alien weeds with crops: lessons for measuring plant invasion impact? *Biological Invasions*, 6: 59-69.
- Wahid H. W., Barozai M. Y. & Din M. (2015) Dwarf mistletoe (*Arceuthobium oxycedri*) and damage caused by dwarf mistletoe to family Cupressaceae. *Pure and Applied Biology*, Vol. 4 (1): 15-23.
- Ward S. M. *et al.* (2014) Agricultural weed research: a critique and proposals. *Weed Science*, 62: 672-678.
- Warwick S. I., Phillips D. & Andrews C. (1986) Rhizome depth: the critical factor in winter survival of *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Johnson grass). *Weed Research*, 26: 381-388.
- Weigelt A. & al. (2007) Identifying mechanisms of competition in multi-species communities. *Journal of Ecology*, 95: 53-64.
- Weigelt A. & Jolliffe J. (2003) Indices of plant competition. *Journal of Ecology*, 91: 707-720.
- Wesson G. & Wareing P. F. (1969) The induction of light sensitivity in weed seeds by burial. *J. Exp. Bot.*, 20: 414-425.
- Westoby M. (1998) A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, 199: 213-227.
- Westwood J. H. (2013) The physiology of the established parasite-host association. In: *Parasitic Orobanchaceae, parasitic mechanisms and control strategies*, Joel D. M., Gressel J. & Musselman L. J. (eds), pp. 87-114, Springer, Berlin.
- Williams R. (1982) Growth and reproduction of *Cyperus esculentus* L. and *Cyperus rotundus* L.. *Weed Research*, 22 (3): 149-154.
- Williamson M. H. & Fitter A. (1996) The characters of successful invaders. *Biol. Conserv.*, 78: 163-170.
- Wunderwald D. N. & Lawrenz P. (1997) *Biologie du gui. Note pour le praticien*, 28: 1-8.
- Young Y. Y. & Kim J. G. (2016) The optimal balance between sexual and asexual reproduction in variable environments: a systematic review. *Journal of Ecology and Environment*, 40 (12): 16-18.

- Zaidi M., Baghdad B., Chakiri S. & Taleb A. (2016) Characterization of the Biodegradation of Kasbahs of the Gharb Region (Mehdia and Kenitra Kasbahs, Morocco). *Open Journal of Ecology*, 6: 753-766.
- Zaidi M., Mehdi M., Baghdad B. & Taleb A. (2014) Caractérisation de la Biodégradation des monuments historiques de la ville d'Ouezzane, Maroc. *Science Lib Editions Mersenne: Volume 6, N ° 140412*: 1-10.
- Zarouali A. (1990) La morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium* Cav.), adventice du Tadla: lutte chimique dans les jachères et étude de sa compétition avec le coton. *Mémoire de fin d'études, option phytatrie, I. A. V. Hassan II*, 119 p.
- Zemrag A. (1994) Broomrapes devastation in legumes fields in Morocco. Fifth Arab Congress of Plant Protection. APPS, Fez, Morocco, pp. 220.
- Zemrag A. (1999) L'orobanche, monographie et gestion dans les cultures de légumineuses alimentaires. *Transfert de technologie en agriculture, MADRP/DERD, Rabat*, 63, 1-4.
- Zimdahl R. L. (2011) *Weed science: a plea of thought – revisited*. Colorado State University, USA, 73 p.
- Zimdahl R.L. (2007) *Fundamentals of weed science*. Academic Press, Elsevier, 3d Edition, N.Y., 689 p.
- Ziska L. H. & Dukes J. S. (2011) *Weed Biology and Climate Change*. Willey-Blackwell, Iowa, USA, 233 p.
- Ziska L. H. (2016) The role of climate change and increasing atmospheric carbon dioxide on weed management: herbicide efficacy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 23: 304-309.

Page laissée vierge

Glossaire

Abiotique: non vivant ou non biologique comme les caractéristiques du milieu de nature physique ou chimique qui influencent les êtres vivants ou les plantes.

Agroécosystème: écosystème agricole qui comprend le milieu et les êtres vivants organisés par l'homme.

Aigrette: faisceau de soies ou de poils terminant certains organes.

Akène: fruit sec, indéhiscant, à une seule graine non adhérente au péricarpe.

Anthropocentrique: conception dans laquelle tout est rattaché à l'Homme.

Antidicotylédones: substance active ou préparation herbicide permettant de lutter spécifiquement contre les dicotylédones.

Antigraminée: substance active ou préparation herbicide permettant de lutter spécifiquement contre les graminées (Syn. **Graminicide**).

Apomixie: reproduction végétale sans méiose ni fécondation, mais ayant pour origine des cellules de l'appareil reproducteur.

Autogamie: graines sont produites par la fécondation dans une même fleur ou entre fleurs du même individu.

Baguette: fragment du rachillet (élément de l'épillet), portant le fleuron sus-jacent et restant solidaire du fleuron après désarticulation à maturité.

Baie: fruit charnu à graines éparées dans la pulpe, elle peut être monosperme (datte) ou polysperme (tomate).

Battance: croûte superficielle compacte formée par l'action des gouttes de pluie ou d'irrigation et le fractionnement des agrégats à la surface du sol.

Biocénose: ensemble des êtres vivants de toutes espèces végétales et animales coexistant dans un milieu déterminé qui offre les conditions nécessaires à leur vie.

Biotique: vivant ou biologique et qui participe au fonctionnement vital.

Biotope: milieu de vie, généralement de faible étendue, qui constitue l'habitat normal d'une ou plusieurs espèces végétales et animales.

Bourrage: blocage d'avancement des machines agricoles sur le sol.

Capacité au champ (Hcc): humidité dite à la capacité au champ: soit la quantité maximale d'eau que peut contenir un sol dans sa porosité, sans pour autant que l'eau soit en excès et percole.

Capsule: fruit sec généralement déhiscent, contenant plusieurs graines.

Carboxylation: réaction chimique qui permet l'addition d'un groupe fonctionnel carboxyle à une molécule organique.

Caryopse: fruit sec, indéhiscent, contenant une seule graine adhérente au péricarpe.

Certification: Procédure de contrôle de la qualité des lots commerciaux de semences et de plants, basée sur le respect de protocoles de production in situ et sur l'analyse de la qualité finale de ces lots (pureté, aptitude à la germination, qualité sanitaire...).

Cloques : boursofflure de la peau, remplie de sérosité et causée le plus souvent par une brûlure, un frottement ou une piqûre d'insecte.

Coléoptile: organe en forme d'étui recouvrant la tige embryonnaire et les premières feuilles des jeunes plantules chez les graminées.

Communauté: assemblage d'espèces qui occupent une même portion de l'espace et du temps.

Contrôle: ensemble de mesures ou actions suppressives des adventices (lutte ou désherbage).

Cosmopolite: espèce à très large répartition géographique.

Cotylédon: feuille primordiale chez l'embryon des végétaux supérieurs. On en compte un chez les monocotylédones, deux chez les dicotylédones, et jusqu'à douze chez les conifères.

Cultivar: variété d'une espèce végétale obtenue artificiellement pour être cultivée.

Cuticule: couche externe et protectrice qui recouvre les organes aériens des plantes vasculaires.

Cycle biologique: succession des différents états de développement d'un organisme animal ou végétal dont le terme ramène à l'état initial (œuf, spore, graine...). Syn. Cycle évolutif.

Déhiscence: ouverture à maturité pour libérer les graines ou les pollens.

Dépravation: altération ou perversion grave d'un organe, d'un sens ou d'une substance physique, physiologique dont le fonctionnement ou l'état a perdu sa force ou sa forme originelle.

Désherbage: opération qui vise à éliminer les adventices nuisibles sur tout (traitement généralisé) ou partie (traitement localisé ou traitement dirigé) de la parcelle.

Drainage: évacuation, spontanée ou facilitée par un réseau de drains ou de fossés, de l'eau en excès dans un sol trop humide.

Ecaille: reste d'une à deux fleurs stériles réduites à la base du caryopse ou feuilles rudimentaires collées sur un organe.

Ecosystème: ensemble interactif constitué par une **biocénose** et son **biotope** (voir ces termes). Cet ensemble est défini essentiellement par son fonctionnement et non par son territoire.

Ecotype: population qui, au sein d'une espèce, présente des caractères morphologiques ou physiologiques particuliers et stables, consécutifs à une adaptation à un environnement défini.

Efficacité: effet recherché d'une ou plusieurs préparations phytopharmaceutiques vis-à-vis des organismes nuisibles.

Eléosomes: est une excroissance charnue, riche en lipides, acides aminés et protéines, attachée aux graines de certaines espèces de plantes. Consommé par les fourmis, il contribue à la dispersion des plantes.

Endémique: se dit d'une espèce vivante propre à un territoire bien délimité.

Ennemi des cultures: expression générale désignant un organisme vivant, nuisible aux plantes cultivées (mauvaise herbe, agent pathogène, ravageur).

Épigée: type de germination dans lequel les cotylédons sont portés au dessus du sol.

Phytohormone: herbicide qui possède un mode d'action similaire aux hormones naturelles de croissance (auxine). Il est appelé « mimétique de l'auxine » ou « auxinomimétique ».

Epillet: groupe de fleurs dans l'épi des graminées.

Éradication: destruction totale de la plante, ses semences et/ou les organes de reproduction végétative (l'idéale d'une méthode de lutte).

Ethologie: le comportement des espèces et en particulier sa signification et ses réponses adaptatives aux conditions de milieu.

Extrême climatique: se réfère à des à des conditions météorologiques ou types de temps inhabituels dans l'espace et dans le temps dans un lieu et pouvant occasionner des dommages (ex. vague de chaleur, sécheresse, inondations, pluies torrentielles, etc.).

Fauchage: opération qui consiste à couper la végétation à l'aide d'outils à lame ou à fil, mécaniques (faucheuses ou tondeuses) ou à main (faux).

Glabre: organe dépourvu de poils.

Glume: bractée (généralement au nombre de deux), située à la base des épillets des graminées.

Glumelle: bractée (généralement au nombre de deux), située à la base de chaque fleur de l'épillet des graminées.

Herbicide: substance active ou préparation ayant la propriété de tuer les végétaux. Syn. **Dés herbant.**

Herbicide de contact: herbicide de post-levée très peu mobile dans la plante et qui n'entraîne de dommages des tissus qu'autour des points d'impact et de pénétration.

Herbicide foliaire: herbicide pulvérisé sur les feuilles et absorbé par celles-ci.

Herbicide racinaire: herbicide appliqué sur le sol et absorbé par les racines.

Herbicide sélectif: herbicide que peut tolérer une espèce cultivée dans des conditions d'emploi bien définies.

Herbicide systémique: herbicide de pré-levée ou de post-levée qui migre dans la plante par le bois ou le liber, depuis les points de pénétration (racine ou feuille) jusqu'au site d'action.

Herbicide total: herbicide efficace sur l'ensemble des plantes, mauvaises herbes et espèces cultivées.

Hersage: travail de la couche superficielle d'un sol à l'aide d'une herse pour le nivellement du terrain, le nettoyage et l'ameublissement de la couche superficielle.

Hile: point d'attache de l'ovule ou de la graine.

Histamine : une amine biogène agissant comme un médiateur chimique de la réaction inflammatoire. Elle est formée à partir de l'acide aminé histidine.

Hypocotyle: axe situé au-dessous des cotylédons.

Hypogée: type de germination dans lequel les cotylédons restent enfouis dans le sol.

Incorporation: opération qui consiste à mélanger au sol une préparation phytopharmaceutique (et spécialement un herbicide) de manière homogène et sur une épaisseur déterminée.

Infestation: envahissement d'un milieu, d'une plante-hôte ou d'une culture, par une population d'organismes ou de plantes nuisibles.

Lacunes aérifères: espaces vides dans les tissus, renfermant de l'air ou un autre gaz et permettant la flottabilité.

Infrutescence: ensemble et mode de disposition des fruits d'une même plante.

Ligule: membrane prolongeant la gaine des graminées.

Luisante : ayant un éclat ou brillance.

Lutte: ensemble des mesures utilisées pour combattre les organismes nuisibles (lutte physique, biologique, chimique, culturale, mécanique, etc.).

Lutte intégrée (ou gestion intégrée): concept qui désigne une gestion à long terme des mauvaises herbes en combinant plusieurs techniques (biologique, culturale, mécaniques, physique et chimique) pour maintenir l'infestation à un niveau acceptable sans pourtant se baser sur une seule technique (ou son utilisation est réduite) ni compromettre l'environnement.

Messicole: plante se développant dans les moissons.

Métabolite: tout produit du métabolisme ou de la dégradation d'une substance dans un organisme vivant ou dans l'environnement.

Micro-irrigation: ou « irrigation localisée », consiste à distribuer l'eau par un réseau de canalisations sous faible pression, apportant l'eau au voisinage immédiat des plantes cultivées (ex.goutte à goutte).

Mode d'action: mécanisme qui permet d'expliquer l'effet d'un produit phytopharmaceutique ou d'un produit biocide.

Monosperme: pourvu d'une seule graine.

Monocarpique: plante ne fructifiant qu'une seule fois.

Mulch (paillis en français): terme anglais qui désigne la couverture de la surface d'un sol par une ou plusieurs couches de différents matériaux afin d'empêcher l'émergence et/ou la croissance des adventices.

Nervation parallèle: se dit d'une nervation parallèle dans le sens de la longueur d'une feuille dite parallélinerve.

Nervure digitée: nervures disposées comme les doigts d'une main.

Nervure pennée: nervures secondaires disposés par paires opposées de part et d'autre de la nervure principale.

Oreillette: expansion latérale présente de part et d'autre de la ligule de la feuille des graminées.

Pappus: calice développé en aigrette de poils après la fécondation, ou en languette.

Périderme: couche imperméable de cellules qui remplacent l'épiderme à la périphérie des vieilles tiges.

Pétiolé: s'attache sur la tige par un pétiole.

Phénotype: état apparent d'un individu déterminé par l'interaction entre son génotype et l'environnement dans lequel il vit.

Phytochrome: molécule végétale sensible à la lumière, engendrant des réactions conduisant à la levée de dormances et stimulant la germination.

Pilosité: ensemble de poils sur un organe.

Plantule: jeune plante issue de la germination de la graine après la levée.

Point de flétrissement (PF): état hydrique du sol auquel les plantes ne peuvent plus puiser de l'eau nécessaire à leur croissance et flétrissent de manière réversible.

Population: ensemble d'individus d'une espèce échangeant les gènes.

Quiescence: état de vie ralentie d'une espèce animale ou végétale sous la dépendance directe du milieu extérieur (froid, sécheresse...) qui s'interrompt dès que prévalent à nouveau des conditions favorables à l'activité de l'espèce.

Rachéole ou **rachillet:** axe central d'un épillet qui porte les fleurons.

Rachis: axe d'une inflorescence portant les épillets.

Régulateur de croissance: substance ou préparation qui, appliquée sur tout ou partie d'un végétal, agit sur les mécanismes physiologiques, notamment la différenciation ou l'élongation cellulaires, sans nuire à la plante d'un point de vue agronomique. Cette action s'accompagne généralement d'une modification de la morphologie et de la structure de la plante.

Résidu: substance susceptible d'être présente dans ou sur des végétaux, des produits d'origine végétale ou animale, dans un milieu ou l'un des compartiments de l'environnement (sol, air, eau...) à la suite de l'emploi d'un produit phytopharmaceutique.

Résistance: absence d'inhibition ou inhibition réduite du développement d'un organisme nuisible après application d'un produit phytopharmaceutique. Cette résistance peut être naturelle ou acquise.

Rosette: ensemble de feuilles disposées au ras du sol, sur des nœuds très rapprochés.

Sarclage: Opération agricole de désherbage, qui consiste à arracher, pour les détruire, les mauvaises herbes avec leurs racines, à l'aide d'outils mécaniques ou à main (sarcloirs). Cette opération permet généralement d'ameublir simultanément le sol.

Service: bénéfice que l'agriculteur, la société, l'environnement ou la biodiversité retirent de l'agroécosystème.

Sessile: dépourvu de pétiole.

Site d'action: la première fonction physiologique perturbée par un herbicide.

Tigelle d'emblée allongée: plantule à feuilles disposées sur la tige, sur des nœuds bien distincts ou séparés (entre-nœuds apparents).

Système de culture: ensemble cohérent constitué par la suite logique et ordonnée de cultures et de techniques culturales, à l'échelle pluriannuelle de la succession culturale, mise en œuvre en fonction d'objectifs de production propres à l'agriculteur. S'applique à l'ensemble des parcelles traitées de manière identique.

Trait: caractéristique biologique mesurable à l'échelle de l'individu (plante).

Traitement: opération consistant à utiliser une ou plusieurs préparations phytopharmaceutiques ou biocides, ou à mettre en œuvre d'autres moyens de lutte, dans des conditions d'emploi définies.

Triquètre: à trois angles, à section triangulaire.

Ubiquiste: répandu partout.

Vernalisation: période de froid nécessaire pour qu'une plante passe en phase reproductrice.

Verse: état des végétaux accouchés sur le sol par les pluies, le vent ou la maladie.

viviparité: qualifie les espèces chez lesquelles les fleurs sont transformées en bulbilles qui donnent naissance à de nouvelles plantes par voie végétative.

Liste des adventices citées

Les espèces en gras ne sont pas présentes ou signalées au Maroc

?: signifie que le non n'est pas trouvé

Noms scientifiques	Famille botanique	Noms vernaculaires	
		Marocains	Français
<i>Abutilon theophrasti</i> Medik.	<i>Malvaceae</i>	Boutilon	Abutilon de Théophraste, le jute de chine
<i>Adonis aestivalis</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	Dem el atrous	Goutte de sang, adonis d'été
<i>Agrostemma githago</i> L.	<i>Caryophyllaceae</i>	?	Nielle
<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreber	<i>Lamiaceae</i>	Chendgoura	Bugle, ive, ivette musquée
<i>Allium vineale</i> L.	<i>Liliaceae</i>	L'bassila	Ail des vignes
<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.	<i>Poaceae</i>	-	Vulpin des champs
<i>Amaranthus lividus</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	Blitou, mkhinza	Amarante livide, blette, poirée
<i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson	<i>Amaranthaceae</i>	-	Amarante de Palmer
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	Blitou, zantit lakhrouf	Amarante réfléchie
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	<i>Asteraceae</i>	-	Ambrosie à feuilles d'armoises
<i>Ambrosia cornopifolia</i> Torr. & A.Gray	<i>Asteraceae</i>	?	Ambrosie à épis grêles
<i>Ammannia coccinea</i> Rotb.	<i>Lythraceae</i>	?	Ammane écarlate
<i>Ammi majus</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Tlaylane	Ammi élevé, ammi inodore, le grand ajouan
<i>Ammi visnaga</i> (L.) Lam.	<i>Apiaceae</i>	Bechnikha	Herbe aux cure- dents
<i>Anagallis arvensis</i> L.	<i>Primulaceae</i>	Ain el fellous	Mouron des champs
<i>Anchusa italica</i> Miller	<i>boraginaceae</i>	Isane el aârd.	Buglosse d'Italie
<i>Arceuthobium oxycedri</i> (DC.) Bieb.	<i>Viscaceae</i>	?	Arceutobe de l'oxycèdre

<i>Arctotheca calendula</i> (L.) levyns	<i>Asteraceae</i>	?	Arctothèque souci, souci du cap
<i>Asparagus albus</i> L.	<i>Liliaceae</i>	Sekkoum	Asperge blanche
<i>Astragalus hamosus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Grayne loghzal, bou sennara	Astragale à hameçons
<i>Atractylis gummifera</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Addad	Atractyle
<i>Atriplex semibaccata</i> R. Br.	<i>Chenopodiaceae</i>	Hennayat et ouad	Arroche couchée
<i>Atriplex suberecta</i> Verd.	<i>Chenopodiaceae</i>	?	Arroche subdressée
<i>Avena fatua</i> L.	<i>Poaceae</i>	Khortal, askoun	Avoine folle
<i>Avena sterilis</i> L.	<i>Poaceae</i>	Khortal, askoun	Avoine stérile
<i>Beta macrocarpa</i> Guss.	<i>Chenopodiaceae</i>	Selg	Blette à gros fruits
<i>Bidens pilosa</i> L.	<i>Asteraceae</i>	?	Chanvre d'eau, bident velu
<i>Brachiaria eruciformis</i> (Sibth. Et Sm.) Griseb.	<i>Poaceae</i>	Njijima	Brachière
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	<i>Poaceae</i>	Bahma, oualaghi, boussibousse	Brome raide, brome rigide
<i>Bryonia dioïca</i> Jacq.	<i>Cucurbitaceae</i>	Louaya, arq	Bryone dioïque
<i>Calendula aegyptiaca</i> Pers.	<i>Asteraceae</i>	Jamra	Souci d'Egypte
<i>Calendula arvensis</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Jamra	Souci des champs
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	<i>Brassicaceae</i>	Kiss er 'raii	Capselle bourse-à-pasteur
<i>Cassia obtusifolius</i> L.	<i>Fabaceae</i>	-	Séné, pistache marron, casse fétide
<i>Centaurea diluta</i> Aiton	<i>Asteraceae</i>	Zemmouria, daâga, chafraj	Centaurée élancée
<i>Centaurea maroccana</i> Ball	<i>Asteraceae</i>	Baâj nhal, daâga, chafraj	Centaurée marocaine
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	<i>Caryophyllaceae</i>	Guemia	Céraiste aggloméré

<i>Chamaerops humilis</i> L.	<i>palmae</i>	Doum	Palmier nain
<i>Chara</i> spp.	<i>Characeae</i>	?	Chara
<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	M'khinza	Ambrosine, thé du mexique
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Beramram	Chénopode des murs
<i>Chenopodium vulvaria</i> L.	<i>Chenopodiaceae</i>	Beramram	Chénopode fétide
<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	<i>Asteraceae</i>	kraâ djaja, Gahouan	Chrysanthème à couronnes, chrysanthème des jardins
<i>Chrysanthemum segetum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	kraâ djaja, Gahouan	chrysanthème des moissons
<i>Cichorium endivia</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Bouaâgad	Chicorée sauvage
<i>Cichorium pumilum</i> Jacq.	<i>Asteraceae</i>	Bouaâgad	Chicorée frisée
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	<i>Asteraceae</i>	-	Chardon des champs
<i>Cistanche mauritanica</i> (Cosson & Durieu) G. Beck	<i>Orobanchaceae</i>	Ddanûn, țartût, danum, dil taaleb	Cistanche
<i>Cistanche phelypaea</i> (L.) Cout.	<i>Orobanchaceae</i>	Ddanûn, țartût, danum, dil taaleb	Cistanche
<i>Cistanche violacea</i> (Desf.) G. Beck	<i>Orobanchaceae</i>	Ddanûn, țartût	Cistanche
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Louaya	liseron des champs
<i>Convolvulus gharbensis</i> Batt. et Pitard	<i>Convolvulaceae</i>	louaya	le liseron du Gharb
<i>Convolvulus sepium</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Louaya	liseron des haies
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	<i>Asteraceae</i>	Tarrahla	Vergerette de Buenos Aires
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	<i>Asteraceae</i>	Tarrahla, chettaba	Vergerette du Canada
<i>Coronopus squamatus</i> (Forsk.) Ascherson	<i>Brassicaceae</i>	Corne de cerf, senebière	Kelouat el far
<i>Corrigiola telephiiifolia</i> Pourr.	<i>Caryophyllaceae</i>	Sarghina, tasserghint	Corrigiole
<i>Cuscuta epilinum</i> Weihe	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute

<i>Cuscuta australis</i> R. Br.	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta campestris</i> Yunker	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta chinensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	-	Cuscute chinoise
<i>Cuscuta epithymum</i> (L.) L.	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta indecora</i> Choisy	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta japonica</i> Choisy	<i>Convolvulaceae</i>	-	Cuscute japonaise
<i>Cuscuta monogyna</i> Vahl.	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta pedicellata</i> Ladeg.	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta planiflora</i> Ten.	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cuscuta reflexa</i> Roxb.	<i>Convolvulaceae</i>	-	Cuscute géante
<i>Cuscuta suaveolens</i> Ser.	<i>Convolvulaceae</i>	Sla el kalba, Boujlala	Cuscute
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Njem	Chiendent pied-de-poule
<i>Cyperus esculentus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Tamoussait, salbou	Souchet comestible, souchet jaune
<i>Cyperus iria</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	-	?
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Tamoussait, salbou	Souchet à tubercules, souchet rond
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	<i>Poaceae</i>	Kraâ leghrab	Dactylocténion d'Égypte, Chiendent patte-poule
<i>Datura stramonium</i> L.	<i>Solanaceae</i>	Chdek Jmel	Stramoine
<i>Daucus carota</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Khizou el baldi	Carotte sauvage
<i>Diplotaxis catholica</i> (L.) DC.	<i>Brassicaceae</i>	Kalkaz, karkaz, chariat	Diplotaxe catholique

<i>Dittrichia graveolens</i> (L.) Greuter	<i>Asteraceae</i>	Tijjert	Inule fétide, inule à forte odeur, inule odorante
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter	<i>Asteraceae</i>	Trrahla, attissa	Aunée visqueuse, inule visqueuse
<i>Ecballium elaterium</i> (L.) A. Rich.	<i>Cucurbitaceae</i>	Faggous l'hmir	Concombre d'âne,
<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link.	<i>Poaceae</i>	Finico	Panic des cultivateurs
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	<i>Poaceae</i>	Finico	Panic pied-de- coq
<i>Echinochloa glabrescens</i> Munro ex Hook.	<i>Poaceae</i>	-	Panic, panice
<i>Echinochloa phyllopogon</i> (Stapf.) Koss.	<i>Poaceae</i>	Finico	Panic phyllopogon
<i>Eichhornia crassipes</i> (Martius) Solms-Laubach	<i>Pontederiaceae</i>	?	la jacinthe d'eau
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	<i>Polygonaceae</i>	Hammida, tassammam	Emex épineux, épinard sauvage
<i>Erodium</i> spp.	<i>Geraniaceae</i>	Kamkoum bellarj	Erodium, bec de grue
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Halliba, hliliba, khayata	Euphorbe hétérophylle
<i>Ferula communis</i> L.	<i>Apiaceae</i>	Boubal, klakh, takoult, fassoukh	Grande ferule, pamelier
<i>Fumaria indica</i> Pugsley	<i>Papaveraceae</i>	-	?
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	<i>Papaveraceae</i>	Chahmat el fellous, nar barda, sibana	Fumeterre à petites fleurs
<i>Geranium</i> sp.	<i>Geraniaceae</i>	Kamkoum bellarj	Géranium
<i>Glaucium corniculatum</i> (L.) J. H. Rudolph	<i>Papaveraceae</i>	Galiat serrah, guern jediane	Glaucière corniculée, pivot corniculé
<i>Heteranthera limosa</i> (S w.) Willd.	<i>Pontederiaceae</i>	-	Heteranthère des marais

<i>Inula crithimoides</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Kesbane	Inule perce-pierre, inule faux crithme
<i>Hordeum murinum</i> L.	<i>Poaceae</i>	Sboul el far	Orge des rats
<i>Ipomoea lacunosa</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	-	Ipomée
<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth.	<i>Convolvulaceae</i>	-	Ipomée pourpre, liseron pourpre
<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	<i>Chenopodiaceae</i>	Chettaba	Le sapin d'amour, kochia à balais
<i>Lactuca serriola</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Hlib lahmara	Laitue scarole
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Ragma, oudnine el far	Lamier embrassant, lamier amplexicaule
<i>Lavandula multifida</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Halhal, kohyla	Lavande divisée
<i>Lavatera cretica</i> L.	<i>Malvaceae</i>	khoubbiza roumia	Lavatère de crête
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	<i>Poaceae</i>	Madhoun	Ivraie à fleurs nombreuses, ray-grass d'Italie
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	<i>Poaceae</i>	Madhoun	Ivraie raide, ray-grass
<i>Malva nicaeensis</i> All.	<i>Malvaceae</i>	Khoubbiza, bakkoula	la mauve de Nice
<i>Malva parviflora</i> L.	<i>Malvaceae</i>	Khoubbiza, bakkoula	Mauve à petites fleurs
<i>Malva sylvestris</i> L.	<i>Malvaceae</i>	Khoubbiza roumia, bakkoula	Mauve des bois, grande mauve
<i>Mandragora autumnalis</i> Bertol.	<i>Solanaceae</i>	Bed lghoul	Mandragore, mandragore automnale
<i>Marrubium vulgare</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Marriout	Marrube
<i>Medicago polymorpha</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Nefla	Luzerne à gousses hérissées
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.	<i>Fabaceae</i>	Nefla	Mélilot officinal, Mélilot jaune

<i>Melilotus sulcatus</i> Desf.	<i>Fabaceae</i>	Nefla, gort	Mélilot à fruits sillonnés
<i>Mentha pulegium</i> L.	<i>Lamiaceae</i>	Fliyou	Menthe pouliot, pouliot
<i>Mercurialis annua</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Harriga melsa, harriga ratba	Mercuriale annuelle, foiole
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i> L.	<i>Aizoaceae</i>	Ghassoul	Ficoïde glaciale
<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L.	<i>Aizoaceae</i>	Ghassoul	Ficoïde nodiflore
<i>Misopates orontium</i> (L.) Rafin.	<i>Scrophulariaceae</i>	Khoukhou chair, hraymla, bou nif	Mufler des champs, tête de mort
<i>Nicotiana glauca</i> R. C. Graham	<i>Solanaceae</i>	?	Tabac glauque
<i>Notobasis syriaca</i> (L.) Cass.	<i>Asteraceae</i>	Chouk lahmir	Chardon de Syrie
<i>Onopordon dissectum</i> Murb.	<i>Asteraceae</i>	Chouk, khsam lahmar, lhakk	Onoporde, pet d'âne
<i>Orobanchae aegyptiaca</i> Pers.	<i>Orobanchaceae</i>	Choual lakhrouf, Louted	Orobanche égyptienne
<i>Orobanchae cernua</i> Loefl.	<i>Orobanchaceae</i>	Choual lakhrouf,	Orobanche penchée
<i>Orobanchae crenata</i> Forskal.	<i>Orobanchaceae</i>	Louted	Orobanche crénélée
<i>Orobanchae cumana</i> Wallr.	<i>Orobanchaceae</i>	Choual lakhrouf, Louted	Orobanche de tournesol
<i>Orobanchae foetida</i> Poir.	<i>Orobanchaceae</i>	Choual lakhrouf, Louted	Orobanche foetide
<i>Orobanchae minor</i> Sm.	<i>Orobanchaceae</i>	Choual lakhrouf, Louted,	Petite orobanche
<i>Orobanchae ramosa</i> L.	<i>Orobanchaceae</i>	Choual lakhrouf, Louted	Orobanche rameuse
<i>Oryza</i> sp.	<i>Poaceae</i>	Rouza hraïmi	Riz sauvage

<i>Osyris alba</i> L.	<i>Santalaceae</i>	Aneb ed-dib	Rouvet blanc
<i>Osyris quadripartita</i> Salzm. ex Decaisne	<i>Santalaceae</i>	Boulila, merghata	Bois de santal africain
<i>Oxalis corniculata</i> L.	<i>Oxalidaceae</i>	Hammda	Oxalide corniculée, Oxalis corniculé
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	<i>Oxalidaceae</i>	Hammda safra	Oxalide pied de chèvre, oxalis penchée, fausse oseille
<i>Panicum capillare</i> L.	<i>Poaceae</i>	Njem	Pani caillaire
<i>Panicum repens</i> L.	<i>Poaceae</i>	Njem, rjel loghrab	Panic rampant
<i>Papaver rhoeas</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	Belaâman, afillou, taludat	Coquelicot
<i>Papaver somniferum</i> L.	<i>Papaveraceae</i>	Kherchacha, tilidut, aafyun	Pavot somnifère, pavot d'opium
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx) Scribn.	<i>Poaceae</i>	Tasalast, ksaysiba, dars labrel	Paspalum distique
<i>Peganum harmala</i> L.	<i>Zygophyllaceae</i>	Lhermel	Harmel, armel, pégane
<i>Phalaris brachystachys</i> Link.	<i>Poaceae</i>	Zouane	Alpiste, phalaris à épi court
<i>Phalaris minor</i> Retz.	<i>Poaceae</i>	Zouane	Alpiste, phalaris mineur
<i>Phalaris paradoxa</i> L.	<i>Poaceae</i>	Zouane	Alpiste, phalaris déformé
<i>Phragmites communis</i> Trin.	<i>Poaceae</i>	Lagsab, gassiba	Roseau commun, roseau à balais
<i>Pistia stratoites</i> L.	<i>Araceae</i>	-	Salade d'eau, laitue d'eau
<i>Plantago afra</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	Dessima	Herbe aux puces, pucier, plantain

<i>Plantago lanceolata</i> L.	<i>Plantaginaceae</i>	Dessima, massassa, tamret et agreb	Plantain lancéolé
<i>Poa annua</i> L.	<i>Poaceae</i>	dzimi	Pâturin annuel
<i>Poa bulbosa</i> L.	<i>Poaceae</i>	Boussibousse	Pâturin bulbeux
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Wadmou, baymout, slilita	Renouée des oiseaux, traînasse, centinole
<i>Polygonum convolvulus</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Louaya	Renouée liseron
<i>Polygonum persicaria</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Wadmou, baymout, slilita	Renouée persicaire
<i>Portulaca oleracea</i> L.	<i>Portulacaceae</i>	Rejla, rjila, tarrajla	Pourpier, porcelane, pourpier maraîcher
<i>Potamogeton nodosus</i> Poiret	<i>Potamogetonaceae</i>	?	Potamot nouveux
<i>Psoralea americana</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Chguiria	Psoralée d'Amérique
<i>Ranunculus arvensis</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	Lfals, boubiche	Renoncule des champs
<i>Ranunculus bulbosus</i> L.	<i>Ranunculaceae</i>	Sennat l'far	Renoncule bulbeuse
<i>Ranunculus sardous</i> Grantz.	<i>Ranunculaceae</i>	lfals	Renoncule des marais
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	Bahammou l'har, bahammou lbied	Ravenelle, jotte, rave sauvage
<i>Retama monosperma</i> L. (L.) Boiss.	<i>Fabaceae</i>	Rtem	Rétam blanc, genet blanc
<i>Ricinus communis</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Kharouaa	Ricin
<i>Ridolfia segetum</i> Moris.	<i>Apiaceae</i>	Tebch, Slili	Aneth des moissons
<i>Rumex bucephalophorus</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Hammda, tismam	Oseille tête de boeuf, patience

<i>Rumex crispus</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Hammidia, tismam	Patience crépue, reguette, parelle
<i>Rumex dentatus</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	-	Patience dentée
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	<i>Polygonaceae</i>	Hammidia, tismam	Patience ou rumex à feuilles obtuses
<i>Rumex pulcher</i> l.	<i>Polygonaceae</i>	Hammidia, tismam	Patience violon
<i>Salpichroa origanifolia</i> (Lam.) Baillon	<i>Solanaceae</i>	Louaya	Œuf de cop, muguet des pampas
<i>Salsola</i> sp.	<i>Chenopodiaceae</i>	Chouk	Soude
<i>Salvia</i> spp.	<i>Lamiaceae</i>	Ferrache nda, zarakatoune	Sauge
<i>Scandix pecten-veneris</i> . L.	<i>Apiaceae</i>	Machita	Peigne de vé nus
<i>Scirpus maritimus</i> L	<i>Cyperaceae</i>	Diss, jarnij, chefraj, achlouj	Scirpe maritime
<i>Scolymus hispanicus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Guernina	Scolyme d'Espagne
<i>Scorpiurus vermiculatus</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Kalouat larnab	Chenillette vermiculée
<i>Senecio vulgaris</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Achba salma	Séneçon vulgaire
<i>Setaria glauca</i> (L.) Beauv.	<i>Poaceae</i>	Boussibousse, lassika	Sétaire glauque
<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	<i>Poaceae</i>	Boussibousse, lassika	Sétaire verte
<i>Sherardia arvensis</i> L.	<i>Rubiaceae</i>	Harricha	Shérardie des champs
<i>Silene gallica</i> L.	<i>caryophyllaceae</i>	Nourat el agrab	Silène de France
<i>Silybum marianum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Tawra, chouk lahmar	Chardon de Marie
<i>Sinapis alba</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	Bahammou	Moutarde blanche
<i>Sinapis arvensis</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	Bahammou	Moutarde des champs

<i>Sisymbrium irio</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	Kalkaz, karkaz, chariat	Roquette, sisymbre vélar
<i>Solanum cornutum</i> Lam.	<i>Solanaceae</i>		Morelle
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	<i>Solanaceae</i>	Chouika safra	Morelle jaune, morelle à feuilles de chalef
<i>Solanum nigrum</i> L.	<i>Solanaceae</i>	Anb dib, bouknina	Morelle noire
<i>Solanum sarrachoides</i> Sendtn.	<i>Solanaceae</i>	-	morelle faux- sarracha, morelle poilue
<i>Solanum sodomaeum</i> L.	<i>Solanaceae</i>	Lehdej, mattechat lahmar	Morelle de sodome
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	<i>Asteraceae</i>	Tifaf, katan lahnache	Laiteron rude
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Tifaf, katan lahnache	Laiteron maraîcher
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Tasalast, Sorgo, kassiba	Sorgho d'Alep
<i>Spergula arvensis</i> L.	<i>Caryophyllaceae</i>	Takanza lbeda traydiga	Spergule des champs, espargoutte
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	<i>Caryophyllaceae</i>	Chham el falous	Mouron des oiseaux
<i>Striga aspera</i> (Willd.) Benth.	<i>Scrophulariaceae</i>	-	Striga
<i>Striga gesneroides</i> (Willd.) Vatke	<i>Scrophulariaceae</i>	Ijelawen	Striga
<i>Suaeda aegyptiaca</i> (Hasselq.) Zohary	<i>Chenopodiaceae</i>	-	Soude egyptienne
<i>Taraxacum officinale</i> Wiggers.	<i>Asteraceae</i>	L'handba, Ûdjem, awjdem	Pissenlit officinal, dent- de-Lion
<i>Thesium australe</i> R.Br.	<i>Santalaceae</i>	-	Thésion d'australie
<i>Thesium humifusum</i> DC.	<i>Santalaceae</i>	?	Thésium couché

<i>Thesium humile</i> Vahl.	<i>Santalaceae</i>	Mliliha, mjdamt lard	Thésion envahissant, thésion nain
<i>Thesium mauritanicum</i> Batt.	<i>Santalaceae</i>	?	Thésion de Mauritanie
<i>Thesium resedoides</i> A.W.Hill	<i>Santalaceae</i>	-	Thésion
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertner	<i>Apiaceae</i>	Machita	Torilis noueux ou glomérulé
<i>Trianthema</i> <i>portulacastrum</i> L.	<i>Aizoaceae</i>	-	Pourpier courant,
<i>Tribulus terrestris</i> L.	<i>Zygophyllaceae</i>	Nouggayr	Croix de Malte
<i>Trifolium repens</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Nefla	Trèfle rampant ou blanc
<i>Tussilago farfara</i> L.	<i>Asteraceae</i>	?	Tussilage, pas- d'âne
<i>Typha latifolia</i> L.	<i>Typhaceae</i>	Berdi	Massette, quenouille
<i>Urtica urens</i> L.	<i>Urticaceae</i>	Harriga	Ortie brûlante, petite ortie
<i>Vaccaria hispanica</i> (Miller) Rauschert	<i>Caryophyllaceae</i>	Kohila, karbaba	Vaccaire d'Espagne, saponaire, savonnière
<i>Verbascum</i> spp.	<i>Scrophulariaceae</i>	Meslah l'endar	Molènes
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) B. & H.	<i>Asteraceae</i>	Nourat chems	Verbesine, herbe Marie- Thérèse
<i>Veronica agrestis</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	Harriga er'atba	Véronique agreste, Véronique rustique
<i>Veronica hederifolia</i> L.	<i>Scrophulariaceae</i>	Harriga er'atba	Véronique à feuilles de lierre
<i>Veronica polita</i> Fries	<i>Scrophulariaceae</i>	Harriga er'atba	Véronique brillante ou luisante
<i>Vicia benghalensis</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Bouzghiba, jalbana, kiker	la vesce du Bengale, vesce pourpre noiratre

<i>Vicia monantha</i> Retz.	<i>Fabaceae</i>	Bouzghiba, jalbana, kiker	Vesce à fleurs solitaires
<i>Vicia sativa</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Bouzghiba, jalbana, kiker	Vesce commune
<i>Viscum alba</i> L.	<i>Viscaceae</i>	Henna diâl- âdâm, Taborzizte	Gui blanc
<i>Viscum cruciatum</i> Sleber ex Boiss	<i>Viscaceae</i>	Lendjbar ou assemoum- ouchène, dakhtane	Gui à fruits rouges, gui rouge
<i>Vulpia geniculata</i> (L.) Link	<i>Poaceae</i>	Diel el far, boussibousse	Vulpie genouillée ou géniculée
<i>Xanthium spinosum</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Hassika, chouka, draybina	Lampoudre vulgaire, lampoudre épineuse, petite bardane
<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	<i>Rhamnaceae</i>	Sedra	Jujubier

*** Pr. Mohamed BOUHACHE est né en 1954 à Aït Melloul (Agadir).**

*** Diplôme d'Agronomie Générale en 1979, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat (I.A.V. Hassan II).**

*** Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA) en 1980, option protection des plantes, Institut National d'Agronomie, Paris, France.**

*** Diplôme d'Ingénieur d'état en Agronomie en 1981, option protection des plantes, I. A.V. Hassan II, Rabat.**

*** Doctorat ès- Sciences Agronomiques en 1989, University of California at Davis (USA) et I.A.V. Hassan II.**

*** Enseignant-chercheur à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de 1981 à 2019.**

*** Président de l'Association Marocaine de Malherbologie (AMM).**

*** Co-fondateur et ex Président de l'Association Marocaine de Protection des Plantes (AMPP).**

*** Fondateur et Editeur en chef de la «Revue Marocaine de Protection des Plantes» depuis 2009.**

*** Evalueur scientifique de plusieurs revues nationales et internationales dans le domaine de la Malherbologie.**

*** Auteur et co-auteur d'environ 250 articles scientifiques et techniques dans des revues nationales, internationales, colloques nationaux et internationaux.**

*** Auteur de l'ouvrage scientifique et technique (Bases pratiques de désherbage des céréales d'automne au Maroc).**

*** Co-auteur de deux ouvrages scientifiques (Atlas des Mauvaises Herbes du Souss et Index Phytosanitaire du Maroc).**

*** Expert international de la FAO dans le domaine de la Malherbologie.**

*** Membre de plusieurs associations nationales et internationales de malherbologie et/ou de protection des plantes.**

