

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies et Agro-écologie
Mémoire De Fin D'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Agroenvironnement et Bio-indicateurs

Thème

Impact des pratiques culturelles sur la biodiversité

Présenté par :

ABOU TAIR Alaa

BOUNSSAIRI Ouafa

Soutenue le : 14/07/2021.

Devant le jury :

Président : M^{me} DJENNAS K. MCB Université de Blida 1.

Promoteur : M^r GRANDI M. MCB Université de Blida 1.

Examinatrice : M^{me} RADIN. MAA Université de Blida 1.

Année universitaire : 2020/2021.

Remerciements

Nous adressons en premier lieu notre reconnaissance à notre DIEU tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Mis vifs remerciements et gratitude s'adressent à notre promoteur

Mr. GRANDI M.

pour son aide, ses orientations, sa patience et sa disponibilité.

Aux membres de jury, qui ont en obligeance de bien vouloir examiner et juger ce modeste travail :

Mme. DJENNAS K.

Nous vous exprimons nos profond respect et remerciements pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Mme. RADI N.

Pour l'intérêt que vous portez à notre travail et pour avoir accepter de juger notre travail, soyez assurée de notre profond respect.

A notre chef d'option d'Agroenvironnement et Bio-indicateurs

Mme. ALLAL L.

Nous vous exprimons nos profonds respect et remerciements.

A Tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

En fin, je remercie mes amis (es) de promotion d'Agroenvironnement et Bio-indicateurs.

A mes très chers parents : Ibrahim, Houda

source de vie, d'amour et d'affection

A mes chères sœurs faten, samah, hanady, nour, saja, malak, jana

pour leurs encouragements permanents

A mon mari muayad

pour son soutien

A toute ma famille

source d'espoir et de motivation

A tous mes amis

tout particulièrement sondos

A Ouafa, chère amie avant d'être binôme

Merci d'être toujours là pour moi

J'ai l'immense plaisir de dédier ce modeste travail : A la perle de ma vie, la joie de mon âme et l'air de mon esprit, ma chère famille :

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE : NAIMA BEKALEM

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait. Sans toi je ne serai pas qui je suis aujourd'hui, tu m'as construit avec ton art d'éduquer, ton soutien et tes sacrifices. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

MON TRÈS CHER PÈRE : HOUCINE

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal. Ce travail est ton œuvre, toi qui m'a donné tant de choses et tu continues à le faire...sans jamais te plaindre. J'aimerais pouvoir te rendre tout l'amour et la dévotion que tu nous as offerts, mais une vie entière n'y suffirait pas. J'espère au moins que ce mémoire y contribuera en partie.

A mes Sœurs et mon Frère NOUR EL HOUDA, WASSIM et ROUIYA

Vous m'avez toujours aidé par votre soutenance, vos encouragements et vos aides pratiques. J'avoue vraiment que si je suis arrivée à être là c'est grâce à vous, à vous aides et à votre amour. Je vous souhaite tout ce qu'il y a de meilleur, je vous dédie ce travail avec mes sincères remerciements

A ma grand-mère et ma 2eme mère HOURIA

M'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux vies.

Ainsi à mes tantes :

SOUHILA, NASSIMA, FETHIA

Ainsi à mes oncles :

MOUHAMED et sa femme AMEL, NESREDDINE et sa femme MAROUA

A tous mes amis en particulier :

T.SARA, M.NOUARA, B.LAMAIA, B.CHIRINE, B.SARA,

A mes proches amies :

K.TAMANI, B.NADA

À toute ma famille :

BOUNSSAIRI

A mon binôme ALAA :

Je vous dédie ce travail en témoignage de ce lien unique qui nous unit. Votre amitié est précieuse pour moi et j'espère qu'elle durera à jamais. Je tiens à vous remercier pour votre soutien permanent et vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur

- ➡ A mes Professeurs au niveau de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- ➡ Je n'oublierai pas de remercier vivement **les enseignants** qui ont assuré ma formation du niveau primaire jusqu'au niveau universitaire.

Résumé

L'agriculture est le premier facteur anthropique contrôlant la biodiversité. Les paysages agricoles dans de nombreuses régions du monde sont vieux de plus de 2000 ans, en effet, l'agriculture est l'action ou l'activité humaine qui a le plus d'impact sur la biodiversité.

Les activités agricoles et la structure du paysage n'agissent pas toujours en synergie sur la biodiversité, avec un effet cumulé et négatif de l'intensification de l'agriculture conventionnelle et de la simplification des paysages. Pour les espèces mobiles, la structure du paysage peut compenser en partie les effets négatifs des pratiques, alors que pour des espèces peu mobiles il existe un seuil de structure du paysage en deca duquel les modifications de système de production sont nécessaires pour favoriser la biodiversité.

Mots clés : Pratique culturales, engrais chimiques, biodiversité, biopesticides.

Summary

Agriculture is the first anthropogenic factor controlling biodiversity. Agricultural landscapes in many parts of the world are more than 2,000 years old; indeed, agriculture is the human action or activity that has the greatest impact on biodiversity.

Agricultural activities and landscape structure do not always act in synergy on biodiversity, with a cumulative and negative effect of the intensification of conventional agriculture and the simplification of landscapes. For mobile species, the structure of the landscape can partially compensate for the negative effects of practices, while for species that are not very mobile there is a threshold of landscape structure below which changes in the production system are necessary to promote biodiversity.

Keywords: Cultivation practice, chemical fertilizers, biodiversity, biopesticides.

ملخص

الزراعة هي أول عامل بشري يتحكم في التنوع البيولوجي. يبلغ عمر المناظر الطبيعية الزراعية في أجزاء كثيرة من العالم أكثر من 2000 عام ؛ في الواقع ، الزراعة هي العمل أو النشاط البشري الذي له أكبر تأثير على التنوع البيولوجي.

لا تعمل الأنشطة الزراعية وهيكل المناظر الطبيعية دائمًا في تآزر بشأن التنوع البيولوجي ، مع التأثير التراكمي والسلبى لتكثيف الزراعة التقليدية وتبسيط المناظر الطبيعية. بالنسبة للأنواع المتنقلة ، يمكن أن يعوض هيكل المناظر الطبيعية جزئيًا الآثار السلبية للممارسات ، بينما بالنسبة للأنواع غير المتنقلة للغاية ، هناك عتبة لهيكل المناظر الطبيعية التي تحتها تغييرات في نظام الإنتاج ضرورية لتعزيز التنوع البيولوجي.

الكلمات المفتاحية: ممارسة الزراعة ، الأسمدة الكيماوية، التنوع البيولوجي، المبيدات الحيوية.

Table des matières

Remerciements.....	
Dédicaces.....	
Résumé.....	
Summary.....	
ملخص.....	
Table des matières.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1

Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Agro biodiversité: Concepts et état de l'art

1. Les fonctions de la biodiversité	2
1.1. Les fonctions patrimoniales.....	5
1.2. Les fonctions agronomiques.....	5
1.3. Les fonctions écologiques	6

Chapitre II : Les pratiques agricoles dans l'exploitation agricole

2. Les pratiques agricoles.....	7
2.1. Les bonnes pratiques de traitement, dans le respect des auxiliaires et des abeilles.....	7
2.2. Des précautions à prendre en période de floraison et de production d'exsudats.....	7
2.3. La réglementation.....	7
2.4. Les applications d'insecticide ou d'acaricide en présence d'abeilles sont à proscrire.	8
2.5. Agriculture et abeilles « Une dépendance mutuelle ».....	9

Chapitre III : Evaluation de l'agrobiodiversité

3. Evaluation de l'agrobiodiversité : Méthodes et outils.....	11
3.1.Mesures directes de biodiversité	11
3.1.1. Indices simples	11
a. Richesse.....	11
b. Equitabilité.....	11
c. Disparité.....	11
d. Agrégation.....	11
3.1.2. Indicateurs biotiques	12
3.2.Évaluation des fonctions de la biodiversité par les modèles	12
3.2.1. Les modèles dynamiques	12
3.2.2. Les modèles d'impact potentiel.....	13
3.2.3. Les modèles experts	13
3.3.Les mesures indirectes de la biodiversité : les paramètres du paysage...	14
3.4.Les indicateurs agro-environnementaux.....	14

Chapitre IV : Effet des pesticides et biopesticides sur la biodiversité

4. Effet des pesticides sur la biodiversité.....	15
4.1.Rôle et importance des pesticides.....	15
4.2.Impacts des pesticides sur la biodiversité.....	15
5. Effet des biopesticides sur la biodiversité.....	20
5.1.Les avantages des biopesticides.....	21
5.2.Les inconvénients des biopesticides.....	22
Conclusion générale.....	24
Références bibliographiques.....	25

Liste des figures

Figure 1 : Composition, structure et fonction de la biodiversité selon plusieurs échelles, représentées par des sphères interconnectées (Noss, 1990).....3

Figure 2 : Impacts des pesticides sur la biodiversité (Dusan Kostic).....16

Figure 3 : Impacts des pesticides sur les papillons (Sophie Hoguin, 2019).....17

Figure 4 : Impacts des pesticides sur les abeilles (evert, 2016).....18

Figure 5 : Impacts des biopesticides sur la biodiversité (Yulen, 2016).....21

Figure 6 : Les avantages des biopesticides (Arbrealettres, 2017).....22

Liste des abréviations

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché.

BPA : Bonnes Pratiques Agricoles.

FAO: Food and Agricultural Organization.

IDEA : Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles.

NAPAN : National Actie Plan d'Action National.

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique.

PGPR: Plant Growthh Promoting Rhizobacteria.

PNPP : Préparations Naturelles Peu Préoccupantes.

PRPB : Programme de Réduction des Pesticides et Biocides.

UE: Union Européenne.

Introduction

Depuis la Convention de Rio de Janeiro en 1992, les pays signataires se sont engagés à conserver la biodiversité sur leurs territoires. Par conséquent, la connaissance de l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité est devenue un enjeu primordial. Le développement d'indicateurs agro-environnementaux permet de mieux évaluer l'impact environnemental des pratiques agricoles (Clèrgue, 2005).

Aujourd'hui, en raison des transformations socio-économiques, le mode de vie de l'agriculture tend vers une spécialisation orientée vers une économie de marché. En fait, la demande de produits agricoles a considérablement augmenté, nécessitant une variété de produits. Cette diversité de production agricole est associée à de nouvelles formes d'agriculture, d'irrigation et de gestion de l'élevage.

Par ailleurs, la biodiversité présente dans les zones agricoles remplit de nombreuses fonctions et doit être conservée. Sa protection nécessite la disponibilité d'outils pour évaluer les effets de l'agriculture sur la biodiversité. Ces outils doivent permettre de suivre l'état de la biodiversité, de montrer la pertinence des mesures agro-environnementales aux gestionnaires dans la prise de décisions.

Il a été noté que les indicateurs agro-environnementaux sont des alternatives intéressantes aux mesures de la biodiversité, aux indicateurs biotiques et aux modèles d'évaluation de la biodiversité. On suppose donc que la méthode des indicateurs agro-environnementaux est une approche appropriée pour l'évaluation d'impact des pratiques des gestions sur les différentes fonctions de la biodiversité. La biodiversité se situe à plusieurs échelles, parcelle, exploitation agricole, territoire.

L'objectif de cette étude est de comprendre dans quelle mesure, est impacté la biodiversité. Dans une première partie nous aborderons des éléments bibliographiques pour faire le point sur le concept de multifonctionnalité de la biodiversité et des différentes fonctions assurées par la notion des pratiques agricole, et enfin les principales méthodes d'évaluation de la biodiversité en agriculture, le dernier chapitre abordera les effets des pesticides et biopesticides sur la biodiversité.

Enfin, dans la conclusion générale, nous présenterons les points essentiels du travail et nous proposerons quelques perspectives.

Synthèse
Bibliographique

Chapitre I

Agro biodiversité

Concepts et état

de l'art

La protection de la biodiversité exige des méthodes d'évaluation afin de comprendre les effets de perturbations sur celle-ci ; cette protection exige également de surveiller l'état de la biodiversité et la pertinence de mesures agro-environnementales. Cependant, la biodiversité est une entité très complexe se situant à plusieurs échelles (espèces, communauté, écosystème et processus écologiques) en interaction. La biodiversité n'est pas seulement un concept qui exprime la "diversité de la vie" mais elle est également une construction socio-politique et une entité écologique mesurable (**Gaston, 1996**).

Des définitions opérationnelles de la biodiversité sont donc nécessaires pour déterminer des stratégies de recherches, des mesures de conservation biologique et pour définir des politiques environnementales.

Par exemple, **Noss (1990)** a décrit la biodiversité par une approche hiérarchique basée sur la distinction entre la "composition", la "structure" et la "fonction" appliquée à différentes échelles (Figure 1). Le travail de **Noss** est une référence dans les études écologiques sur le suivi de la biodiversité. La "composition" de la biodiversité est un inventaire des caractéristiques, tel que l'abondance des espèces, la présence d'espèces menacées ou la proportion des habitats. La "structure" de la biodiversité est l'organisation des composants de

La biodiversité et des relations entre eux. Ces composants tiennent compte des données structurales d'une population (sex ratio, variabilité morphologique...), de l'habitat (pente, densité de couverture au sol,...) et du paysage (connectivité, fragmentation, taille des îlots...).

Le troisième niveau, la "fonction" de la biodiversité, est l'ensemble des processus écologiques, tels que la production de biomasse, le recyclage des éléments ou encore les flux de gènes. La théorie des groupes fonctionnels est une autre approche opérationnelle qui relie la biodiversité aux processus de l'écosystème. Chaque groupe fonctionnel est lié à un processus d'écosystème tel que la décomposition de la matière organique ou la minéralisation de l'azote (**Loreau et al., 2002**).

Un processus d'un écosystème devient un service (écosystème service) selon un point de vue humain. Par exemple, la production de biomasse de l'écosystème prairial représente une production de fourrage pour le bétail. Les services des écosystèmes forment donc une base pour la vie humaine (**Schläpfer, 1999**).

1. Les fonctions de la biodiversité

La biodiversité est une entité complexe qui peut être répartie sur plusieurs niveaux. Les auteurs ont donc proposé différentes approches pour définir la biodiversité comme somme de plusieurs fonctions. **Noss (1990)** a proposé une approche hiérarchique impliquant le concept de "fonction" de la biodiversité. Il l'utilise pour définir tous les processus qui se produisent à différentes échelles : gène, espèce-population, communauté-écosystème et paysage régional (Figure 1). Le cycle des éléments et les flux d'énergie sont particulièrement pris en considération. Mais Noss s'est concentré sur les fonctions écologiques de la biodiversité.

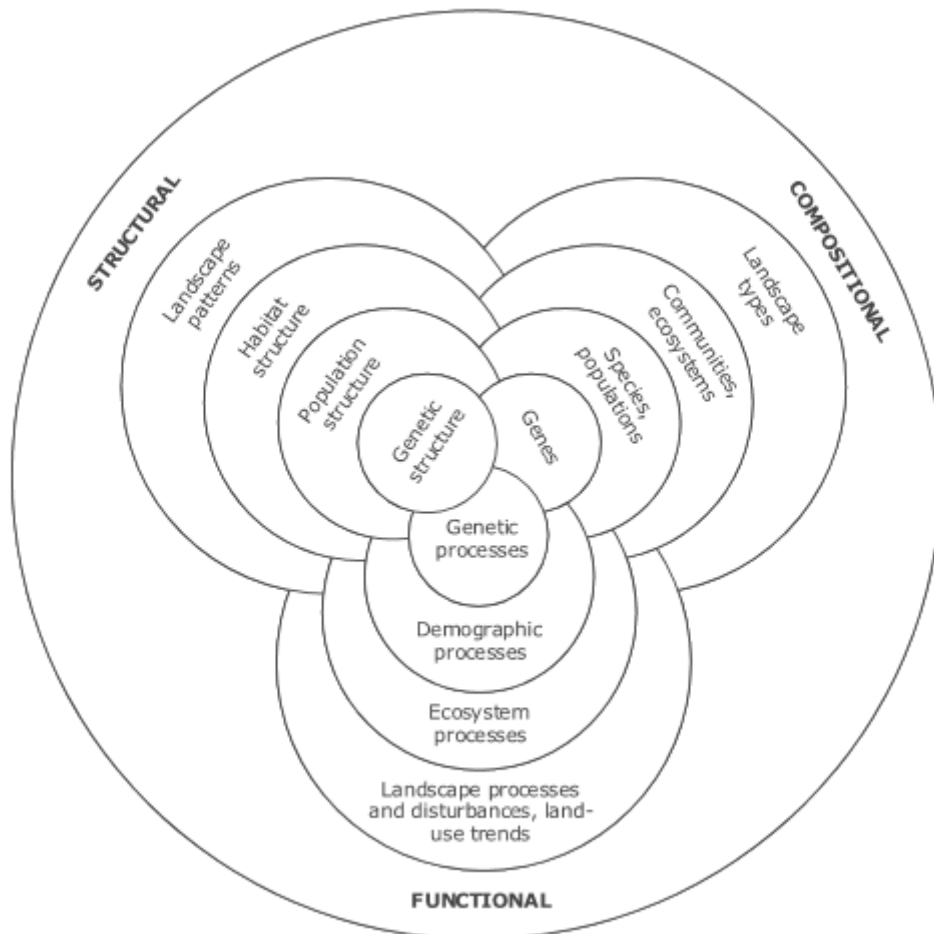


Figure 1 : Composition, structure et fonction de la biodiversité selon plusieurs échelles, représentées par des sphères interconnectées (**Noss, 1990**).

Peeters et al. (2004) ont exprimé les fonctions de biodiversité essentiellement en rapport avec les activités agricoles. La biodiversité est alors répartie en trois parties :

- ❖ la biodiversité agricole ;
- ❖ la biodiversité para-agricole ;
- ❖ la biodiversité extra-agricole.

La biodiversité agricole : représente la diversité du vivant directement utilisée pour la production agricole. Elle implique des espèces animales et végétales, des races et des variétés.

La biodiversité para-agricole : (également appelée "la biodiversité fonctionnelle") est la diversité du vivant indirectement utilisée par la production agricole, telle que la flore et la faune de sol, la faune auxiliaire, les pollinisateurs, la diversité végétale d'une prairie et plus généralement les services écosystémiques.

La biodiversité extra-agricole : représente la biodiversité dans les zones de production agricole qui ne contribue pas à la production. Ce sont principalement des espèces particulières comme par exemple les espèces menacées (orchidées, papillons, grands mammifères...).

Gurr et al. (2003) ont également passé en revue les avantages de la biodiversité pour la production agricole tels que la gestion des ravageurs favorisée par la présence des ennemis naturels. Ils ont également proposé une hiérarchie des avantages de la biodiversité basée sur les différentes échelles de la biodiversité.

Paoletti et al. (1992); Paoletti (1995) ont également souligné que la production agricole peut être fortement favorisée par la biodiversité. **Duelli et Obrist (2003)** ont définis trois axes majeurs qui motivent la conservation et l'étude de la biodiversité : 1) conservation (protection des espèces menacées), 2) lutte biologique (diversité des espèces d'antagonistes), et 3) résilience (processus des écosystèmes).

Les approches de **Duelli et Obrist (2003)** présentent un concept de la biodiversité qui recouvre plusieurs fonctions ou services écologiques. Les trois axes correspondent à trois fonctions principales : les fonctions patrimoniales, les fonctions agronomiques et les fonctions écologiques, de la biodiversité.

D'autre part, la valeur patrimoniale de la biodiversité est présente à d'autres échelles celle des habitats et celle des paysages. La biodiversité assure donc une fonction patrimoniale. La lutte biologique assurée par des auxiliaires naturellement présents dans les agro-systèmes est un argument souvent présenté pour illustrer les bienfaits de la biodiversité d'un point de

vue agronomique. Comme l'ont illustré **Gurr et al. (2003)**, les bénéfices de la biodiversité sont nombreux et se retrouvent à plusieurs échelles. La biodiversité permet autant de maintenir la fertilité du sol, de lutter contre l'érosion que de modifier le microclimat. Tous ces bénéfices se regroupent dans ce que nous appellerons la fonction agronomique de la biodiversité.

Enfin, **Duelli et Obrist (2003)** ont présenté sous le terme de résilience, les services purement écologiques de la biodiversité. Le concept de résilience renvoie à la capacité d'un écosystème à retourner à son état initial suite à une perturbation. Mais ce troisième axe correspond à l'ensemble des processus des écosystèmes comme par exemple le recyclage des éléments ou la pédogénèse.

1.1. Les fonctions patrimoniales

La biodiversité d'un lieu est liée à son histoire et constitue donc un patrimoine. Ce patrimoine est un héritage commun qui est un patrimoine naturel ou du moins biologique et qui a une dimension culturelle. Les fonctions patrimoniales sont présentes à différentes échelles : à l'échelle du paysage, la biodiversité contribue à la valeur esthétique et à des échelles inférieures, la biodiversité correspond à des habitats, des espèces ou à un patrimoine génétique.

Certains indicateurs prennent en compte cette valeur génétique. Par exemple, l'indicateur IDEA utilise le recensement des races animales et des cultivars végétaux pour évaluer la biodiversité d'un territoire (**Briquet et al., 2001**). Cette donnée peut paraître limitée pour mesurer le niveau de biodiversité, étant donnée sa complexité. Cependant, elle donne une première idée de l'intensification des pratiques agricoles dans un territoire. Une agriculture plus intensive privilégiera des races et des cultivars plus productifs, alors qu'une agriculture extensive recherchera une rusticité et une typicité (**Boris Clergué, 2008**).

1.2. Les fonctions agronomiques

La biodiversité assure des fonctions importantes dans les productions agricoles. La biodiversité agit sur les paramètres agronomiques à différentes échelles : à l'échelle locale, à l'échelle de la parcelle qui inclut des bordures semi-naturelles (talus, fossés, haies), et à l'échelle du paysage avec les réseaux de haies (connectivité et fragmentation) ou des zones boisées.

Elle peut contrôler les stress biotiques et abiotiques des cultures et des prairies (les ravageurs, les maladies, la sécheresse, les carences...), contribuer aux fonctions essentielles de la plante tel que la reproduction par l'intermédiaire des pollinisateurs et jouer un rôle dans la qualité des productions animales et végétales.

1.3. Les fonctions écologiques

Selon **(Duelli et Obrist, 2003)**, la biodiversité qui est impliquée dans le fonctionnement écologique est utilisée en partie pour l'activité agricole, mais la diversité est également reliée à plusieurs aspects écologiques. La biodiversité crée des habitats typiques, inclut des espèces particulières, et est relié au fonctionnement d'écosystèmes.

Chapitre II
Les pratiques
agricoles dans
L'exploitation
agricole

2. Les pratiques agricoles

Les pratiques agricoles sont des pratiques de culture et d'élevage conformes à des règles qui permettent à la fois l'amélioration de la production agricole et la réduction des risques pour l'homme et pour l'environnement (**TURPIN, 2016**).

Les bonnes pratiques agricoles (BPA) constituent un ensemble de règles à respecter dans la mise en œuvre des plantations et la gestion des cultures. Elles ont été instaurées de façon à optimiser la production agricole, tout en réduisant le plus possible les risques liés à ces pratiques, tant vis-à-vis de l'homme que vis-à-vis de l'environnement (**FAO – JMPR, 1967**).

2.1. Les bonnes pratiques de traitement, dans le respect des auxiliaires et des abeilles

En butinant de fleur en fleur, les insectes pollinisateurs participent à la production de nombreuses cultures et contribuent aussi à la qualité des récoltes. Les causes de dépérissement des abeilles sont multiples et la préservation de la santé du cheptel apicole implique la mise en place de bonnes pratiques à plusieurs niveaux : gestion des ressources alimentaires des abeilles; maîtrise des risques sanitaires du cheptel et utilisation raisonnée des produits phytopharmaceutiques en protection des cultures.

2.2. Des précautions à prendre en période de floraison et de production d'exsudats

Des intoxications d'insectes pollinisateurs peuvent se produire particulièrement quand les produits phytopharmaceutiques sont appliqués pendant la période de floraison ou lors de la production d'exsudats, car c'est dans ces situations que les butineuses sont les plus actives, tant sur les plantes cultivées que sur les adventices. La contamination peut avoir lieu à deux moments (pendant et après le traitement phytosanitaire), par deux voies d'intoxication différentes : contact ou ingestion.

2.3. La réglementation

L'arrêté du 28 novembre 2003 prévoit que, pour protéger les abeilles et autres insectes pollinisateurs, les traitements réalisés au moyen d'insecticides et d'acaricides sont interdits durant la période de floraison et pendant la période de production d'exsudats sur toutes les

cultures visitées par ses insectes.

Par dérogation certains produits sont autorisés durant ces périodes si l'étiquetage porte une des mentions suivantes :

- Emploi autorisé en floraison,
- Emploi autorisé au cours des périodes de production d'exsudats,
- Emploi autorisé durant la floraison et au cours des périodes de production d'exsudats.

Dans les 3 cas, l'application doit se faire en dehors de la présence d'abeilles.

Ces mentions sont attribuées pour un usage et avec une dose déterminée. Pour vérifier si un produit dispose d'une de ces mentions, reportez-vous à l'étiquette du bidon qui précise la décision d'autorisation de mise sur le marché (AMM).

2.4. Les applications d'insecticide ou d'acaricide en présence d'abeilles sont à proscrire

En présence d'abeilles les applications d'insecticide ou d'acaricide peuvent provoquer d'importantes mortalités parmi les populations d'abeilles. Les critères de présence/absence d'abeille : L'activité des abeilles dans les parcelles est fortement réduite au lever du jour et à la tombée de la nuit. En effet, la faible luminosité diminue leurs facultés d'orientation et les températures fraîches limitent leurs capacités de vol. Pour les abeilles domestiques, les données disponibles montrent que 12°C est un seuil au-delà duquel l'activité commence à devenir significative. En effet, dans une expérimentation de plein champ conduite par Terres inovia en 2013, sur 2 690 abeilles identifiées par radio fréquences (41 350 sorties au total) seulement 2.3% de sorties par des températures inférieures à 12°C ont été comptabilisées. Si cette limite de température est associée à une faible luminosité la fréquentation est d'autant plus réduite.

Par conséquent, nous recommandons fortement de traiter à la tombée de la nuit car :

- La plupart des butineuses ont quitté les parcelles,
- Le délai entre l'application et le contact des abeilles avec le produit est supérieur à celui obtenu avec une application réalisée le matin.

2.5. Agriculture et abeilles « Une dépendance mutuelle »

Le butinage des fleurs des cultures entomophiles par les abeilles augmente la qualité et la quantité de la production. Ainsi, des arboriculteurs louent des colonies d'abeilles domestiques pour les introduire dans leurs vergers en fleurs, les producteurs de semences font de même, et les maraîchers placent des colonies d'abeilles domestiques ou de bourdons dans leurs serres au moment de la floraison pour améliorer la pollinisation. La présence conjointe d'abeilles sauvages et domestiques accroît l'efficacité pollinisatrice individuelle des abeilles domestiques (**Klein et al., 2007**). L'introduction d'abeilles sur une culture peut provoquer une augmentation jusqu'à 25% du rendement d'une production de pommes (**Sharma, 2004**). La pollinisation par les insectes contribue à la production de 70% des espèces cultivées utilisées pour l'alimentation humaine dans le monde et 35% de notre alimentation en tonnage (**Klein et al., 2007**).

Ce mode de pollinisation s'avère indispensable à la production de fruits et de graines chez le cacao, la vanille, la noix de macadamia, le melon et la pastèque (**Klein et al., 2007**). Toutefois, la disparition des abeilles ne signifierait pas que l'espèce humaine est vouée à l'extinction par manque de nourriture (les cultures anémophiles comme les céréales n'étant pas concernées), mais la diversité alimentaire en serait profondément altérée et la disparition des angiospermes cultivées et dépendantes de cette pollinisation poserait un réel problème économique (**Gallai et al., 2009**). Par ailleurs, le butinage des cultures entomophiles par les abeilles domestiques permet d'obtenir des miels d'une grande variété. L'activité pollinisatrice des abeilles a donc un impact économique non négligeable sur l'agriculture. L'estimation de la valeur économique de la pollinisation par les insectes des cultures utilisées dans l'alimentation humaine s'élevait à 153 milliard d'euros en 2005 au niveau mondial (**Gallai et al., 2008**).

L'agriculture est souvent un secteur d'activité en relation étroite avec les milieux naturels et donc l'habitat de différentes espèces. Les terrains agricoles couvrent la grande majorité des surfaces non urbanisées en Europe. Au cours des dernières décennies, les pratiques agricoles ont considérablement évolué. Il existe actuellement deux conceptions pour concilier la gestion de la biodiversité et l'agriculture : l'intensification de la production sur certaines parcelles du territoire afin de libérer le reste pour la gestion de la biodiversité, et le développement d'une agriculture plus extensive et plus respectueuse de l'environnement.

Intensification de l'agriculture et urbanisation, des risques pour les pollinisateurs

La simplification des assolements, l'uniformisation des cultures (notamment céréales) et la fauche des prairies permanentes et temporaires avant floraison contribuent à la raréfaction des plantes mellifères et pollinifères (**Bäckman et al., 2002 ; Alix et al., 2008**), ainsi qu'au butinage de ressources polliniques de moindre valeur nutritive (déficients en acides aminés essentiels) ne permettant plus aux abeilles d'effectuer des réserves de pollen satisfaisantes pour l'élevage des larves (**Genissel et al., 2002**).

Dans les pays développés, l'urbanisation accrue s'ajoute à l'agriculture intensive et provoque progressivement la fragmentation des habitats naturels, l'isolement et la destruction de zones semi-naturelles et « refuges » telles que les haies, les talus, les prairies et les jachères fleuries (**Buchmann et al., 2005 ; Kohler et al., 2007**). **Krauss (2009)** a démontré que la surface des habitats conditionnait le maintien de la diversité des abeilles : les habitats contenant la plus grande diversité d'espèces pollinisatrices ont une surface d'au moins 10 ha et possèdent une flore variée. Les corridors biologiques entre les différentes zones d'intérêt pollinifère et mellifère risquent d'être modifiés ou altérés par la fragmentation des habitats (**Dawson, 1994**).

Ces modifications des zones de butinage aboutissent à des perturbations de la colonisation de l'habitat et de l'exploitation des ressources alimentaires par les insectes pollinisateurs (**Kearns et al, 1998; Richards, 2001**). Bien que l'on puisse assimiler les jardins à des refuges fleuris pour les pollinisateurs, la suppression des habitats naturels entraîne la diminution de leur abondance et de leur diversité conduisant souvent à un déficit de pollinisation (**Steffan-Dewenter et al., 1999**). Le développement des échanges internationaux entraîne l'introduction d'espèces exotiques (végétales et animales) et modifie la faune locale. Une étude réalisée dans les jardins urbains de New York en 2008 a démontré que 19% des espèces et 27% des individus collectés étaient non endémiques à l'Amérique du Nord (**Matteson et al., 2008**).

Chapitre III

Evaluation de

l'agrobiodiversité

3. Évaluation de l'agrobiodiversité

Comment évaluer la biodiversité en agriculture?

L'Organisation de Coopération et de Développement Economique (**OCDE**) définit le rôle des indicateurs dans la prise de décision en matière agro-environnementale en établissant 3 objectifs clés pour le développement d'Indicateurs Agro-environnementaux :

- Contribuer à une information disponible sur l'état actuel et les tendances des ressources naturelles et environnementales en agriculture.
- Améliorer la compréhension des processus agro-environnementaux et de l'impact des politiques agricoles sur l'environnement.
- Fournir un outil de suivi et d'évaluation des politiques agricoles et environnementales afin d'en améliorer l'efficacité dans la promotion d'une agriculture durable.

Les indicateurs environnementaux se sont développés relativement récemment par rapport aux indicateurs économiques et sociaux. Cependant, alors que ces derniers incluent souvent la dimension monétaire, les indicateurs environnementaux visent à saisir la relation entre l'environnement « naturel » biophysique et les activités humaines, habituellement mesurées en termes physiques. C'est pourquoi les indicateurs environnementaux et de durabilité agricole lancent un plus grand défi, en particulier en ce qui concerne les dimensions spatiales et temporelles (**OCDE, 1999**).

Méthodes et outils

Des nombreuses méthodes ont été proposées pour l'évaluation de l'agrobiodiversité soit par mesures directes ou bien indirectes.

3.1. Mesures directes de biodiversité :

3.1.1. Indices simples

- a. Richesse taxonomique**
- b. Equitabilité**
- c. Disparité**
- d. Agrégation**

3.1.2. Indicateurs biotiques :

La mesure directe de la diversité biologique est fréquemment utilisée pour les études de la biodiversité. Mais cette mesure a un inconvénient dû à son coût élevé en temps et en argent, et la nécessité de compétences élevées dans la détermination d'espèces très diverses (arthropodes de sol, faune aquatique, plantes, oiseaux...). De plus, un échantillon représente une image de la biodiversité qui change perpétuellement (espèces diurnes/nocturnes, conditions météorologiques, saison, effet année). Ainsi, les scientifiques ont essayé de trouver des mesures indirectes pour déterminer la biodiversité.

Au lieu de mesurer toute la biodiversité, beaucoup de scientifiques estiment que la dynamique de certains taxa donne une image de la dynamique de la biodiversité entière (**Kati et al., 2004; Mac Nally et Fleishman, 2004**). Une contribution importante sur l'emploi des indicateurs biotiques a été faite par une revue de **Buchs (2003)**. (**Duelli et Obrist, 1998**) ont suggéré que les niveaux taxonomiques supérieurs (ordre, genre) des arthropodes sont de meilleurs indicateurs biotiques en raison de leur facilité de prélèvement et de leur relation avec la biodiversité totale.

Tous ces outils d'évaluation doivent être facilement utilisables afin de pouvoir être généralisés pour d'autres études, et aider les décideurs impliqués dans l'aménagement du territoire.

3.2.Évaluation des fonctions de la biodiversité par les modèles**3.2.1. Les modèles dynamiques**

La plupart des modèles en écologie sont basés sur une approche physique des différents organismes, populations ou écosystèmes. Les êtres vivants ne sont pas considérés dans toute leur complexité, mais en tant que systèmes dynamiques qui sont déterminés par leur état, comme établi par la physique (**Stewart, 2002**). Par exemple, c'est le cas des modèles de compétition des espèces végétales (**Schippers et Joenje, 2002**).

Le modèle de Gounot est un des premiers modèles théoriques d'écosystème. Il est basé sur des compartiments qui correspondent aux éléments de la prairie tels que le bétail, les nutriments du sol, les micro-organismes et la biomasse végétale.

Trois types d'analyses peuvent être différenciées : les modèles classiques de régression linéaire, les relations linéaires généralisées parmi lesquelles la distribution gaussienne,

binomiale et de Poisson (**Yee et Mitchell, 1991**) et les modèles additifs généralisés. Ces modèles sont jusqu'ici utilisés en grande partie en écologie et ils ont été déjà décrits (**Guisan et al., 2002**).

A côté de ces modèles, plusieurs modèles ont été inspirés par l'application de concepts de la physique. Par exemple, la thermodynamique (**Zhang et Wu, 2002**) ou l'automatique (**Matsinos et Troumbis, 2002**) peuvent aider à prédire la structure, la dynamique et le fonctionnement des écosystèmes.

3.2.2. Les modèles d'impact potentiel

L'impact signifie le niveau auquel les ressources et/ou les fonctions écologiques sont menacées par une utilisation néfaste à la santé des écosystèmes. Le potentiel signifie que non seulement les modèles d'impact sont en partie basés sur des mesures sur le terrain, mais qu'ils sont limités par des données et des approximations disponibles inhérentes à la modélisation (**Freyer et al., 2000**). Le modèle de (**Freyer et al., 2000**) prédit le niveau de risque des ressources naturelles dû aux activités humaines telles que les intrants en pesticides et en azote ou l'action mécanique (par exemple le labour). Ce modèle peut être appliqué à plusieurs échelles.

3.2.3. Les modèles experts

Les modèles experts sont une approche nouvelle de modélisation: ils sont basés seulement sur la connaissance de certains traits ou caractéristiques biologiques des espèces animales ou végétales. Il n'y a pas besoin d'analyses statistiques ou de relations empiriques pour élaborer de tels modèles, mais seulement des observations sur le terrain et des mesures biométriques pour établir une base de données. Une fois que la base de données est établie, les modèles experts peuvent prédire très efficacement la présence d'espèces dans tous les écosystèmes. Ces approches de modélisation sont les premières applications concrètes de la théorie des groupes fonctionnels. Selon cette dernière, les traits vie des espèces végétales permettent de prédire la présence d'animaux ou de plantes en fonction des activités humaines et des facteurs environnementaux (**Pervanchon, 2004**).

3.3. Les mesures indirectes de la biodiversité : les paramètres du paysage

Une solution est de mesurer les éléments qui sont reliés à la biodiversité. Les paramètres du paysage peuvent être corrélés avec la diversité spécifique de beaucoup de taxons (Jeanneret *et al.*, 2003). Dans un premier temps, un paramètre de la biodiversité est étudié par rapport à l'information spatiale.

Après détermination du lien entre l'abondance de l'espèce et la structure spatiale, ce lien est modélisé puis validé. Finalement, les données sur le paysage sont seulement nécessaires pour surveiller l'espèce cible.

3.4. Les indicateurs agro-environnementaux

L'OCDE élabore actuellement six indicateurs : cinq d'entre eux rendent compte de l'état actuel et de l'évolution des habitats soumis à une exploitation intensive, des habitats semi-naturels et des habitats naturels non exploités, qui présentent une importance très variable pour les espèces sauvages. Le sixième indicateur est une matrice des habitats, qui fait ressortir les formes d'utilisation des différents types d'habitats agricoles par les espèces sauvages.

Chapitre IV
Effet des
pesticides et
biopesticides sur
la biodiversité

4. Effet des pesticides sur la biodiversité

4.1. Rôle et importance des pesticides

Les pesticides ont des risques sur la santé humaine par l'accumulation de ces derniers dans la chaîne alimentaire, et donc ils vont être consommés par l'être humain, d'une autre part ils ont un impact sur la pollution des eaux, le sol, la vie de la faune et la flore et aussi la santé des agriculteurs (**LACHEUR Eliane, 2011**) Malgré tous ces risques, on ne peut pas dépasser les avantages des pesticides, et parmi lesquels on peut citer (**BATSCH Dorothée, 2011**) :

- Protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leurs actions ;

- Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives (par exemple, les régulateurs de croissance) ;

- Assurer la conservation des produits végétaux, sauf si ces substances ou produits font l'objet de dispositions particulières concernant les agents conservateurs ;

- Détruire les végétaux indésirables ou détruire des parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux ;

- L'utilisation des pesticides peut aussi jouer un rôle en matière de la santé publique, soit vis-à-vis certains insectes comme les moustiques qui représentent des vecteurs de maladies graves tel que la malaria, soit vis-à-vis certains végétaux comme l'ambrosie; c'est une plante invasive possédant un pollen très allergisant qui provoque chez les personnes sensibles des pathologies notamment respiratoire (rhinite, trachéite) ou cutané (urticaire) (**SOCORRO, Joanna 2015**).

4.2. Impacts des pesticides sur la biodiversité

La biodiversité englobe la diversité de la vie à tous les niveaux : la diversité des espèces, la diversité génétique ainsi que la diversité des milieux et des écosystèmes. Une biodiversité élevée est une condition importante pour la conservation de processus essentiels tels que la régulation naturelle, la pollinisation des fleurs d'arbres fruitiers par les insectes et les processus de formation des sols et de décomposition de la matière organique. Les pesticides chimiques de synthèse ont pour fonction :

- comme le suffixe en « cide » l'indique ;

- de tuer les êtres vivants considérés comme des « pest », des parasites.

Certains de ces produits cibleront plus particulièrement des champignons, d'autres des insectes ou encore certaines herbes jugées indésirables.



Figure 8 : Impacts des pesticides sur la biodiversité (Dusan Kostic).

Comme le changement d'habitat, l'empoisonnement aux pesticides peut provoquer le déclin majeur d'une population qui menacera les espèces rares.

4.3. Impacts des pesticides sur les papillons, les abeilles et les auxiliaires

Les insecticides à large spectre (par exemple, les carbamates, les organophosphorés et les pyréthroïdes) peuvent provoquer le déclin de population d'insectes bénéfiques tels que les abeilles, les araignées et les coléoptères. Beaucoup de ces espèces jouent un rôle important dans le réseau alimentaire ou comme ennemis naturels des insectes nuisibles. Depuis 1970, le nombre d'insectes dans les champs de céréales du Sussex a chuté de moitié (GCT, 2004). Le nombre d'insectes, araignées et coléoptères était considérablement plus élevé dans les champs non traités (Moreby & Southway, 1999).

Dans les fermes biologiques britanniques, le nombre et la richesse des espèces de papillons étaient plus grands que dans les fermes traditionnelles (Feber *et al.*, 2007). Le nombre de coléoptères carabidés et d'araignées était habituellement plus élevé dans les fermes biologiques. Les pratiques de gestion conventionnelle sont apparues comme affectant bien plus les ennemis naturels que les autres insectes ou les nuisibles ciblés (Bengtsson *et al.*, 2005).



Figure 9 : Impacts des pesticides sur les papillons (Sophie Huguin, 2019).

Les papillons nocturnes étaient considérablement plus abondants dans les fermes biologiques et la richesse des espèces était supérieure (Wickramasinghe *et al.*, 2004). Sur les terres arables, l'utilisation de pesticide était un facteur important d'influence sur les communautés épigées d'araignées (Drapela *et al.*, 2008). Sur les sites ayant un apport accru de pesticide, les communautés d'insectes, abeilles sauvages et araignées étaient plus uniformes, révélant des échanges moindres entre les communautés dans les zones d'agriculture intensive (Dormann *et al.*, 2007).

Les abeilles assurent une pollinisation essentielle. Les abeilles mellifères subissent la pression des acariens parasites, des maladies virales, de la perte d'habitat et des pesticides. Les pratiques agricoles intensives, la perte d'habitat et les produits agrochimiques sont considérés comme étant parmi les principales menaces environnementales pesant sur les abeilles mellifères et sauvages d'Europe. La politique agricole doit réduire ces pressions pour s'assurer de l'existence de populations de pollinisateurs adéquates (Kuldna *et al.*, 2009). Dans les fermes biologiques aux Etats-Unis, à proximité des habitats naturels, diverses communautés d'abeilles sauvages indigènes fournissaient des services complets de pollinisation, tandis que la diversité et le nombre d'abeilles indigènes était fortement réduit dans les autres exploitations (Kremen *et al.*, 2002). Au Royaume-Uni, sur 95 incidents d'empoisonnement d'abeilles (où la cause a pu être identifiée) entre 1995 et 2001, les

organophosphorés ont causé 42 % de ces incidents, les carbamates, 29 %, et les pyréthroïdes 14 % (**Fletcher & Barnett, 2003**). Sur la dernière décennie, au Royaume-Uni, les insecticides qui ont empoisonné les colonies d'abeilles incluaient le bendiocarbe (un carbamate) et trois pyréthroïdes : cyperméthrine, deltaméthrine et perméthrine (**PSD, 2001-2007**).



Figure 10 : Impacts des pesticides sur les abeilles (**evert, 2016**).

Les effets synergiques entre les pyréthroïdes et les fongicides (les fongicides imidazoles ou triazole) peuvent augmenter le risque pour les abeilles à miel (**Pilling & Jepson, 2006**).

Le clothianidine, et dans une moindre mesure, l'imidaclopride sont hautement toxiques pour les bourdons et autres abeilles sauvages (**Scott-Dupree et al., 2009**). Ces deux insecticides néonicotinoïdes sont utilisés pour traiter les semences de maïs et tournesol. En 2008, le clothianidine a causé de nombreux empoisonnements d'abeilles et morts de colonies en Allemagne du Sud (**Spiegel, 2008**). Le produit a depuis été retiré. Lorsqu'une graine traitée à l'imidaclopride s'est développée, une quantité largement suffisante peut intégrer l'environnement pour empoisonner les abeilles (**Greatti et al., 2003**). Les résidus d'imidaclopride dans le pollen de maïs issu de semences traitées peuvent présenter un grand risque pour les abeilles en raison de leurs effets sublétaux (**Bonmatin et al., 2004**). Même à de faibles doses d'imidaclopride, le comportement de recherche de nourriture des abeilles était négativement affecté (**Yang et al., 2008**). L'exposition à de faibles doses d'imidaclopride sur une plus longue période a conduit à la réduction de la capacité d'apprentissage parmi les abeilles (**Decourtye et al., 2003**).

Dans la luzerne, l'imidaclopride a affecté le nombre et la diversité des espèces des communautés d'arthropodes (ennemis naturels tels que les araignées), plus fortement que parmi les insectes nuisibles ciblés (**Liu et al., 2008**). L'imidaclopride a été bannie de France. Les bordures de champs sans recours aux pesticides (particulièrement les herbicides) ont eu un effet positif sur le nombre de lépidoptères (tels que les papillons diurnes ou nocturnes), les insectes, et les coléoptères staphylinidés sur les bordures des champs arables (**Frampton et al., 2007**). Sur les parcelles biologiques, le nombre moyen d'araignées et de coléoptères carabidés ou staphylinidés était presque le double de celui des parcelles conventionnelles (**Mäder et al., 2002**).

- Les pesticides hautement toxiques pour les abeilles, bourdons et autres insectes bénéfiques sont: les carbamates (ex.: aldicarbe, benomyl, carbofurane, methiocarbe), les organophosphorés (chlorpyrifos, diazinon, dimethoate, fenitrothion), les pyréthroïdes (ex.:cyfluthrine, cyhalothrine) et les néonicotinoïdes (ex. : imidaclopride, thiamethoxam, clothianidine).
- Récemment, le clothianidine utilisé dans les traitements de semences a causé un empoisonnement très étendu d'abeilles. Les résidus d'imidaclopride dans les plantes peuvent altérer de façon néfaste le comportement des abeilles.

Les pesticides dans leur ensemble peuvent tous perturber les insectes pollinisateurs, les herbicides participent à la raréfaction de leurs ressources alimentaires et, dans quelques cas, peuvent avoir une certaine action insecticide. Les fongicides appartenant à des familles chimiques particulières peuvent également engendrer des troubles inattendus s'ils sont associés à des insecticides peu dangereux.

Les insecticides sont les pesticides les plus fortement impliqués dans les dommages infligés à la faune pollinisatrice. Leur action peut être directe, mais elle est assez souvent indirecte par les résidus déposés sur les plantes, contaminant la nourriture des insectes mellifères : pollen et nectar. Divers symptômes affectent les adultes, la survie des insectes cachant parfois des conséquences sublétales des traitements, affaiblissant leur potentiel de reproduction. L'action des insecticides sur les stades immatures est d'autant plus insidieuse qu'elle est obligatoirement différée (**tasei, 1996**).

5. Effet des biopesticides sur la biodiversité

L'utilisation des produits phytosanitaires chimiques a considérablement diminué la pénibilité du travail au champ tout en permettant une production suffisante et à moindre coût pour satisfaire aussi bien le marché que le consommateur. Dans une publication récente, les pertes de production, avant récolte, des cultures mondiales majeures dues aux ravageurs (insectes, micro-organismes) et aux adventices sont estimées à 35 % (**Popp et al., 2013**). Sans une protection efficace des cultures, ces pertes seraient de 70 % (**Popp et al., 2013**). À en croire les tenants de l'industrie, la diminution de la production mondiale de denrées alimentaires causée par la non-utilisation des produits phytosanitaires pourrait être à l'origine de famines chez les populations déjà fragilisées.

Tous ces arguments pris en compte, il est indéniable que les produits phytosanitaires chimiques présentent de nombreux avantages. Cependant, leur utilisation peut être la cause de problèmes environnementaux et de santé publique, d'autant plus que les risques inhérents à certains d'entre eux sont mal évalués. Consciente de ce problème, l'Union européenne (UE) a pris un certain nombre de mesures. Ainsi, dans un souci d'amélioration, la Directive européenne 91/414/CEE a été abrogée par le règlement (CE) 1107/2009 (**Journal officiel de l'Union européenne, 2009**). Cette directive visait à harmoniser les procédures de mise sur le marché des produits phytosanitaires et établissait la liste des substances autorisées ainsi qu'un programme d'évaluation de celles déjà sur le marché. Dans ce nouveau règlement, les critères d'approbation des substances actives sont plus stricts que précédemment. Les co-formulants entrant dans la composition des produits sont soumis à des procédures d'homologation similaires aux substances actives et les substances présentant un risque élevé sont remplacées par leurs homologues ayant un faible risque.

De même, une autre directive, la Directive 128/2009/CE, adoptée le 21 octobre 2009, rend obligatoire la protection intégrée des cultures d'ici 2014 (**Journal officiel de l'Union européenne, 2009**). Dans cette directive, chaque pays membre de l'UE doit mettre en place son propre plan d'action avec des objectifs quantitatifs et définis dans le temps pour limiter l'impact des produits phytosanitaires chimiques sur la santé et sur l'environnement. En France, des mesures sont prises pour encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires. Ainsi, le plan « Écophyto 2018 » débattu lors du Grenelle Environnement de 2007, vise à réduire de 50 % la quantité de produits phytosanitaires d'origine chimique d'ici 2018.



Figure 11 : Impacts des biopesticides sur la biodiversité (Yulen, 2016).

En Belgique, un Programme de Réduction des Pesticides et Biocides (PRPB) a été établi en 2005. Ce programme couvrait la période allant de 2005 à 2010 et visait à diminuer, pour l'année 2012, de 25 % l'impact des pesticides agricoles sur l'environnement et de 50 % l'impact environnemental des autres pesticides et biocides. Ces objectifs, fixés pour 2012, faisaient intervenir plusieurs acteurs comme les pouvoirs publics, les organisations professionnelles ainsi que les associations de défense des consommateurs et de l'environnement. La Belgique souhaite continuer à se conformer à la législation européenne en mettant notamment en place un plan d'action national (National Actie Plan d'Action National, NAPAN) afin de poursuivre les actions menées au sein du PRPB.

L'un des outils permettant la réduction des pesticides à usage agricole et promu aussi bien par le plan Écophyto 2018 que par le PRPB est l'utilisation de produits phytosanitaires d'origine biologique.

5.1. Les avantages des biopesticides

Les biopesticides offrent de nombreux avantages. Leur nature permet leur utilisation aussi bien en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle. Il est cependant à noter que, dans certains pays, la réglementation en vigueur ne permet pas l'utilisation en agriculture biologique de tous les biopesticides commercialisés sur leur territoire. Si la substance active de ces produits ne pose pas de problème réglementaire, leurs co-formulants peuvent ne pas

être compatibles avec ce type d'agriculture. Ainsi, il est recommandé aux agriculteurs biologiques de consulter les listes de produits commerciaux à base de biopesticides autorisés par leur organisme certificateur avant toute utilisation. De même, en tant qu'organismes génétiquement modifiés, les PIPs ne sont pas utilisés en agriculture biologique.

Certains biopesticides microbiens présentent des bénéfices supplémentaires à leur rôle de protection. Les champignons du genre *Trichoderma* ont la particularité de faciliter l'absorption d'éléments nutritifs du sol par les plantes (**Harman, 2011**). De même, il a été récemment mis en évidence que certains micro-organismes endophytes et/ou certaines rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* ou PGPR) peuvent conférer à certaines cultures une tolérance aux stress abiotiques comme la sécheresse (**Compant et al., 2010 ; Wang et al., 2012**).



Figure 12 : Les avantages des biopesticides (**Arbrealettres, 2017**).

5.2. Les inconvénients des biopesticides

Certains des avantages écologiques des biopesticides, comme leur faible rémanence ou le fait qu'un produit soit actif contre un faible spectre de nuisibles, peuvent être considérés comme des inconvénients. En effet, ces deux avantages écologiques combinés à leur activité souvent dépendante des conditions climatiques et environnementales rendent les biopesticides moins efficaces que leurs homologues chimiques.

Certains professionnels de l'agriculture estiment que les biopesticides ne leur conviennent pas car ils ne sont pas assez efficaces. Ces derniers évaluent les résultats du biopesticides à court terme, comme s'il s'agissait d'un substitut aux produits phytosanitaires

Chapitre IV **Effet des pesticides et biopesticides sur la biodiversité**

chimiques. Cependant, la mise en place et l'efficacité d'un contrôle biologique doivent être évaluées sur la durée (**Popp et al., 2013**).

Conclusion générale

Conclusion générale

La biodiversité est à l'origine des plantes et des animaux qui forment la base de l'agriculture. Toute fois cette biodiversité est menacée et parfois disparaît à un rythme alarmant. En effet l'utilisation généralisée et la dépendance aux produits phytosanitaires a conduit à l'apparition des problèmes environnementaux parfois très graves.

Il serait par conséquent intéressant de développer des nouvelles alternatives à l'image des biopesticides qui présentent des avantages écologiques non négligeables.

La généralisation de l'utilisation des biopesticides en combinaison avec certains pesticides chimiques permettra à coup sûr de limiter la quantité d'intrants qui à long terme peuvent engendrer des problèmes environnementaux graves.

*Références
bibliographiques*

- Alabouvette, C., Backhouse, D., Steinberg, C., Donovan, N. J., Edel-Hermann, V., Burgess, L. W. (2004). Microbial diversity in soil - effects on crop health. Managing soil quality: challenges in modern agriculture. P. Schjonning, Elmholt, S, Christensen, B.T. Wallingford, UK, CABI Publishing,. 121-138.
- Anastasiadis I., Giannakou I., Prophetou-Athanasidou D. & Gowen S., 2008. The combined effect of the application of a biocontrol agent *Paecilomyces lilacinus*, with various practices for the control of root knot nematodes. *Crop Prot.*, 27, 352-361.
- Aquiloni L. & Gherardi F., 2010. The use of sex pheromones for the control of invasive populations of the crayfish *Procambarus clarkia*: a field study. *Hydrobiologia*, 649, 249-254.
- ARLA (Agence de Règlementation de la Lutte Antiparasitaire), 2002. *Directive d'homologation DIR2002-02*. Numéro de catégorie : NH113-3/2002-2F-IN.
- Bailey K., Boyetchko S. & Längle T., 2010. Social and economic drivers shaping the future of biological control: a Canadian perspective on the factors affecting the development and use of microbial biopesticides. *Biol. Control*, 52, 221-229.
- Bai, Y., Abouguendia, Z., Redmann, R. E. (2001). Relationship between plant species diversity and grassland condition. *Journal of Range Management* 54: 177-183.
- Bates S., Zhao J.-Z., Roush R. & Shelton A., 2005. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nat. Biotechnol.*, 23, 57-62.
- BATSCH Dorothée : L'impact des pesticides sur la santé humaine, Thèse pour obtenir le Diplôme de docteur d'Etat en Pharmacie, Faculté de pharmacie, Université Henri Poincaré- Nancy 1, 2011, P 7,8.
- Bäckman J.P., Tiainen J., (2002). Habitat quality of field margins in a finnish farmland area for bumblebees. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89, 53-68.
- Beasly V, *et al*, Environmental factors that affect amphibian community structure and health as indicators of ecosystems, U.S. EPA, Washington D.C. 2002.
- Bengtsson J, *et al*, The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis, *Journal of Applied Ecology* 42(2), 2005.

- BERRAH Awatef : Etude sur les pesticides, Mémoire Master 2 en toxicologie appliquée .
Université de Tébessa, Algérie, 2011, P 2.
- Boatman ND, et al, Impacts of agricultural change on farmland biodiversity in the UK, In:
Hester RE, and Harrison RM (eds), Biodiversity under threat, RSC Publishing,
Cambridge, UK 2007, pp. 1-32.
- Boatman ND, et al, Evidence for the indirect effects of pesticides on farmland birds, *Ibis*
146(2): 131-143,2004.
- Bockstaller, C., Girardin, P., van der Werf, H. M. G. (1997). Use of agro-ecological indicators
for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7: 261-270.
- Bonnet J.-L., *et al*, Assessment of the potential toxicity of herbicides and their degradation
products to nontarget cells using two microorganisms, the bacteria *Vibrio fischeri* and
the ciliate *Tetrahymena pyriformis*, *Environmental Toxicology* 22(1): 78-91, 2007.
- Boulon J.-P., 2010. Qu'est-ce que ? *Pseudomonas chlororaphis* souche MA342 bio-fongicide
en traitement de semences de blé, triticale et seigle. *Phytoma Défense Végétaux*, 632,
10-12.
- Boris Clergué. Évaluation de l'impact des pratiques agricoles sur les fonctions de la
biodiversité à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux : approche globale et
développement d'un indicateur de "résistance aux stress biotiques". Sciences
agricoles. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2008. Français. p 20.
- Brunner K. et al., 2005. Improvement of the fungal biocontrol agent *Trichoderma*
atroviride to enhance both antagonism and induction of plant systemic disease
resistance. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71, 3959-3965.
- Buchmann S., Ascher J.S., (2005). The plight of pollinating bees. *Bee world* 86, 71-74.
- Calderón-Alvarez C. et al., 2012. Monitoring the effects of *Rodolia cardinalis* on *Icerya*
purchasi on the Galapagos Islands. *BioControl*, 57, 167-179.
- Canola agroecosystems on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae), *Megachile rotundata*
(Hymenoptera: Megachilidae), and *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae),
Journal of Economic Entomology 102(1): 177-182, 2009.

- Carpino, S., Mallia, S., La Terra, S., Melilli, C., Licitra, G., Acree, T. E., Barbano, D. M., Van Soest, P. J. (2004). Composition and aroma compounds of Ragusano cheese: native pasture and total mixed rations. *Journal Of Dairy Science* 87: 816-830.
- Carriger JF, and Rand GM, Aquatic risk assessment of pesticides in surface waters in and adjacent to the Everglades and Biscayne National Parks: I. Hazard assessment and problem formulation, *Ecotoxicology* 17(7): 660-679, 2008.
- Chandler D. et al., 2011. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B.*, 366(1573), 1987-1998.
- Chen X. et al., 2002. Comparative analysis of the complete genome sequences of *Helicoverpa zea* and *Helicoverpa armigera* single-nucleocapsid nucleopolyhedroviruses. *J. Gen. Virol.*, 83, 673-684.
- Christian Pacteau, « Pourquoi les oiseaux des champs disparaissent-ils ? », *Le courrier de la nature*, no 281, 2014.
- Christine Cottard : Les pesticides encore appelées produits phytosanitaires, institut français de l'éducation , 2008, P 4.
- Comité sécurité Alimentaire d'Aprifel : pesticides, risques et sécurité alimentaire, Op.cit, P9-12.
- Compant S., Clément C. & Sessitsch A., 2010. Plant growth promoting rhizobacteria in the rhizo and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biol. Biochem.*, 42, 669-678.
- Conseil de l'Europe : Pesticides, 7e édition, Strasbourg, 1992, P10.
- Correia A. et al., 2013. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. *J. Econ. Entomol.*, 106(2), 747-755.
- Dawson D., (1994). Are habitat corridors conduits for animals and plants in a fragmented landscape ? A review of the scientific evidence. *English Nature Research Report*. 94.
- Decourtye A, et al, Learning performances of honeybees (*Apis mellifera* L) are differentially affected by imidacloprid according to the season, *Pest Management Science* 59(3): 269-278, 2003.

Références bibliographiques

- Department of Environment, Food and Rural Affairs (Defra), Measuring the progress of the biodiversity strategy for England: baseline assessment, London 2003, amended in 2008.
- De Snoo GR, Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice, *Landscape and Urban Planning* 46(1-3): 151-160, 1999.
- De Zwart, Ecological effects of pesticide use in the Netherlands: Modeled and observed effects in the field ditch, *Integrated Environmental Assessment and Management* 1(2): 123-134, 2005.
- Dinehart SK, *et al*, Toxicity of a glufosinate- and several glyphosate-based herbicides to juvenile amphibians from the Southern High Plains, USA, *Science of the Total Environment* 407(3): 1065-1071, 2009.
- Dodd S., Lieckfeldt E. & Samuels G., 2003. *Hypocrea atroviridis* sp. nov., the teleomorph of *Trichoderma atroviride*. *Mycologia*, 95(1), 27-40.
- Dong L., Yang J. & Zhang K., 2007. Cloning and phylogenetic analysis of the chitinase gene from the facultative pathogen *Paecilomyces lilacinus*. *J. Appl. Microbiol.*, 103(6), 2476-2488.
- Dorioz, J.-M., Fleury, P., Coulon, J.-B., Martin, B. (2000). La composante milieu physique dans l'effet terroir pour la production fromagère: quelques réflexions à partir du cas des fromages des Alpes du Nord. *Courrier de l'environnement de l'INRA*. 40: 47-55.
- Dormann CF, et al, Effects of landscape structure and land-use intensity on similarity of plant and animal communities, *Global Ecology and Biogeography* 16(6): 774-787, 2007.
- Drapela T, et al, Spider assemblages in winter oilseed rape affected by landscape and site factors, *Ecography* 31(2): 254-262, 2008.
- Dupraz Christian et Liagre Fabian : *Agroforestrie des arbres et des cultures*, Edition FranceAgricole, P318, 2008.
- Duelli, P., Obrist, M. K. (1998). In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. *Biodiversity and Conservation* 7: 297-309.
- English Nature (EN), *Integrated farming and biodiversity*, Peterborough, UK 2005.

Références bibliographiques

Eric Marcon. Mesures de la Biodiversité. Master. Kourou, France. 2015.

European Commission (EC), Review report for the active substance atrazine, Brussels 2003.

European Food Safety Authority (EFSA), Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Copper (I), copper (II) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper (I) oxide, Bordeaux mixture, In: Summary of the EFSA Scientific Report 187, Parma, Italy 2008.

FAO – JMPR, 1967 Annuaire statistique de la FAO.

FAO, 2012. *Guidance for harmonizing pesticide regulatory management in Southeast Asia*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.

Farm Chemical Internationals, 2010. *Biological pesticide on the rise*, www.farmchemicalsinternational.com/uncategorized/biological-pesticides-on-the-rise/, (03.02.14).

Feber RE, et al, A comparison of butterfly populations on organically and conventionally managed farmland, *Journal of Zoology* 273(1): 30-39, 2007.

Fletcher J, *et al*, Potential environmental risks associated with the new sulfonylurea herbicides, U.S. EPA, Washington D.C. 1993.

Fletcher M, and Barnett L, Bee pesticide poisoning incidents in the United Kingdom, *Bulletin of Insectology* 56: 141-145, 2003.

Food and Environment Research Agency UK (Fera), Pesticide Usage Statistics: Tables (select year and chemical group), 2009.

Forson DD, and Storfer A, Atrazine increases Ranavirus susceptibility in the tiger salamander (*Ambystoma tigrinum*), *Ecological Applications* 16(6): 2325-2332, 2006.

Foster, G. N., Furness, R. W., Waterhouse, A., Ribera, I. (2002). Prediction of plant diversity response to land-use change on Scottish agricultural land. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1965: 1-15.

Références bibliographiques

- Frampton GK, et al, The effects on terrestrial invertebrates of reducing pesticide inputs in arable crop edges: a meta-analysis, *Journal of Applied Ecology* 44(2): 362-373, 2007.
- Frost & Sullivan, 2009. *North American and Western European biopesticides market*. M472-39.
- Fuller RJ, et al, Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa, *Biology Letters* 1(4): 431-434, 2005.
- Freyer, B., Reisner, Y., Zuberbühler, D. (2000). Potential impact model to assess agricultural pressure to landscape ecological functions. *Ecological Modelling* 130: 121-129.
- Gallai N., Carré G., Enjolras G., Reginster I., Salles J.M., Vaissière B., (2009). Evolution of agricultural vulnerability in Europe confronted with pollinator decline : a case study comparing Germany and Spain. Pages 271-303 in B. Rodriguez-Labajos, J.H. Spangenberg, L. Maxim, I. Monterroso, R. Binimelis, J.M. Alier, P. Kuldna, K. Peterson, M. Uustal, N. Gallai, editors. *Assessing biodiversity risks with socio-economic methods: ALARM experience*. Pensoft, Sofia.
- Gallai N., Salles J.M., Settele J., Vaissière B.E., (2008). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68, 810-821.
- Game and Wildlife Conservation Trust (GCT), Sussex study: 34 years of change in farmland wildlife, 2004.
- Genissel A., Aupinel P., Bressac C., Tasei J.N., Chevrier C., (2002). Influence of pollen origin on performance of *Bombus terrestris* micro-colonies. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 104, 329-336.
- Générations Futures, Dossier Faune & flore : quels impacts des pesticides sur ces espèces ?, 2017.
- Gibbs KE, et al, Human land use, agriculture, pesticides and losses of imperiled species, *Diversity and Distributions* 15(2): 242-253, 2009.
- Goettel M. & Hajek A., 2001. Evaluation of non-target effects of pathogens used for management for arthropods. *In*: Wajnberg E., Scott J.K. & Qimby P.C.,

- eds. *Evaluating indirect ecological effects of biological control*. Wallingford, UK: CABI Publisher, 81-97.
- Gounot, M., Bouché, M. (1974). Modélisation de l'écosystème prairial. Obejctifs et méthodes. *Bulletin d'Ecologie* 5: 309-338.
- Greatti et al. Risk of environmental contamination by the active ingredient imidacloprid used for corn seed dressing. In: Dept. of Agroenvironmental Sciences and Technologies, Bologna University: Proceedings 8th International Symposium of the ICP-BR Bee Protection Group – Hazards of pesticides to bees, Bologna September 4-6, 2002. *Bulletin of Insectology* 56: 69-72, 2003.
- Grewal P., Grewal S., Tan L. & Adams B., 2003. Parasitism of molluscs by nematodes: types of associations and evolutionary trends. *J. Nematol.*, 35(2), 146-156.
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157:89-100.
- Harman G., 2011. *Trichoderma* not just for biocontrol anymore. *Phytoparasitica*, 39, 103-108.
- INRA & ITAB, 2013. Homologation des substances naturelles en protections des cultures. In : *Recueil des résumés des présentations du Colloque DinaBio 2013, 13-14.11.13, Tours, France, 65-66*. Paris : INRA, ITAB.
- IUCN, The Asian amphibian crisis, 2009.
- Judson, O. P. (1994). The rise of the individual-based model in ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 9-14.
- JUNE, 2002 ; Bonnes pratiques agricoles, Second Version, 7 p.
- Kabaluk T. & Gazdik K., 2011. *Directory of microbial pesticides for agricultural crops in OEDC countries*. Ottawa, ON, Canada: Agriculture and Agri-Food Canada, <https://www4.agr.gc.ca/MPDD-CPM/search-recherche.do?lang=eng>
- Kati, V., Devillers, P., Dufrene, M., Legakis, A., Vokou, D., Lebrun, P. (2004). Hotspots, complementarity or representativeness? designing optimal small-scale reserves for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 120: 471-480.

- Kiewnick S., 2007. Review: practicalities of developing and registering microbial biological control agents. *CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.*, 2(013), <http://www.cabi.org/bni/FullTextPDF/2007/20073085842.pdf>
- King KC, *et al*, Short-term seasonal changes in parasite community structure in Northern Leopard froglets (*Rana pipiens*) inhabiting agricultural wetlands, *Journal of Parasitology* 94(1): 13-22, 2008.
- Klein A.M., Vaissière B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C., Tscharntke T., (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274, 303-313.
- Kohler F., Verhulst J., Knop E., Herzog F., Kleijn D., (2007). Indirect effects of grassland Extensification schemes on pollinators in two contrasting European countries. *Biological Conservation* 135, 302-307.
- Krauss J., Alfert T., Steffan-Dewenter I., (2009). Habitat area but not habitat age determines wild bee richness in limestone quarries. *Journal of Applied Ecology* 46, 194-202
- Kremen C, *et al*, Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification, *PNAS* 99(26): 16812-16816, 2002.
- Kuldna P, *et al*, An application of DPSIR framework to identify issues of pollinator loss, *Ecological Economics*, 69(1): 32-42, 2009.
- Kumar S., Chandra A. & Pandey K.C., 2008. *Bacillus thuringiensis* (Bt) transgenic crop: an environment friendly insect-pest management strategy. *J. Environ. Biol.*, 29(5), 641-653.
- LACHEUR Eliane : Les produits phytosanitaires : distribution et application (les différentes méthodes de lutte), Editions educagri, France, 2011, P9.
- Laterra, P., Solbrig, O. T. (2001). Dispersal strategies, spatial heterogeneity and colonization success in fire-managed grasslands. *Ecological Modelling* 139: 17-29.
- Leng P., Zhiming Z., Guangtang P. & Maojun Z., 2011. Applications and development trends in biopesticides. *Afr. J. Biotechnol.*, 10(86), 19864-19873.

Références bibliographiques

- Liu CZ, Wang G, and Yan L, [Effects of imidacloprid on arthropod community structure and its dynamics in alfalfa field], [Chinese Journal of Applied Ecology], 18(10): 2379-2383, 2008.
- Longa C. et al., 2009. Evaluating the survival and environmental fate of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* SC1 in vineyards in northern Italy. *J. Appl. Microbiol.*, 106(5), 1549-1557.
- Mäder P, et al, Soil fertility and biodiversity in organic farming, *Science* 296(5573): 1694-1697, 2002.
- Mac Nally, R., Fleishman, E. (2004). A successful predictive model of species richness based on indicator species. *Biological Conservation* 18: 646-654.
- MAMANE Ali : Effets sanitaire aigus de l'exposition aux pesticides en milieu rural - étude dans un pays du nord - Thèse présentée pour obtenue le grade de docteur, l'université de bordeaux, France , 2015, P17.
- Matsinos, Y. G., Troumbis, A. Y. (2002). Modeling competition dispersal and effects of disturbance in the dynamics of a grassland community using a cellular automaton model. *Ecological Modelling* in press:
- McQuilken M. et al., 2003. Production of macrospore A by the mycoparasite *Coniothyrium minitans*. *FEMS Microbiol. Lett.*, 2009, 27-31.
- Matteson K.C., Ascher J.S., Langellotto G.A., (2008). Bee richness and abundance in New York city urban gardens. *Entomological Society of America* 101, 140-150.
- Meissle M., Romeis J. & Bigler F., 2011. Bt maize and integrated pest management - a European perspective. *Pest Manage. Sci.*, 67, 1049-1058.
- M. Keifer, R.Mahurin : Chronic neurologic effects of pesticide overexposure, *Occup Med*, 1997.
- Morard, V., Vidal, C., Eiden, G., Lucas, S., Piorr, H.-P., Stott, A., Blom, G., Fjellstad, W., Fais, A. (1999). Landscape indicators. OECD-Room Document No. 3. Paris, OECD Expert Meeting on Biodiversity. Wildlife Habitat and Landscape.

Références bibliographiques

- Moreby SJ, and Southway SE, Influence of autumn applied herbicides on summer and autumn food available to birds in winter wheat fields in southern England, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 72(3): 285-297, 1999.
- M. Porta et E. Zumeta : Implementing the Stockholm treaty on persistent organic pollutants, *Occupational and environmental medicine*, 2002, P 59.
- Muller, S. (2002). Appropriate agricultural management practices required to ensure conservation and biodiversity of environmentally sensitive grassland sites designated under Natura 2000. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 89: 261-266.
- Nystrom B, *et al*, Effects of sulfonylurea herbicides on non-target aquatic micro-organisms – Growth inhibition of micro-algae and short-term inhibition of adenine and thymidine incorporation in periphyton communities, *Aquatic Toxicology* 47(1): 9-22, 1999.
- OCDE, 1999. Indicateurs environnementaux pour l'agriculture. Séminaire sur la Mesure des répercussions de l'agriculture sur l'environnement, du 22 au 25 septembre 1998 à New York.
- OECD (2001). *Environmental Indicators for Agriculture*, vol. 3: Methods and Results. Paris, Publications Service, OECD.
- Ongena M. & Jacques P., 2008. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol.*, 16(3), 115-125.
- Paoletti, M. G. (1995). Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management. *Landscape and Urban Planning* 31: 117-128.
- Peeters, A., Maljean, J., Biala, K., Brouckaer, V. (2004). Les indicateurs de biodiversité en prairie: un outil d'évaluation de la durabilité des systèmes d'élevage. La biodiversité des prairies: un patrimoine - un rôle fonctionnel, Paris, AFPF, 226.
- Pérez A, et al, Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study, *Ecological Applications* 17(8): 2310-2322, 2007.
- Pérez-García A., Romero D. & de Vicente A., 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of *Bacilli* in agriculture. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 22(2), 187-193.

- Pervanchon, F. (2004). Modélisation de l'effet des pratiques agricoles sur la diversité végétale et la valeur agronomique des prairies permanentes en vue de l'élaboration d'indicateurs agri-environnementaux. Thèse en Sciences Agronomiques, INPL Nancy.
- Pesticides Safety Directorate (PSD), and Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), Pesticide poisonings of animals: Annual reports 2001–2007, York, UK.
- Pfleeger T, et al, Effects of low concentrations of herbicides on full-season, field-grown potatoes, *Journal of Environmental Quality* 37: 2070-2082, 2008.
- Pilling ED, and Jepson PC, Synergism between EBI fungicides and a pyrethroid insecticide in the honeybee (*Apis mellifera*), *Pesticide Science* 39(4): 293-297, 2006.
- Piorr, H.-P. (2003). Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98: 17-33.
- Popp J., Petö K. & Nagy J., 2013. Pesticide productivity and food security. A review. *Agron. Sustainable Dev.*, 33, 243-255.
- Preston CD, *et al*, New Atlas of the British and Irish Flora: Executive summary, Oxford 2009.
- Preston C, *et al*, The changing distribution of the flora of the United Kingdom, CEH, Huntingdon 2003.
- Raffaelli, D., Van der Putten, W., Persson, L., Wardle, D., Petchey, O., Koricheva, J., Van der Heijden, M., Mikola, J., Kennedy, T. (2002). Multi-trophic dynamics and ecosystem processes. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. N. S. Loreau M, Inchausti P. Oxford, Oxford University Press. 147-154.
- Reinecke AJ, *et al*, The effects of organic and conventional management practices on feeding activity of soil organisms in vineyards, *African Zoology* 43(1): 66-74, 2008.
- Richards A.J., (2001). Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield ? *Annals of Botany* 88, 165-172.
- Rohr JR, *et al*, Agrochemicals increase trematode infections in a declining amphibian species, *Nature* 455:1235-1239, 2008.
- Rosas-Garcia N.M., 2009. Biopesticide production from *Bacillus thuringiensis*: an environmentally friendly alternative. *Recent Pat. Biotechnol.*, 3(1), 28-36.

- Sabater C, *et al*, Effects of bensulfuron-methyl and cinosulfuron on growth of four freshwater species of phytoplankton, *Chemosphere* 46(7): 953-960, 2002.
- Saidenberg D. et al., 2009. Monoamine oxidase inhibitory activities of indolylalkaloid toxins from the venom of the colonial spider *Parawixia bistrata*: functional characterization of PwTX-I. *Toxicon*, 54(6),717-724.
- Schippers, P., Joenje, W. (2002). Modelling the effect of fertiliser, mowing, disturbance and width on the biodiversity of plant communities of field boundaries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 351-365.
- Schmutterer H., 1990. Properties and potentials of natural pesticides from neem tree. *Annu. Rev. Entomol.*, 35, 271-298.
- Schulz R, Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: A review, *Journal of Environmental Quality* 33(2): 2004.
- Scott-Dupree CD, Conroy L, and Harris CR, Impact of currently used or potentially useful insecticides for Spiegel Online, Bienensterben im Rheintal [Bee poisoning in the Rhine Valley], May16, 2008.
- Sharma H.K., Gupta J.K., Thakur J.R., (2004). Effect of bee pollination and polliniser proportion on apple productivity. *Acta Horticulturae* 662, 451-454.
- Shea, K., Chesson, P. (2002). Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 17: 170-176.
- Shelton A.M., Zhao J.-Z. & Roush R.T., 2002. Economic ecological, food safety, and social consequences of the deployment of BT transgenic plants. *Annu. Rev. Entomol.*, 47, 845-881.
- Silverio F., de Alvarenga E., Moreno S. & Picanco M., 2009. Synthesis and insecticidal activity of new pyrethroids. *Pest Manage. Sci.*, 65, 900-905.
- SOCORRO Joanna : Etude de la réactivité hétérogène de pesticides adsorbés sur des particules modèles atmosphériques : cinétiques et produits de dégradation, Thèse de doctorat, Marseille , 2015, P24.
- Sparling DW, *et al*, Pesticides and amphibian declines in California, USA, *Environmental Toxicology and Chemistry* 20: 1591–1595, 2001.

Références bibliographiques

- Spehn, E., Joshi, J., Schmid, B., Diemer, M., Körner, C. (2000). Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology* 14: 326-337.
- Speight, M. C. D., Castella, E. (2001). An approach to interpretation of lists of insects using digitised biological information about the species. *Journal of Insect Conservation* 5:131-139.
- Srivastava M. & Raizada R., 2007. Lack of toxic effect of technical azadirachtin during postnatal development of rats. *Food Chem. Toxicol.*, 45(3), 465-471.
- Steffan-Dewenter I., Tschardt T., (1999). Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia* 121, 432-440.
- Steiner, N. C., Kohler, W. (2003). Effects of landscape patterns on species richness--a modelling approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98: 353-361.
- Stewart, J. (2002). La modélisation en biologie. Enquête sur le concept de modèle. P. Nouvel. Paris, France, Presses Universitaires de France. 43-66.
- Thakore Y., 2006. The biopesticide market for global agriculture use. *Ind. Biotechnol.*, 2, 194-208.
- Tasei, J. N. 1996. Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, (29), 9-18.
- Tombolini R., Van Der Gaag D., Cerhardson B. & Janssoni J., 1999. Colonization pattern of the biocontrol strain *Pseudomonas chlororaphis* MA 342 on barley seeds visualized by using green fluorescent protein. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(8), 3674-3680.
- TURPIN Nadine, Éric PERRET, Hein TEN BERGE, Tommy D'HOSE et Frits VAN EVERT, 2016. Adapter les pratiques agricoles aux différentes conditions pédoclimatiques : un outil pour agriculteurs et conseillers. Article hors-série numéro 30. 7p.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Interim Reregistration Eligibility Decision (IRED): Atrazine. Washington, D.C. 2006.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Reregistration Eligibility Decision (RED) Hexazinone, Washington, D.C. 1994.

Références bibliographiques

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Risk of hexazinone use to federally threatened California Red Legged Frog (*Rana aurora draytonii*), Washington, D.C. 2008.
- Verro R, *et al*, Predicting pesticide environmental risk in intensive agricultural areas. I: Screening level risk assessment of individual chemicals in surface waters, *Environmental Science and Technology* 43(2): 522-529, 2009.
- Vonesh JR, and Kraus JM, Pesticide alters habitat selection and aquatic community composition, *Oecologia* 160(2): 379-385, 2009.
- Wang C.J. et al., 2012. Induction of drought tolerance in cucumber plants by a consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains. *PLoS One*, 7(12), e52565
- Washburn J., Trudeau D., Wong J. & Volkman L., 2003. Early pathogenesis of *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus and *Helicoverpa zea* single nucleopolyhedrovirus in *Heliothis virescens*: a comparison of the 'M' and 'S' strategies for establishing fatal infection. *J. Gen. Virol.*, 84, 343-351.
- Weddle P., Welter S. & Thomson D., 2009. History of IPM in California pear-50 years of pesticide use and the transition to biologically intensive IPM. *Pest Manage. Sci.*, 65(12), 1287-1292.
- Wickramasinghe LP, et al, Abundance and species richness of nocturnal insects on organic and conventional farms: Effects of agricultural intensification on bat foraging, *Conservation Biology* 18(5): 1283-1292, 2004.
- Wilson, W. L., Abernethy, V. J., Murphy, K. J., Adam, A., McCracken, D. I., Downie, I. S., Yee, T., Mitchell, N. D. (1991). Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science* 2: 587-602.
- Windley M. et al., 2012. Spider-venom peptides as bioinsecticides. *Toxins*, 4, 191-227.
- Xu X., Jeffries P., Pautasso M. & Jeger M., 2011. Combined use of biocontrol agents to manage plant disease in theory and practice. *Phytopathology*, 101(9), 1024-1031.
- Yang EC, et al, Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae), *Journal of Economic Entomology* 101(6):1743-1748, 2008.

Zhang, H., Wu, J. (2002). A statistical thermodynamic model of the organizational order of vegetation. *Ecological Modelling* in press: