



HAL
open science

Biodiversité en territoire de plaine & grandes cultures

Vincent Bretagnolle, Sabrina Gaba, Caitriona Carter, Julia Clause, Luc Doyen, Cyril Eraud, Adrien Rusch, Eléonore Attard, Pierrick Aupinel, Agnes Bardonnnet, et al.

► **To cite this version:**

Vincent Bretagnolle, Sabrina Gaba, Caitriona Carter, Julia Clause, Luc Doyen, et al.. Biodiversité en territoire de plaine & grandes cultures. 2020, pp.378. <hal-03246152>

HAL Id: hal-03246152

<https://hal.inrae.fr/hal-03246152v1>

Submitted on 2 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



CHAPITRE

Biodiversité en territoires de plaine & grandes cultures

• 2 •

Évaluation régionale des connaissances sur les services rendus par la biodiversité au fonctionnement des socio-écosystèmes des plaines agricoles

• • • • •

Ce chapitre propose un état des lieux des connaissances sur le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des socio-écosystèmes de plaine agricole en région Nouvelle-Aquitaine, agroécosystèmes de grandes cultures céréalières et fourragères. L'agriculture est la première activité économique de la région Nouvelle-Aquitaine. Les agro-écosystèmes agricoles abritent une diversité végétale et animale (sauvage ou domestiquée) qui soutient non seulement la production (alimentation humaine et animale) mais fournit aussi d'autres services indispensables à l'ensemble de la société. Ainsi dans ces socio-écosystèmes de production, la biodiversité a des effets positifs directs et indirects sur les biens et productions. La biodiversité, qu'elle soit cultivée ou hébergée, améliore la qualité de la production et, augmente et stabilise les rendements face aux aléas environnementaux. Au-delà des services d'approvisionnement, elle procure aux sociétés humaines dans leur ensemble des services de régulation (épuration de l'eau, fertilité du sol, régulation du climat, contrôle biologique, pollinisation) et des services socio-culturels (hébergement d'espèces emblématiques, ressources pour les activités récréatives) qui dépassent la dimension de production de biens. Les bénéfices économiques, environnementaux et culturels que la société retire des services fournis par la biodiversité ont à la fois des valeurs marchandes et non marchandes. Les services d'approvisionnement sont étroitement liés au marché et génèrent des bénéfices économiques : la biodiversité a donc une valeur marchande pour les exploitants. D'autres services qui ne reposent pas sur l'exploitation des ressources naturelles ont une valeur patrimoniale et culturelle bénéficiant non seulement au citoyen du territoire, mais également à la société dans son ensemble. Bien qu'ils soient façonnés et exploités par l'humain, les écosystèmes agricoles abritent une riche diversité biologique. Mais de nombreuses études démontrent le déclin accéléré d'un grand nombre d'espèces végétales ou animales. L'intensification des pratiques agricoles via le recours massif aux intrants chimiques (pesticides et fertilisants), la mécanisation des travaux agricoles, l'uniformisation des paysages et l'introduction d'espèces envahissantes entraînent cependant au déclin de la biodiversité dans ces écosystèmes.

1 Le socio-écosystème des plaines agricoles en région Nouvelle-Aquitaine 4

2 La recherche régionale sur la biodiversité en plaine agricole, Région Nouvelle-Aquitaine 8

3 Rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des agroécosystèmes de grandes cultures 11

3.1. RÔLE DE LA BIODIVERSITÉ DANS LE FONCTIONNEMENT DES AGROÉCOSYSTÈMES DE GRANDES CULTURES 12

3.1.1. Rôle de la biodiversité pour la production de céréales et de fourrage 12

3.1.2. Rôle de la diversité floristique en production apicole 14

3.2. LA BIODIVERSITÉ EN TANT QUE SUPPORT INDIRECT DE PRODUCTION 16

3.2.1. Biodiversité, qualité des sols et recyclage de la matière organique 16

3.2.2. Régulation biologique des plantes adventices 19

3.2.3. Contrôle biologique des ravageurs des cultures et des agents pathogènes par les ennemis naturels 21

3.2.4. Pollinisation des cultures et de la flore sauvage 24

3.3. BIODIVERSITÉ ET SERVICES DE RÉGULATION : GAZ À EFFET DE SERRE ET ÉPURATION DE L'EAU ET DE L'AIR 26

3.3.1. Séquestration du carbone et émissions de protoxyde d'azote (N₂O) 26

3.3.2. Épuration de l'eau et de l'air 27

3.3.3. Limitation de l'érosion des sols 29

3.4. BIODIVERSITÉ, PAYSAGES ET RESSOURCES PRÉLEVÉES EN TANT QUE BIENS 30

3.4.1. Biodiversité hébergée par les agroécosystèmes de grandes cultures 30

3.4.2. Diversité des écosystèmes et des paysages en milieu de plaines agricoles 32

3.4.3. Ressources avec prélèvement (chasse, pêche, cueillette) 32

4 Les valeurs de la biodiversité dans le socio-écosystème de plaine agricole 35

4.1. VALEUR MARCHANDE DE LA BIODIVERSITÉ POUR LES AGRICULTEURS ET LES FILIÈRES AGRICOLES ET APICOLES 36

4.2. TERRITOIRE ET SOCIÉTÉ : VALEURS CULTURELLES ET PATRIMONIALES DE LA BIODIVERSITÉ EN PLAINES AGRICOLE 37

5 État de la biodiversité dans le socio-écosystème des plaines agricoles 39

5.1. EFFETS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA BIODIVERSITÉ : FERTILISANTS, PESTICIDES, TRAVAIL DU SOL 40

5.2. DISPARITION DES ÉLÉMENTS SEMI-NATURELS, HOMOGENÉISATION DES PAYSAGES 42

5.3. INTERACTIONS AVEC DES ESPÈCES EXOTIQUES ET ENVAHISSANTES 44

6 Références régionales 46

7 Références internationales 48

Coordination scientifique :
Vincent Bretagnolle¹ et Sabrina Gaba²

Coordination éditoriale :
Théo Rouhette, Cécile Bâcles

Remerciements :
Yvon Billon, Philippe Blondeau, Roland Raimond

1) vincent.bretagnolle@cebc.cnrs.fr (Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CEBC), CNRS, Villiers-en-Bois)
2) sabrina.gaba@inra.fr (Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CEBC), CNRS, Villiers-en-Bois)

Rédacteurs :
Vincent Bretagnolle, Caitriona Carter, Julia Clause, Luc Doyen, Cyril Eraud, Sabrina Gaba, Adrien Rusch, Eléonore Attard, Pierrick Aupinel, Agnès Bardonnnet (copil), Elsa Berthet, Didier Bouchon, Abad Chabbi, Philippe Deuffic (copil), Sylvie Ferrari, Pascale Garcia (copil), François Gastal, Frédéric Grandjean, Jérôme Labanowski, Gilles Lemaire, Isabelle Litrico, Lauriane Mouysset, Karine Monceau, Leslie Mondamert, Thomas Nesme, Sylvain Pellerin, Jean-François Odoux, Thomas Perrot, Marion Rabiet (copil), Tina Rambolinaza, Fabrice Requier, Frédéric Revers (copil), Mohamed Taabni, Denis Thiery, Aude Vialatte

1

Le socio-écosystème des plaines agricoles en région Nouvelle-Aquitaine

Les plaines agricoles maillent le territoire régional où les terres arables représentent la première occupation agricole du sol

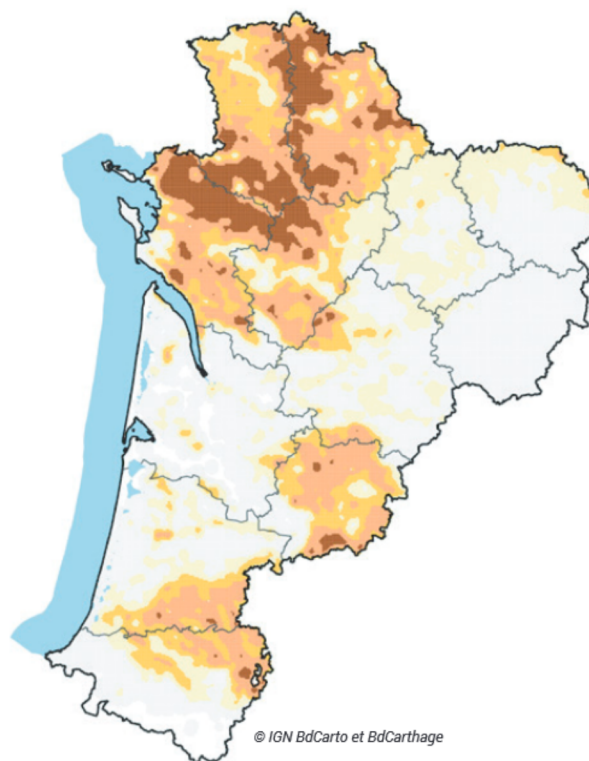
L'agriculture est une activité majeure de Nouvelle-Aquitaine dont elle occupe 46% du territoire, soit 15% du territoire agricole métropolitain. Elle est particulièrement présente au nord, où elle couvre entre les deux tiers et les trois quarts de l'espace départemental (départements des Deux-Sèvres, Vienne et Charente-Maritime) alors que, plus au sud, la forêt représente la première occupation du sol, dans les Landes surtout (environ 60 % de l'espace) mais aussi en Gironde, en Corrèze et en Dordogne (45 % de l'espace). En Nouvelle-Aquitaine, les conditions pédo-climatiques variées génèrent une grande diversité et complémentarité de productions agricoles (Figure 2.1).

Cependant, les terres arables, c'est-à-dire les terres labourables propices à l'implantation de cultures annuelles en rotation dites « grandes cultures » comme les céréales, les oléo-protéagineux, les cultures industrielles, les cultures légumières et horticoles ainsi que les cultures fourragères (prairies temporaires hors surface toujours en herbe (STH) qui désignent les prairies permanentes), constituent 42% (auxquels il faut ajouter 23% de prairies temporaires) de la surface agricole utile (SAU; soit 2,6 Mha) régionale, souvent caractérisée par des paysages plats avec des parcelles de grande taille et une faible diversité d'habitats (Figure 2.2).

25% des exploitations recensées ont une orientation technico-économique (OTEX) « grandes cultures » et 15% d'entre-elles sont en polyculture-polyélevage (DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2016). La part des terres arables est prédominante dans les départements du nord-ouest de la région ainsi que dans les Landes (hors forêts) et le Lot-et-Garonne où elle représente plus des trois quarts de la SAU. Ainsi, dans les plaines des quatre départements du nord-ouest de la région et du Lot-et Garonne, l'orientation des exploitations est assez fréquemment tournée vers les grandes cultures ou la polyculture-polyélevage (pour plus d'information voir DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2016).

FIGURE 2.1

L'utilisation agricole des sols en Région Nouvelle-Aquitaine. Hors littoral, 46% du territoire régional est occupé par la SAU des exploitations agricoles (source Agreste SAA 2018) et 67% de la surface agricole utile (SAU) est composée de terres arables et de prairies temporaires, c'est-à-dire de terres labourables propices à l'implantation de cultures annuelles en rotation comme les céréales, les oléo-protéagineux, les cultures industrielles, les cultures légumières et horticoles ainsi que les cultures fourragères hors surface toujours en herbe (prairies permanentes), à mettre en lien avec la qualité des sols (Atlas régional, 2016). Dans les Landes, la forêt (non représentée) occupe 60% du sol.



Surface en COP par km² de territoire

- Plus de 60 ha
- De 40 à moins de 60 ha
- De 25 à moins de 40 ha

- De 10 à moins de 25 ha
- Moins de 10 ha

© IGN BdCarto et BdCarthage

Les céréales occupent 1,3 Mha soit un tiers de la SAU régionale pour une production qui avoisine les 9 Mt (DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017). À l'échelle régionale, on distingue trois bassins de production de grandes cultures céréalières (hors productions légumières et polyculture-polyélevage; FranceAgriMer, 2018) avec dans les départements du nord-ouest, un assolement dominé par le blé tendre, le colza et le tournesol alors que le sud des Landes est dominé par la culture du maïs ainsi que dans le Lot-et-Garonne, dominé aussi par le blé. Le Limousin est un bassin de production de grandes cultures moins important et plus diversifié, et l'assolement agricole du littoral Landais aux sols sableux est consacré majoritairement aux productions légumières telles que les carottes et les asperges et au maïs grain et semence.

FIGURE
2.2

Paysage de plaine céréalière dans les Deux-Sèvres à la fin du printemps, représentant de grandes parcelles semées en céréales, du blé au premier plan. Cà et là, des éléments semi-naturels ont été conservés (haies arbustives et bosquets) particulièrement à l'abord des cours d'eau et des villages (en arrière-plan). Différentes espèces et communautés d'espèces habitent ce paysage. Au premier plan, un champ de blé cultivé en agriculture biologique (AB) est un habitat propice pour les espèces végétales messicoles comme le coquelicot, qui en période de floraison est une ressource essentielle pour les abeilles domestiques.



En grandes-cultures céréalières et oléo-protéagineuses, la région Nouvelle-Aquitaine est la première Région de production de tournesol et de maïs, culture qui domine la production régionale de céréales avec plus de 5Mt produites annuellement.

La valeur de la production de céréales et oléo-protéagineux représente environ 16% du total de la valeur de la production agricole régionale et se place en deuxième position derrière la production de vin avec un poids économique majeur pour sept des douze départements néo-aquitains que sont la Vienne, la Charente-Maritime, les Deux-Sèvres, les Landes, la Charente, le Lot-et-Garonne et les Pyrénées-Atlantiques. La région se place au premier rang de la collecte de tournesol (0.4 Mt en 2016; FranceAgriMer, 2017), mais les productions les plus importantes sont celles de blé tendre (3,2 Mt) et surtout de maïs grain (4,2Mt), et 17 700 hectares de maïs doux cultivés (données 2013). Si l'activité de grandes cultures est peu utilisatrice de main-d'œuvre (14% de la main d'œuvre pour 30% de la SA), elle génère une activité régionale de transformation agro-alimentaire conséquente qui emploie près de 500 salariés majoritairement dans des PME principalement localisées en Corrèze, Deux-Sèvres et Gironde, en particulier en meunerie avec 5 moulins en activité et

0.4 MT de farines produites et 83% de ces farines est destiné à la boulangerie et aux industries alimentaires. L'activité portuaire régionale est également favorisée par l'exportation de maïs grain vers l'Union Européenne principalement, et le blé vers l'Afrique du Nord (31% et 46% des expéditions respectivement; FranceAgriMer, 2017). Hormis la transformation de farines pour l'alimentation humaine, 3% de la transformation (correspondant à 1,4 Mt de céréales et oléo-protéagineux produits en 2016; FranceAgriMer, 2017) est destinée à la fabrication d'aliments pour le bétail. L'activité de polyculture-polyélevage participe également au paysage de plaine agricole de terres arables avec 45% de la SAU régionale consacrés aux cultures qui participent à l'autonomie fourragère des exploitations, avec en particulier la production de maïs fourrage et ensilage (4% des fourrages) et la culture de prairies temporaires, de luzerne par exemple, qui peuvent également être récoltés.

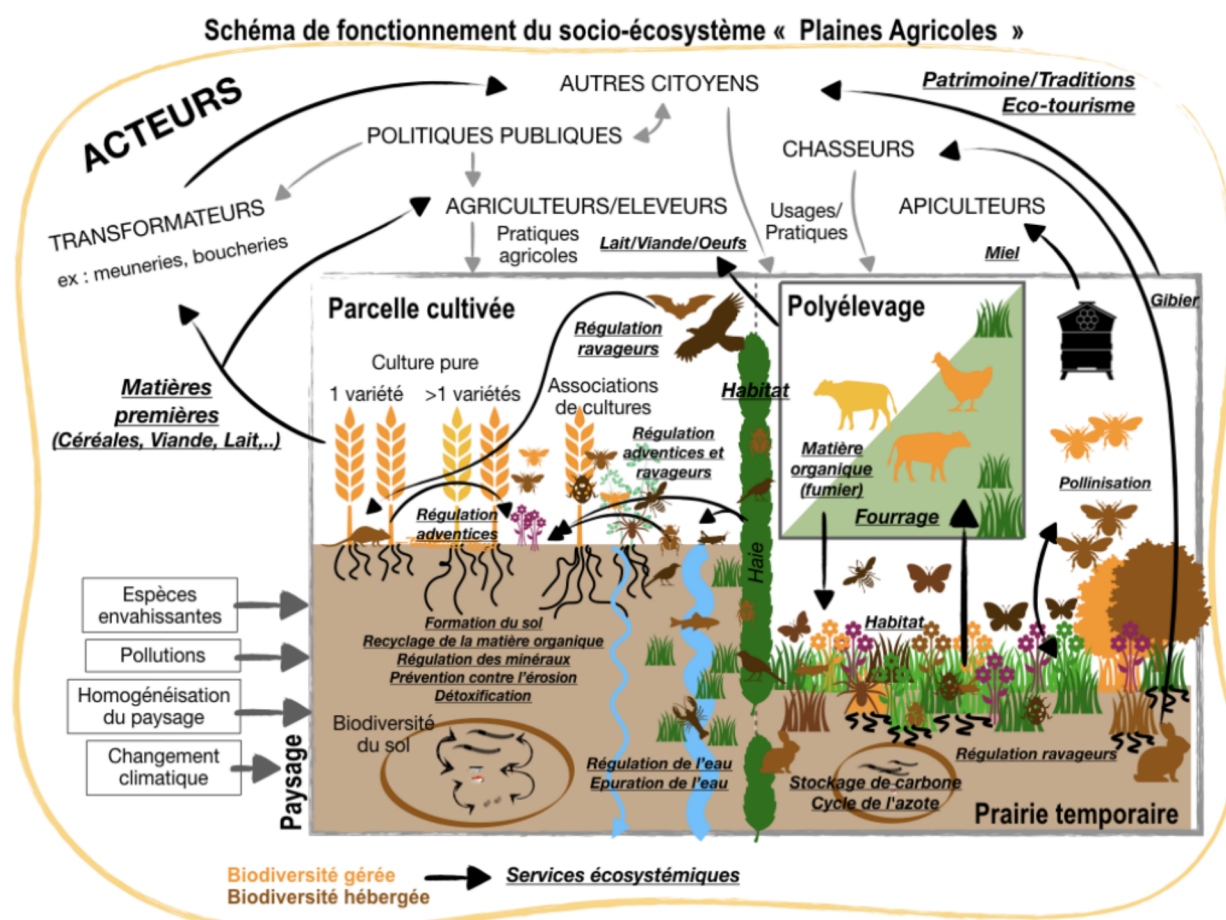
Le socio-écosystème de plaine agricole, un espace de production agricole et de biodiversité aux usages multiples

Le paysage des plaines agricoles est structuré par les activités de production de grandes cultures et de polyculture-polyélevage aux enjeux économiques majeurs pour le territoire. Cependant, le socio-écosystème de plaine agricole est le théâtre de nombreuses autres activités économiques et socio-culturelles au centre desquelles se place la biodiversité des plaines agricoles (Figure 2.3). Par exemple, la production de produits de la ruche en apiculture dépend des sources de pollen et de nectar disponibles pour le rucher constitué de colonies d'abeille domestique. D'autres espèces inféodées aux plaines agricoles, les oiseaux de plaine en particulier, comme l'outarde canepetière, l'alouette des champs ou l'œdicnème criard, ou qui y trouvent des ressources alimentaires comme le sanglier ou le chevreuil en lisière de bois, fournissent des services socio-culturels

à travers des activités sociales, de découverte naturaliste, de chasse ou encore de tourisme rural. Ces usages multiples et attentes diverses de la société mettent en jeu un ensemble complexe d'interactions entre biodiversité et société dans le fonctionnement des écosystèmes de plaine agricole. Le caractère hétérogène des attentes des acteurs des plaines agricoles peut être source de conflits entre les usages, chacun recherchant une fonction écosystémique ou un service éventuellement différent. Un exemple flagrant est celui qui peut exister entre usage naturaliste et usage agricole avec un déclin continu des populations françaises d'oiseaux des milieux agricoles observé (depuis le début environ 25 ans en France, *Jiguet et al., 2012*).

FIGURE 2.3

Représentation schématique simplifiée d'un socio-écosystème de plaine agricole en Nouvelle-Aquitaine où la biodiversité et la société sont en interaction à la fois à travers le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement de l'écosystème et de la provision de services écosystémiques et le rôle des acteurs du territoire qui influencent ce fonctionnement par l'exploitation agricole ou l'apiculture et les activités socio-culturelles auxquelles ils participent. En plaine agricole de Nouvelle-Aquitaine, on trouve une activité importante de chasse, de tourisme rural et également une activité naturaliste développée autour de l'observation d'espèces d'oiseaux protégées comme l'outarde canepetière ou l'œdicnème criard.



Parmi les causes multiples qui expliquent ce déclin, l'intensification de l'agriculture est avancée en premier parce qu'elle a entraîné une homogénéisation des paysages et une diminution des ressources alimentaires avec l'utilisation accrue des produits phytopharmaceutiques (Godfray et al., 2012; Tilman et al., 2002). Régionalement, les ventes de produits phytopharmaceutiques (QPC) ont progressé entre 2013 et 2014 de 9,6 % et les quantités de substances actives (QSA) vendues en Nouvelle-Aquitaine représentent plus de 1/5e des produits phytopharmaceutiques vendus en France avec 13 365 tonnes en 2014 (dont 13% en Agriculture Biologique) pour une SAU de 4,2 M d'ha soit 3,18 kg/ha. En territoire de grandes cultures et polyculture-polyélevage, les herbicides sont la catégorie de produits phytopharmaceutiques la plus utilisée, dans la Vienne et en Deux-Sèvres notamment (DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017), non seulement en grandes cultures mais aussi, plus curieusement, dans les prairies temporaires fourragères (DRAAF Nouvelle-Aquitaine 2017), suivi des insecticides en zone de culture du maïs où la pyrale et la sésamie sont présentes (DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017).

Les herbicides représentent un risque majeur de contamination aquatique étant donné leur solubilité en milieu aqueux et les conditions climatiques régionales qui favorisent leur diffusion. L'Atrazine, interdite en Europe depuis 2003, reste encore l'herbicide le plus fréquemment détecté dans les analyses d'eau. En région Nouvelle-Aquitaine, marquée par trois types de climat (océanique en zone littoral, océanique altéré et de montagne sur les contreforts des Pyrénées et du Massif Central), le climat océanique domine et apporte une pluviométrie assez importante et favorise la pollution diffuse, source de contamination des eaux continentales. Cours d'eau, eaux souterraines et zones littorales. Les bassins les plus touchés (Adour, Garonne, et plus globalement l'ex Poitou-Charentes) correspondent aux zones de grandes cultures (céréales à

paille et maïs) qui sont impactés par la présence et le dépassement de la limite du bon état chimique de 0,1 µg/l par molécule (DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2017). Le bon état chimique des eaux douces est un enjeu territorial qui reflète ses multiples usages, de la fourniture d'une eau potable aux habitants, à la disponibilité d'habitats aquatiques compatibles avec le fonctionnement des écosystèmes et à la présence d'espèces remarquables comme l'écrevisse à patte blanche ou les poissons migrateurs tels que la truite et le saumon atlantique et les activités de pêche récréative. Outre la qualité de l'eau, la quantité d'eau douce disponible peut également être source de conflit entre les usages. L'accès à la ressource en eau est contrasté régionalement avec des mesures d'irrigation particulières pour l'agriculture, notamment pour le maïs, principale culture irriguée (50% des surfaces irrigables dans les Landes et 30% en Lot et Garonne mais quasi-nul en Corrèze, Creuse et Haute-Vienne, voir DRAAF Nouvelle-Aquitaine, 2016). Cet usage de l'eau entre en conflit avec d'autres besoins en eau pour le fonctionnement des écosystèmes, tout particulièrement dans les départements où l'accès à la ressource en eau est limité.

Qu'il s'inscrive dans une logique de filière, de secteur ou de territoire, l'enjeu du socio-écosystème de plaine agricole est donc de concilier les différents usages en lien avec la préservation de la biodiversité dont ils dépendent. Un enjeu qui justifie la démarche de synthèse des connaissances scientifiques sur le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement du socio-écosystème de plaine agricole dans laquelle s'inscrit **Ecobiose**.



Colza ©Vincent Bretagnolle

2

La recherche régionale sur la biodiversité en plaine agricole, Région Nouvelle-Aquitaine

La synthèse bibliographique réalisée (voir méthodes dans l'introduction du rapport) résumant les connaissances scientifiques régionales sur les relations biodiversité, fonctionnement et fourniture de services écosystémiques en socio-écosystème de plaine agricole nous a amené à retenir **232 références bibliographiques** (Figure 2.4) exclusivement régionales, parmi lesquelles figurent des recherches observationnelles et expérimentales réalisées dans le cadre d'infrastructures de recherche régionales dédiées (Encadré 2).

420 RÉFÉRENCES AU TOTAL, DONT :

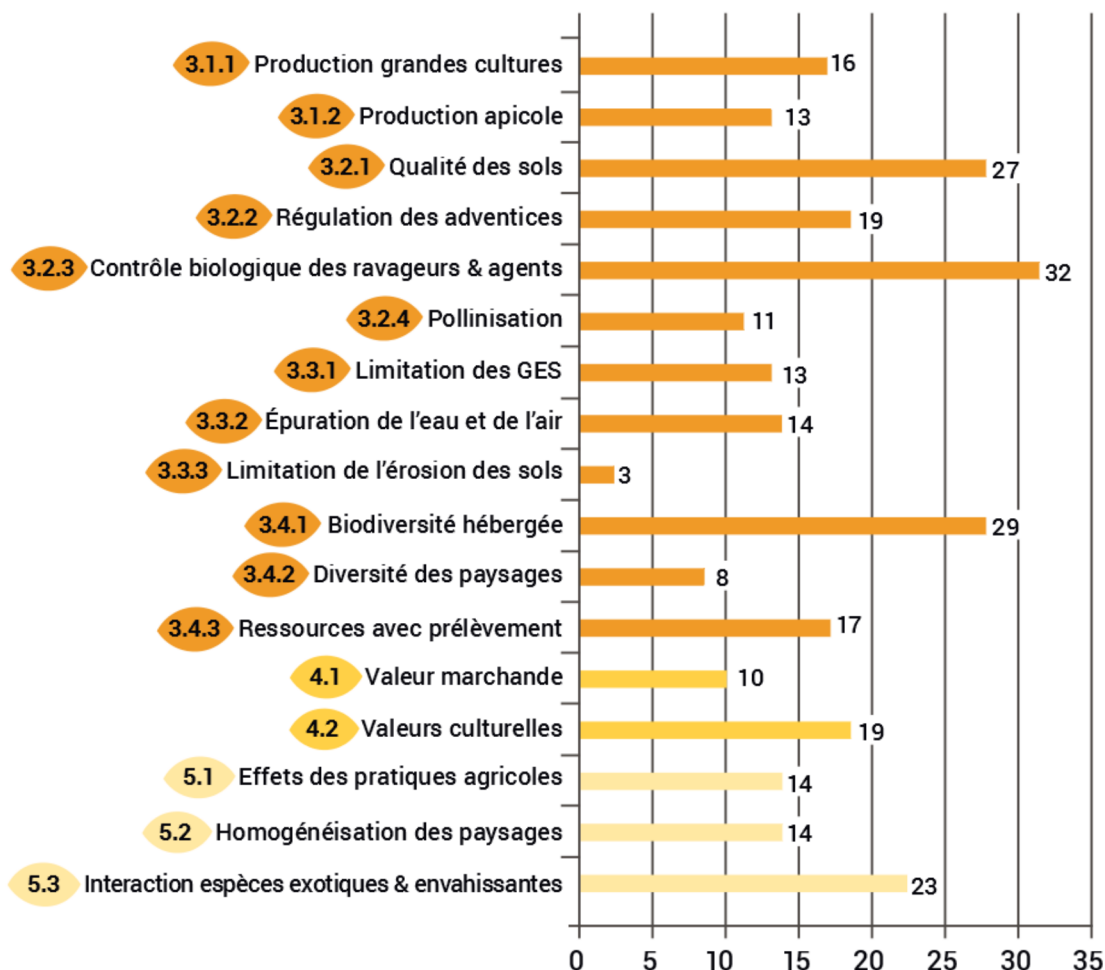


232 références « régionales »



188 références « internationales »

FIGURE 2.4 Répartition des références régionales par sous-section du chapitre



ENCADRÉ 2

Des infrastructures dédiées aux recherches sur les liens entre biodiversité et pratiques agricoles en grandes cultures et polyculture-polyélevage en Nouvelle-Aquitaine

Zone-Atelier Plaine & Val de Sèvre ZA PVS (CEBC CNRS & Université de La Rochelle ; INRA)

La Zone Atelier « Plaine & Val de Sèvre » (ZA PVS) est un dispositif de recherche action visant à comprendre le fonctionnement du socio-écosystème agricole afin de proposer un nouveau modèle agricole basée sur le principe de l'agroécologie sensu lato (Bretagnolle et al., 2018b;c). Ce dispositif est une plaine céréalière au sud de Niort (Deux-Sèvres) qui s'étend sur 450km² comprenant environ 430 exploitations agricoles, 13000 parcelles agricoles, dont l'occupation des sols exhaustive a été inventoriée depuis 1994. La moitié de sa superficie est classée comme site Natura 2000, désigné pour la biodiversité remarquable des espèces de la Directive Oiseaux, notamment l'œdicnème criard, l'outarde canepetière et le busard des roseaux. La ZA PVS est un observatoire de la biodiversité, des pratiques agricoles et des effets de ces dernières sur la biodiversité et les fonctions associées. L'essentiel du réseau trophique est suivi chaque année, à l'aide de dispositifs d'échantillonnage spatialement explicites : plantes (adventices, messicoles), insectes (carabes, orthoptères, abeilles, pucerons), micromammifères, oiseaux (passereaux et espèces patrimoniales) et différents fonctions/services écosystémiques y sont également mesurés (pollinisation, prédation des graines, prédation des pucerons, conservation des oiseaux, plantes et insectes patrimoniaux). La ZA PVS engage une collaboration entre les acteurs de la recherche, les agriculteurs en grandes cultures ou polyculture-polyélevage et les apiculteurs ainsi que l'ensemble des habitants de ce territoire via une démarche de sciences citoyennes réfléchissant au rôle de la biodiversité dans l'expression et le maintien de certains services écosystémiques, et à l'importance des liens de solidarité pour favoriser une alimentation locale. (Figure 2.5, d'après Bretagnolle et al., 2018c).

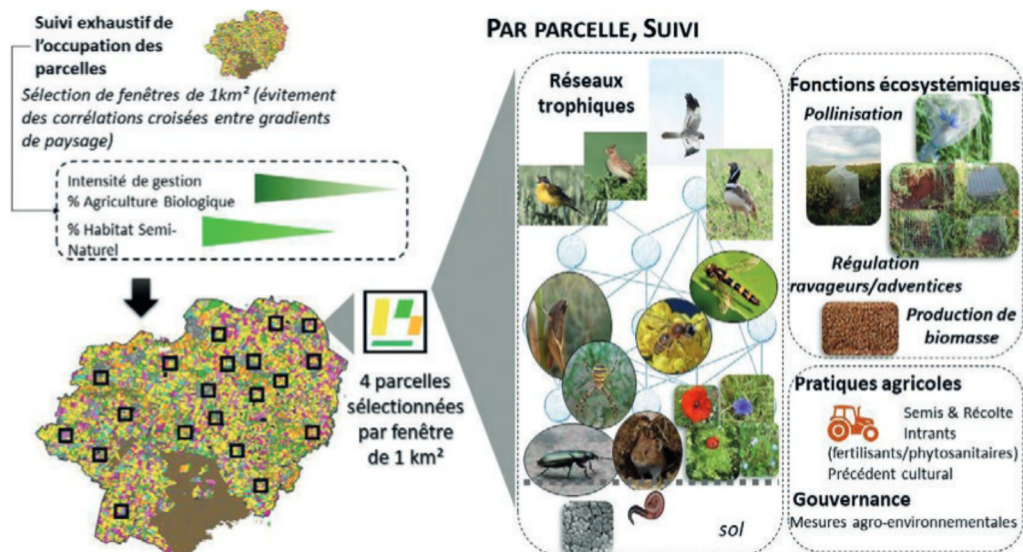


FIGURE 2.5

Stratégie de suivi de la biodiversité en ZA PVS depuis 2013 (d'après Bretagnolle et al. 2018a).

Dispositif ECOBEE (INRA Le Magneraud, CEBC CNRS & Université de La Rochelle)

L'abeille domestique est un indicateur des services écosystémiques rendus à un territoire. ECOBEE est un outil original pour mener des expérimentations en plaine céréalière sur les interactions entre les caractéristiques des colonies, celles des paysages et les contraintes environnementales. Créé en 2008, ECOBEE permet de suivre l'évolution des colonies dans une zone de grande culture au cours d'une saison ou sur plusieurs années, de faciliter des actions de recherche ponctuelles pour tester des hypothèses spécifiques et des questions d'actualité, d'apporter des outils pour évaluer les effets de la politique agricole sur les insectes pollinisateurs. ECOBEE est déployé sur la ZA PVS, avec 10 ruchers de 5 colonies d'abeille domestique conduit par l'UE Apis (INRA Le Magneraud). Chaque année, les dix ruchers sont placés d'avril à octobre dans des paysages contrastés de la ZA PVS. Les cinq ruches de chaque rucher sont placées dans un cercle de 250m de rayon, et des paramètres de suivi des colonies et de récolte de pollen sont réalisés sur la saison. Le pollen ramené par les butineuses est analysé au laboratoire de palynologie (UE Apis INRA Le Magneraud) pour caractériser les ressources florales des abeilles (Odoux et al., 2014).

Dispositif ORE (INRA Lusignan)

Le dispositif observatoire expérimental de l'INRA Lusignan, inscrit dans le cadre des dispositifs long terme labellisés par le Ministère de la Recherche (SOERE ACBB : Agroécosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité), a pour objectif l'étude des cycles biogéochimiques, du stockage de la matière organique, des émissions de gaz à effet de serre et du lessivage d'éléments sous cultures. Il étudie également leurs conséquences sur la qualité des eaux et la biodiversité, en fonction de diverses pratiques de gestion agricole : rotations prairies-cultures faisant varier expérimentalement la durée de la phase prairie dans les rotations, les modalités de gestion des prairies (fertilisation, fauche ou pâturage) et la diversité végétale (graminées et/ou légumineuses). Ce dispositif a été mis en place et est étudié depuis 2005. Il est ouvert aux communautés scientifiques régionales, nationales et internationales.

Dispositif OasYs (INRA Lusignan)

Le dispositif OasYs de l'INRA de Lusignan, a pour objectif de concevoir et d'évaluer un système de production laitière adapté au contexte de ressource en eau limitée et aux contraintes et aléas climatiques croissants qui caractérisent une partie de la Région Nouvelle-Aquitaine, tout en contribuant à une agriculture durable. La démarche expérimentale repose sur une approche agroécologique globale à l'échelle de l'exploitation agricole, basée sur le principe de diversification des espèces et des pratiques afin de favoriser la biodiversité et de valoriser au mieux les ressources naturelles. Les leviers mis en œuvre incluent notamment : a) la diversification des ressources fourragères et des rotations (prairies multi-espèces, cultures résistantes à la sécheresse (ex: sorgho); b) le développement du pâturage et des légumineuses annuelles et pérennes; c) la mise en place d'une agroforesterie d'élevage, source de diversification fourragère, de meilleure valorisation des ressources du milieu, et de protection des animaux; d) la diversification des vaches laitières (croisées trois voies Holstein x Jersiaise x Rouge Scandinave) et de la stratégie de leur reproduction et de leur carrière.

Dispositif PatuCHEV (INRA Lusignan)

Dans l'optique d'une amélioration de l'autonomie et de la durabilité des systèmes agricoles, l'herbe semble être la ressource fourragère la plus naturellement adaptable aux différentes conditions pédoclimatiques françaises et permet d'améliorer l'autonomie alimentaire grâce à son équilibre en énergie et protéines (Agabriel, 2010). Pour répondre à l'enjeu de durabilité de la filière caprine, l'INRA a donc créé en 2013 le dispositif PatuCHEV (INRA Lusignan) pour comprendre les mécanismes et interactions entre choix techniques de systèmes caprins laitiers valorisant l'herbe sous forme pâturée ou conservée (Caillat et al., 2013). Un suivi sur le long terme est réalisé sur trois types de conduites d'élevage caractérisées par la période de reproduction et la conduite alimentaire, en appliquant les principes de l'agroécologie (Caillat et al., 2016). Chacun de ces trois systèmes indépendants est constitué d'un troupeau de 60 chèvres de race alpine et de 10 hectares de parcelles cultivées. Les trois systèmes sont évalués sur trois composantes de durabilité pendant plusieurs années. Les indicateurs mobilisés concernent les lactations, la carrière des chèvres et les rotations culturales. Sont mesurés en routine, des composantes zootechniques (production laitière, reproduction, note d'état corporel et sanitaire), agronomiques (production des prairies et des cultures, volumes d'effluents, flux et bilans élémentaires, itinéraires techniques), environnementales (consommation d'énergie, biodiversité, émissions de GES), économiques (matière brute produite à l'hectare, marge brute), sociales (charge de travail, bien-être animal, qualité des produits).

3

Rôles de la biodiversité dans le fonctionnement des agroécosystèmes de grandes cultures

Dans les agroécosystèmes de plaine dominée par des terres arables propices aux grandes cultures annuelles céréalières et fourragères, les rôles de la biodiversité dans leur fonctionnement sont multiples.

En premier lieu la fonction majeure de ces agroécosystèmes est la production de matière végétale pour la fourniture de services dits « d'approvisionnement », pour l'alimentation humaine, l'alimentation des animaux d'élevage, ou pour utilisation sous forme de biomasse-énergie. La production alimentaire mondiale dépend de la biodiversité : 82% des calories de l'alimentation humaine sont fournies par des plantes terrestres et 16% par les animaux terrestres (60% des protéines provenant de plantes terrestres et 33% d'animaux terrestres (FAOSTAT, 2019). La biodiversité influence de façon directe et indirecte cette fonction de production. Directement d'abord, par la diversité des espèces ou des variétés cultivées qui agit comme support de production. Indirectement ensuite, par son rôle dans les fonctions intermédiaires engendrant ce que l'on appelle des fonctions écosystémiques supports car à la base du fonctionnement de l'écosystème. La biodiversité et les fonctions intermédiaires qu'elle permet, soutiennent la production par exemple via la pollinisation des cultures, le recyclage de la matière organique du sol, ou encore le contrôle des maladies et des ravageurs des cultures. La biodiversité à l'échelle des paysages peut par ailleurs contribuer elle aussi aux fonctions intermédiaires : en effet dans un paysage fortement uniformisé, caractéristique du milieu de grandes cultures conduites de façon intensive, les éléments semi-naturels (haies, prairies) sont essentiels en tant qu'habitat abritant une part importante de cette biodiversité dite fonctionnelle.

Les exemples de services considérés ci-dessus sont donc des services rendus aux agriculteurs, qu'ils soient directs ou indirects.

Par ailleurs en région Nouvelle-Aquitaine comme ailleurs, les agroécosystèmes sont par nature très anthropisés, engendrant des perturbations environnementales (intrants, travail du sol, simplification des paysages) non favorables à la biodiversité. Ceci impacte la provision de services provenant de la biodiversité à la fois pour l'agriculture et plus généralement pour la société puisque la biodiversité contribue à la régulation du fonctionnement de ces écosystèmes, à travers des fonctions de régulation comme l'épuration de l'eau ou la prévention de l'érosion des sols. De plus, si la production des grandes cultures ou les systèmes de polyculture-polyélevage sont des activités économiques structurantes du socio-écosystème de plaine de grande culture, de nombreuses autres activités y contribuent, en particulier récréatives, comme la chasse ou l'écotourisme. Ces activités relèvent de la provision de services dits « socio-culturels » à laquelle la diversité des éléments du paysage ou des espèces qui l'habitent contribue largement.

Ces catégories de services qui dépassent la dimension de production de biens, sont des services rendus à la société dans son ensemble.

Ci-après, nous présentons un état des lieux des connaissances scientifiques régionales disponibles sur le rôle de la biodiversité dans la fourniture de services d'approvisionnement (production agricole et apicole), de services de régulation, et enfin de services socio-culturels.

3.1. LA BIODIVERSITÉ EN TANT QUE SUPPORT DIRECT DE PRODUCTION AGRICOLE

3.1.1. Rôle de la biodiversité pour la production de céréales et de fourrage



Une longue controverse scientifique a concerné l'existence ou non d'une relation positive entre biodiversité et production de biomasse végétale (Hector et al., 1999; Tilman et al., 2001). Un consensus émerge aujourd'hui : la diversité végétale est un facteur favorable à la production agricole et/ou à sa stabilité face aux contraintes environnementales (variabilité climatique, pratiques agricoles), diversité végétale qui peut être déclinée à tous les niveaux (génétique, spécifique) et à plusieurs échelles temporelles (année culturale, rotation culturale) ou spatiale (parcelle, paysage). La diversité spécifique dans les prairies, mesurée par la richesse en espèces, permet une augmentation de la biomasse produite, et diminue la variabilité interannuelle de cette production de biomasse tout en améliorant les services écosystémiques fournis (Cardinale et al., 2007; Hector et al., 2010; Gross et al., 2014; Isbell et al., 2017). Mais cette relation dépend des écosystèmes : la biodiversité augmente avec la productivité dans les milieux pauvres car l'augmentation du nombre d'espèces permet une meilleure exploitation des ressources grâce aux complémentarités d'utilisation de ressources, tandis qu'elle décroît dans les milieux riches du fait de la compétition pour la lumière (Fraser et al., 2015). De plus la plupart des études sont issues d'analyses corrélatives conduites sur des pas de temps assez courts (<10 ans) dont l'interprétation fonctionnelle est difficile (Silvertown et al., 2010). La diversité dans les cultures peut être introduite à différents niveaux : plusieurs espèces cultivées dans une même parcelle, plusieurs varié-

tés d'une même espèce cultivée, ou des successions diversifiées dans le temps. Ainsi la présence de légumineuses dans les associations végétales (céréales-protéagineux) et dans les successions culturales, réduit le besoin en fertilisants azotés (Suter et al., 2015), et augmente la production en grandes cultures (par exemple les mélanges de blé et de pois : Pelzer et al., 2012; Bedoussac et al., 2015; Cadoux et al., 2015). L'association de deux cultures apporte des avantages basés sur les principes écologiques de la facilitation, de la complémentarité et de la compensation via un rendement plus élevé grâce à une utilisation plus efficace et complémentaire des ressources disponibles (Gaba et al., 2015; Hauggaard-Nielsen et al., 2008; Vandermeer et al., 1998). Par ailleurs les associations de cultures présentent une stabilité de rendement supérieure aux deux cultures prises séparément. Une méta-analyse mondiale vient de démontrer que les rotations culturales plus diversifiées augmentaient la stabilité de la production (Renard & Tilman, 2019). La diversité des génotypes (ou variétés) semées pour une même culture, pure ou en association, permet aussi d'augmenter encore la stabilité de la production et la résistance aux maladies dans les cultures en général (Zhu et al., 2000) et chez le blé en particulier (Belhaj Fraj, 2003; Borg et al., 2018). Favoriser la diversité des agroécosystèmes permet d'augmenter à la fois la résilience des exploitations au changement climatique et aux pressions environnementales, en améliorant leurs résultats économiques en stabilisant les rendements (FAO, 2018).



Des études menées sur ce thème à l'Unité de recherches Inra de Lusignan (Vienne) confirment ces effets de la diversité en milieux prairiaux, qu'elle soit génétique ou spécifique (Litrico et al., 2016; Maamouri et al., 2017; Prieto et al., 2015) (Figure 2.6). L'augmentation de la diversité spécifique améliore la production primaire (de +10% à +81% en fonction des zones d'études et de la sécheresse) et tend à limiter la variabilité interannuelle des fourrages en prairies semées pour des qualités de fourrages similaires, en particulier dans le cas d'associations multi-espèces avec des légumineuses (Protein et al., 2014; Durand et al., 2016). La diversité génétique des espèces (graminées et légumineuses) utilisées en mélanges dans les prairies temporaires joue en effet un rôle clé dans les processus de sélection qui sont à la base des effets bénéfiques de la diversité spécifique (Prieto

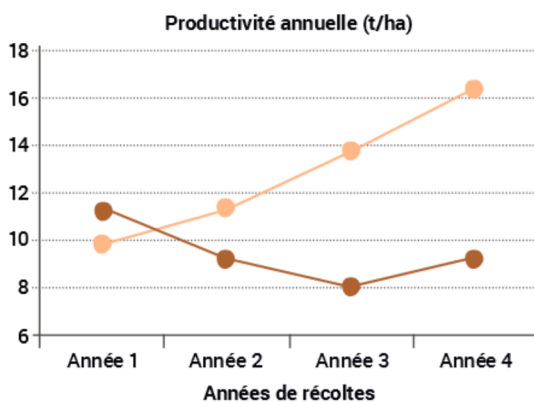
et al., 2015; Meilhac et al., 2019). Un effet conjoint de la diversité spécifique et de la diversité génétique d'une espèce de légumineuse, la luzerne, cultivée en association avec une graminée, a été démontré sur la valeur nutritive des prairies graminées/légumineuses (Maamouri et al., 2017). D'autres expérimentations en plein champs (micro-parcelles) ont montré une relation positive entre diversité variétale (comparaison mono-variété et mélange de 2-3 variétés de ray-grass anglais) et qualité de la production, notamment dans le cadre d'une variété précoce associée à une variété tardive (Surault et al., 2010). La production est généralement similaire entre la mono-variété et le mélange variétal, avec des variations en fonction de la précocité des variétés utilisées (Surault et al., 2010). En prairies temporaires cependant, on constate une diminution de la diversité spécifique avec l'âge de la



parcelle (Surault et al., 2008). Le choix des espèces aurait ainsi un impact plus fort sur la production que le nombre d'espèces (Surault et al., 2008; Protin et al., 2014).

FIGURE 2.6

Effet du mélange graminée-luzerne sur la productivité annuelle (tonnes de matière sèche par hectare) comparativement à la graminée seule. D'après Litrico et al. (2016). Using mixed-forage grasslands to deal with climate change : opportunities and challenges, Fourrage, 225 : 11-20.



● Graminée pure ● Luzerne + graminée

La diversité en légumineuses joue un rôle clé dans les mélanges prairiaux sur la production primaire (Pelletier et al., 2016). En mélanges prairiaux graminées-légumineuses, des différences existent entre luzerne et trèfle blanc dans la production de biomasse, la fixation et le transfert de l'azote. La luzerne a un plus haut potentiel de production et de fixation de l'azote de l'air (N₂), mais transfère l'azote fixé aux graminées compagnes beaucoup plus lentement que le trèfle (Louam et al., 2015). Des situations de compétition et de transfert de l'azote ont été décrites à court terme (Cruz & Lemaire, 1986), mais ces transferts entre espèces restent marginaux durant la phase de végétation. Mais sur le long terme, les recyclages de l'azote fixé par les légumineuses directement à travers les matières organiques du sol (chute des feuilles et mort des racines) et indirectement à travers les animaux consommateurs des fourrages produits restent un facteur important du maintien de la productivité des systèmes incluant des légumineuses. La comparaison de prairies monospécifiques et de prairies plurispécifiques incluant de la luzerne (qui fixe l'azote de l'air) par rapport à un ajout d'azote minéral, montre des rendements plus importants en présence de luzerne sur 4 années de suivi, avec des changements dans la composition en azote et phosphore du sol suggérant un lien implicite avec la rhizosphère (Crème et al., 2016) Enfin, la diversité génétique des espèces composant la prairie influence l'abondance des espèces dans la prairie (Meilhac et al., 2019), ce qui constitue un élément majeur pour la qualité nutritive d'une part et les services écosystémiques fournis par les prairies temporaires en raison de leur dépendance à la composition spécifique des prairies.

Pour ce qui est des grandes cultures, les études sont beaucoup plus rares en Nouvelle-Aquitaine. Le projet APACH a montré que l'association 'féverole-blé' avait généralement un rendement similaire ou plus élevé se traduisant par une plus grande quantité de grains de féverole, une plus grande masse et un taux de protéines plus élevés des grains de blé produits qu'en culture seule pour une même année (CIVAM Poitou-Charentes, 2018). Les essais d'associations colza-sarrasin et colza-lentille-fenugrec ont montré des rendements similaires à la culture de colza pure (CIVAM Poitou-Charentes, 2018). Des études enfin ont été conduites sur les mélanges 'céréale-pois', et suggèrent une amélioration des performances (Barillot et al., 2014), particulièrement dans un contexte de faible disponibilité ou d'apport extérieur d'azote dans le sol (Bedoussac & Justes, 2010). Les mélanges d'espèces, notamment lorsqu'ils combinent des espèces ayant des dynamiques de croissance contrastées, permettent de mieux contrôler les espèces adventices. Par exemple, alors qu'une culture de luzerne pure requiert souvent un désherbage chimique à l'implantation, une culture associant luzerne et graminée est peu affectée par les adventices, en l'absence de traitement herbicide (Protin et al., 2014). Enfin, des travaux sur le blé, réalisés dans la bassin parisien, et en régions Centre, Bretagne et Occitanie indiquent également que la diversité génétique (mélange de variétés de blé) pourrait augmenter la production, la résistance aux pathogènes ou les deux, réduisant ainsi le recours aux fongicides (Litrico & Violle, 2015; Barot et al., 2017).



Épis de blé ©Vincent Bretagnolle

En ce qui concerne l'élevage pour terminer, aucune étude menée en Nouvelle-Aquitaine ne s'est intéressée au rôle de la diversité floristique des prairies sur la qualité des produits en polyculture-polyélevage en plaine agricole. Que ce soit sur la qualité du lait ou la qualité gustative des fromages, ni sur les qualités des viandes, qu'il s'agisse de ruminants (bovins, caprins, ovins) ou de lagomorphes (lapins) qui digèrent la cellulose grâce à des adaptations anatomiques, ou de poulets ni sur la qualité des œufs des poules pondeuses. De telles informations existent cependant en systèmes pastoraux (prairies permanentes) de Montagne (voir par exemple Frétin et al., 2017) ou dans des expérimentations tests en cours (Unité INRA Ferlus à Lusignan). Ces résultats suggèrent qu'un lien positif entre diversité floristique et qualité des produits en polyculture-polyélevage est probable en région Nouvelle-Aquitaine. Aucune étude n'a porté non plus sur la diversité des espèces élevées, et ses effets sur la productivité des élevages.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Augmenter la diversité végétale dans les plaines agricoles régionales (cultures céréalières et fourragères en rotation annuelle) permet d'améliorer la production (rendement) et de réduire ses fluctuations face aux contraintes de l'environnement (climat, pathogènes). Cette diversité permet également de limiter le recours aux intrants chimiques, que ce soit l'utilisation d'engrais azotés de synthèse par l'utilisation des légumineuses sous forme de plusieurs types d'association, ou celle des fongicides par le mélange d'espèces ou de variétés. Par ailleurs, diversité spécifique et génétique ont des impacts positifs complémentaires, l'une assurant une bonne production associée à une bonne qualité, l'autre garantissant la stabilité de production et le maintien des espèces, de ce fait contribuant à la durabilité de la production alimentaire.

[Fait établi] en prairies temporaires: **[Etudes empiriques]** (>10 études) ; **[Expérimentations]**

[Tendance] en cultures céréalières: **[Etudes empiriques]** (< 5 études)

[Projection] en productions animales

3.1.2. Rôle de la biodiversité floristique en production agricole



Les produits issus de l'apiculture à forte valeur ajoutée, comme le miel, pollen, ou la gelée royale sont tous directement dérivés de la collecte de nectar et de pollen par les colonies d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*). En plaine agricole, les abeilles mellifères collectent les ressources florales disponibles dans un rayon de 1,5 km autour de leur colonie et jusqu'à 6 km (Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003; Beekman & Ratnieks, 2000). Cependant, ces paysages fortement modifiés présentent des dynamiques spatiales et temporelles de ressources florales affectant les distances de vol (Couvillon et al., 2014; Danner et al., 2016) et la diversité florale récoltée (Smart et al., 2016a). Les ressources florales collectées proviennent de plantes cultivées (cultures) et de plantes spontanément présentes dans les habitats semi-naturels ou dans les cultures, telles que les plantes adventices (Smart et al., 2016a; Danner et al., 2017). Alors que la productivité des colonies d'abeilles (production de miel) est fortement dépendante de la présence de cultures nectarifères (Smart et al., 2016a), la santé et la survie des colonies sont dépendantes de la diversité florale disponible (revue dans Wright et al.,

2017). En effet, plusieurs études mettent en évidence des effets bénéfiques de la présence de diversité florale récoltée sur la santé des abeilles, par exemple à l'échelle individuelle sur le développement des larves (Filipiak et al., 2017), sur l'immunocompétence des adultes (Alaux et al., 2010; Smart et al., 2016b), mais également à l'échelle de la colonie sur la survie hivernale (Smart et al., 2016b; Otto et al., 2016; Alaux et al., 2017). Les paysages limitant la disponibilité de ressources florales diverses engendrent des périodes de ressources limitantes forçant les apiculteurs à fournir un apport complémentaire à base de sirop sucré ou à pratiquer la transhumance des ruchers vers d'autres régions (Simone-Finstrom et al., 2016). Cependant, ces techniques apicoles s'avèrent peu efficaces pour limiter les pertes de production et de survie des colonies d'abeilles mellifères (Simone-Finstrom et al., 2016). Les paysages mixtes, couplant cultures céréalières et présence d'habitats semi-naturels à proximité des ruches, permettent de réduire les distances de butinage et d'améliorer ainsi la performance des colonies d'abeilles (Danner et al., 2016).

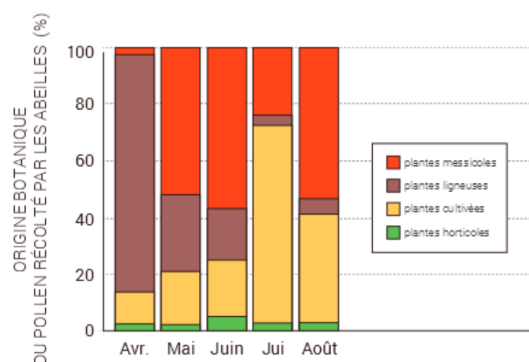


Des recherches menées en Nouvelle-Aquitaine sur le dispositif ECOBEE dans le sud des Deux-Sèvres (voir encadré 2) montrent qu'en plaine agricole dominée par les grandes cultures céréalières, la pénurie de ressources florales diversifiées, quantitativement et qualitativement adaptées aux besoins alimentaires des abeilles domestiques, a un impact négatif sur la santé des colonies (Di Pasquale et al., 2016; Requier et al., 2017). Quand le colza et le tournesol sont cultivés, la quantité de miel produite est dépendante de ces cultures qui, pendant leurs périodes de floraison respectives (début du printemps et début de l'été), mettent à disposition des quantités très importantes de fleurs nectarifères (Odoux et al., 2014; Requier et al., 2015) et sont préférentiellement butinées par *A. mellifera* (Odoux et al., 2012; Rollin et al., 2013). Mais entre les floraisons de ces cultures, une période de disette alimentaire apparaît (Odoux et al., 2014; Requier et al., 2017) à cause d'un manque de ressources florales, entraînant une chute dans la récolte de pollen, une réduction de reproduction (couvain) et une survie hivernale des ruches réduite de 30% suite à une diminution de réserves hivernales et une sensibilité accrue au Varroa, un acarien parasite des ruchers (Requier et al., 2017). Les plantes messicoles, telles que le coquelicot *Papaver sp.*, peuvent constituer jusqu'à 40% des ressources polliniques pendant cette période critique, et constituent un déterminant principal de la survie des colonies (Bretagnolle & Gaba, 2015; Requier et al., 2015) (Figure 2.7). Par ailleurs, les plantes herbacées des prairies, et les arbres des bosquets constituent une source non négligeable de pollen (respectivement 4% et 32% de la collecte, (Odoux et al., 2012; Requier et al., 2015). De façon générale, la proximité des surfaces boisées a un effet bénéfique sur les populations d'abeilles adultes à la fin du printemps (Odoux et al., 2014; Rhoné, 2018). Il est probable que le phénomène de pénurie alimentaire soit accru dans les zones où la culture du maïs est prédominante, car le pollen de maïs a une faible valeur nutritionnelle (Requier et al., 2015). L'interaction possible entre disette alimentaire, risque de mortalité accrue en raison des pesticides et présence du Varroa est en cours de modélisation (Henry et al., 2017). Di Pasquale et al. (2016) ont montré qu'en période de floraison de masse du maïs, fin juillet, le mélange pollinique récolté était de mauvaise qualité nutritionnelle ce qui se traduisait par un impact négatif sur la survie et l'état physiologique du couvain. Le rôle positif de la biodiversité florale sur la qualité nutritionnelle du mélange pollinique est confirmé sur d'autres espèces : chez des bourdons terrestres (*Bombus terrestris*) en élevage, des mélanges polliniques dominés par des arbres et arbustes ont une qualité nutritionnelle du près du double de celui composé majoritairement de pollen de tournesol, maïs et graminées (Tasei & Aupinel, 2008a). En comparaison avec des contrôles composés de pollen non mélangé de six espèces, la performance globale d'un mélange composé de pollen de tournesol, châtaignier, coquelicot, et ronce, notamment en termes de survie et de croissance des larves, augmente de moitié avec le nombre de larves vivantes/micro-colonie (Tasei & Aupinel, 2008b). Enfin une étude récente (Wintermantel et al., 2019) montre que des ruchers entourés de parcelles cultivées en agriculture biologique produisent plus de miel au printemps (miellée de colza; +20% en moyenne) que des ruchers entourées de

parcelles cultivées exclusivement en agriculture conventionnelle, et que cet effet est dû à la fois à la présence de fleurs sauvages (espèces adventices) et à la réduction de l'usage de pesticides. Un effet est également détecté sur la reproduction (surface du couvain) et la survie des adultes (butineuses).

FIGURE 2.7

Origine botanique du pollen récolté par les abeilles autour de la période de floraison du colza et du tournesol (avril à août). En rouge : plantes messicoles dont le coquelicot. D'après Requier et al. (2015) Honey bee diet in intensive farmland habitats reveals an unexpectedly high flower richness and a major role of weeds. Ecological Applications.



CE QU'IL FAUT RETENIR

La biodiversité floristique a un effet positif sur la santé et la survie des populations d'abeilles mellifères. La récolte de nectar et de pollen par les abeilles dépend à la fois de la présence de plantes messicoles, de plantes adventices des milieux cultivés, et de la présence d'éléments semi-naturels, qui améliorent la résistance des colonies face à la disette alimentaire et aux pathogènes. Des paysages hétérogènes comprenant des bosquets et friches associées et des systèmes de culture diversifiés favorisant la diversification des cultures céréalières et fourragères sont favorables à l'apiculture. La présence de fleurs sauvages (adventices des cultures, et flore prairiale) dans ces paysages est également critique pour la santé et la survie des populations d'abeilles mellifères.

[Fait établi]: [Etudes empiriques] (>10 études); [Expérimentations]

3.2. LA BIODIVERSITÉ EN TANT QUE SUPPORT INDIRECT DE PRODUCTION

3.2.1. Biodiversité, qualité des sols et recyclage de la matière organique



La qualité des sols est un élément déterminant de la productivité agricole et de sa durabilité (Rabot *et al.*, 2018; Faber & van Wensem, 2012). Le couplage entre les cycles de C, N, P et des autres éléments par l'autotrophie des plantes synthétisant la matière organique et l'hétérotrophie des microbes du sol minéralisant ces éléments et les réutilisant pour leur propre croissance est à la base de la productivité primaire des écosystèmes. En réalité ces successions de couplage et découplage permettent aux éléments de circuler à travers l'écosystème en étant disponibles successivement pour les différents organismes (Soussana & Lemaire, 2014). La biodiversité végétale ainsi que la biodiversité de toute la chaîne trophique des décomposeurs sont donc un point capital pour assurer un recyclage optimum des éléments nutritifs grâce à des cycles es plus conservatifs possibles qui limitent les pertes et émissions d'éléments dans l'environnement. En dehors du travail agricole des sols, l'activité biologique des sols est le paramètre principal qui régit leur structure (Rutgers *et al.*, 2012) et donc leur qualité, sans oublier le rôle des plantes (Martins & Angers 2015). En milieu tempéré, structure et porosité sont améliorées par la présence et l'abondance des vers de terre qui creusent des galeries consolidées par leur mucus et excrètent de la matière organique et minérale, formant des agrégats plus ou moins stables (Shipitalo & Le Bayon 2004; Blouin *et al.*, 2013). C'est la présence de micro-organismes, mais aussi de la micro-

faune (1-100 µm), mésofaune (0,1-2 mm) et macrofaune (>2mm) d'invertébrés du sol (Jeffery *et al.*, 2010; Paoletti & Hassall, 1999) qui stockent et stabilisent la matière organique des sols, déterminant au moins en partie cette quantité à l'échelle nationale (Meersmans *et al.*, 2012). Les vers de terre participent aussi directement à la formation des sols via l'accumulation de turricules dans les horizons supérieurs (+0.4 cm/an basé sur 13 études; Blouin *et al.*, 2013). L'activité des vers de terre est favorable au transfert et à l'accumulation de matière organique dans l'ensemble du profil de sol, et en milieu tempéré, améliore l'infiltration de l'eau dans le sol (Lamandé *et al.*, 2003) réduisant le risque d'anoxie des cultures en période humide, ainsi que la capacité de rétention en eau du sol (Hudson, 1994; Minasny & McBratney, 2018) et donc la réserve en eau utile pour les cultures. Le taux de matière organique des horizons de surface et «la rugosité» des turricules de surface limitent l'érosion des sols (Franzluebbbers & Gastal, 2019; Blouin *et al.*, 2013), augmente leur stabilité structurale (et donc la résistance à la compaction et à la fermeture de la surface du sol), leur capacité de stockage en eau et leur capacité d'échange cationique (Blouin *et al.*, 2013). Les vers de terre sont également largement impliqués dans les cycles de l'azote et du carbone, accélèrent la minéralisation de la matière organique (30-50 kg/ha/an, Lavelle *et al.*, 2004) en particulier en présence d'engrais organique que de synthèse (Whalen & Parmelee, 2000) et produisent des



composés organiques utiles aux autres organismes du sol et aux plantes. Enfin, les vers de terre peuvent jouer un rôle dans la régulation du climat via les séquestrations et les émissions de carbone (mais leurs impacts varient avec les pratiques agricoles); et ils peuvent jouer un rôle dans la remédiation des sols aux pollutions. Le rôle crucial que jouent les microorganismes (10 grammes de sol peuvent contenir jusqu'à 10 milliards de micro-organismes) dans de nombreuses fonctions écosystémiques essentielles impliquées dans la fertilité des sols, et la qualité de l'eau et de l'environnement est aussi largement établi (Van der Heijden et al., 2008). L'importance de la diversité microbienne reste cependant controversée (Allison & Martiny, 2008) car la relation directe entre biodiversité micro-

bienne et fonctions reste à démontrer (Balvanera et al., 2006; Reed & Martiny, 2007). Cette question est critique lorsqu'on considère l'impact des changements climatiques (Ruess et al., 1999) et de gestion des terres (Tardy et al., 2015) sur la diversité microbienne dans le sol des écosystèmes. Au-delà de ces controverses, les micro-organismes sont aussi les acteurs majeurs des cycles du carbone et de l'azote, mais certains groupes peuvent aussi être des compétiteurs des plantes pour l'azote (par exemple, les bactéries dénitrifiantes qui consomment du nitrate) et être impliqués dans l'émission de puissants gaz à effet de serre (CO₂ et N₂O).



Les cloportes (isopodes terrestres) sont des décomposeurs clés qui jouent un rôle majeur dans le recyclage de la matière organique et la biodiversité microbienne du sol, comme le mettent en évidence des observations en Nouvelle-Aquitaine (Souty-Grosset et al., 2005; Bouchon et al., 2016; Dittmer et al., 2014, 2016), et sont de bons indicateurs de fonctions clés comme la provision de nutriments dans le sol. Dans les agroécosystèmes l'espèce de cloporte la plus représentée est *Armadillidium nasatum*. Des analyses réalisées en Poitou-Charentes soulignent l'importance des cloportes en tant qu'indicateurs potentiels de la fonction écosystémique soutenant la qualité des sols en agroécosystèmes céréaliers et fourragers (Dittmer et al., 2016; Souty-Grosset et al., 2005). En plus de leur propre arsenal enzymatique, ces détritivores utilisent, à la manière des ruminants ou des termites, les communautés microbiennes contenues dans leur tube digestif pour dégrader la biomasse végétale (Bouchon et al., 2016; Bredon et al., 2018; Bredon et al., 2019). Ces activités sont d'autant plus favorisées que le sol est recouvert de litière ou de mulch en grandes cultures. La présence de haies bocagères est également un bon déterminant de la diversité en cloportes, de même que l'est la présence de prairies permanentes (Souty-Grosset et al., 2005).

Les vers de terre sont aussi importants (Griffiths et al., 2016), et cette importance vaut aux lombrics la qualification d'ingénieurs des écosystèmes. Des expérimentations réalisées in situ ont cherché à quantifier les sucres totaux dans la matière organique de sols dans une prairie temporaire, dans laquelle l'activité de *Lumbricus centralis* a été suivie (Andriuzzi et al., 2016). La présence des vers (abondance et biomasse) a assuré la fragmentation et l'incorporation de la matière organique végétale dans le sol. Celle-ci a augmenté de 16% à proximité immédiate des galeries, et était a fortiori associée à une augmentation de la teneur en carbone dans le sol. La matière organique était riche en sucres végétaux, indiquant une incorporation de matière fraîche plutôt que dégradée dans le sol. Enfin, Andriuzzi et al., (2016) ont montré que l'espèce de ver anécique

L. centralis avait un rôle plus important dans l'incorporation dans le sol de la matière organique végétale de surface qu'*Aporrectodea longa*, une autre espèce de ver anécique. Un effet positif de la présence de *L. centralis* a également été montré sur l'abondance des protistes (env. 40%; particulièrement du genre *Stenamoeba sp*) et des nématodes, une microfaune elle-même impliquée dans le recyclage de la matière organique via la prédation des micro-organismes (Andriuzzi et al., 2016). Par ailleurs, la diversité fonctionnelle des vers de terre est également liée à la capacité d'infiltration de l'eau, chaque espèce de vers de terre générant des macropores spécifiques, et la stabilité globale des sols pourrait augmenter de façon significative avec la biomasse de vers de terre (Anecique, Endogéique).



Vers de terre ©Shutterstock



Des études expérimentales ont montré que la communauté de vers de terre (espèces, groupes écologiques) était affectée par l'utilisation des terres et les pratiques de gestion avec une répartition des terres, une capacité d'infiltration de l'eau et une stabilité globale de la couche supérieure de sol significativement différente entre les traitements de gestion (plus élevée sous les prairies que sous les cultures, et plus élevée en travail du sol superficiel qu'en travail du sol conventionnel). Par ailleurs les systèmes de pores et les terriers reliés à la surface du sol contribuent le plus efficacement au taux d'infiltration de l'eau (sur le site de l'ORE de Lusignan, Pérès, en préparation), un résultat obtenu aussi sur le site de l'ORE d'Estrée-Mons (Hauts de France; *Coudrain et al., 2016; Sauvadet et al., 2016a,b*).

Le rôle des micro-organismes du sol dans la qualité des sols ou le recyclage de la matière organique a été relativement moins étudié en Nouvelle-Aquitaine. Une analyse mondiale expérimentale (avec des sachets de thé), incluant des sites de Nouvelle-Aquitaine (*Djukić et al., 2018*), montre que la vitesse de décomposition dépend avant tout de la qualité de la litière, indépendamment du climat, et même de l'usage des sols. Les structures de la communauté microbienne du sol sont liées à la quantité d'apport de litière fraîche (*Sanaullah et al., 2016*). Les pratiques agricoles ont ainsi un rôle sur cette communauté. Une étude réalisée sur des prairies montre que le travail du sol réalisé avant l'implantation d'une culture constitue une perturbation aux effets intenses et immédiats sur les communautés microbiennes impliquées dans différentes activités du cycle de l'azote (minéralisation, assimilation) alors que l'arrêt du travail du sol et l'installation d'une prairie n'a d'effet détectable qu'au bout de 3 ans (*Attard et al., 2001, 2016*). Par ailleurs, la présence de la luzerne dans une rotation céréalière induit des changements dans la composition en azote et en phosphore du sol, probablement liés à une modification des communautés de bactéries et champignons impliqués dans leur cycle (*Crème et al., 2016*). Dans le Châtelleraudais, en association de culture, la présence abondante de sources de carbone dans les sols étudiés a favorisé le développement de la relation symbiotique 'plante-champignon', et les analyses ont montré une régulation naturelle de la biomasse microbienne par les mycorhizes (*Projet APACH; CIVAM Poitou-Charentes, 2018*). Cependant, maximiser cette microflore n'est pas forcément simple : par exemple, une expérience in situ d'addition de litière enrichie en 13C a conduit à la convergence des communautés microbiennes de l'horizon de surface et des horizons profonds par la stimulation des populations copiotropes. Des travaux récents ont montré aussi que la gestion des prairies temporaires peut affecter les activités microbiennes, comme l'indiquent les polysaccharides contrastés et la composition de la lignine (*Crème et al., 2018*). De manière plus générale, l'introduction de la luzerne ou d'une prairie temporaire dans une rotation améliore la composition des sols à travers le rôle des micro-organismes, ce qui a des répercussions sur la séquestration de carbone et réduction de **lixiviation**

d'azote, mais aussi en apportant plus de matière organique (*Kunrath et al., 2015; Lemaire et al., 2015; Panettieri et al., 2017*). Les conditions environnementales sont aussi très importantes : des expériences ex situ sur des prairies montrent que la communauté microbienne de la rhizosphère est plus résiliente en conditions de stress hydrique (sécheresse) lorsque l'on a un mélange «graminée - légumineuse» que pour un couvert composé de graminées (*Sanaullah et al., 2011*).

Il existe enfin un lien entre activité biologique microbienne du sol et faune du sol. C'est vrai notamment au niveau des turricules des vers de terre, caractérisés par un mélange intime de matière organique et de phase solide du sol, que l'on peut considérer comme un hotspot d'activité microbienne. Les symbiotes des cloportes sont également des acteurs majeurs de la régulation des communautés bactériennes du sol (*Bredon et al., 2018, 2019; Dittmer & Bouchon, 2018; Dittmer et al., 2016*). Par leur activité détritrovoire, les cloportes consomment des biofilms bactériens et mycorhiziens (*Zimmer et al., 2003*). Ces communautés après passage dans leur tube digestif se retrouvent ensuite dans les fèces puis dans le sol, participant ainsi à la dynamique des communautés et leur évolution en impactant leur activité biologique (*Bredon et al., 2018, 2019; Dittmer & Bouchon, 2018; Dittmer et al., 2016*). Cloportes et vers de terre agissent donc en synergie (*Zimmer et al., 2005*).



CE QU'IL FAUT RETENIR

La qualité des sols, d'un point de vue agricole, dépend de sa teneur en matière organique et de ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques, qui sont étroitement liées. L'ensemble du cortège des organismes du sol (invertébrés, nématodes, etc.), et plus particulièrement les vers de terre et les cloportes, sont au cœur des processus biogéochimiques liés au transfert, à la transformation, au stockage et à la fertilité dans le sol. Le maintien de leur diversité et de leur activité conditionne en particulier le maintien du taux de matière organique des sols, ce qui impacte la production végétale et sa durabilité à moyen et long terme. Bien que moins nombreuses, des études ont porté aussi sur les microorganismes du sol, soulignant leur rôle dans les processus de minéralisation de l'azote, de nitrification et de dénitrification permettant une meilleure disponibilité de l'azote pour la nutrition des cultures. Des études manquent encore sur les interactions entre ces organismes et d'autres organismes du compartiment «sol» non moins importants, tels que les collemboles ou les acariens.

[Fait Etabli] pour la macrofaune du sol : **[Etudes empiriques]** (>10 études); **[Expérimentations]**

[Présomption] pour les micro-organismes du sol: **[Etudes empiriques]** (~5 études); **[Expérimentations]**

3.2.2. Régulation biologique des plantes adventices



Les plantes messicoles et adventices, c'est à dire la flore spontanée des milieux agricoles, sont considérées comme l'un des facteurs majeurs de réduction des rendements (Oerke, 2006). Le désherbage chimique, c'est-à-dire l'application de produits herbicides, est le levier agronomique le plus répandu en agriculture conventionnelle pour réduire les adventices, du fait de sa simplicité d'application et de ses coûts réduits (Valantin-Morison et al., 2008). Plusieurs alternatives agronomiques basées sur des combinaisons de techniques, comme la protection intégrée des cultures (Lechenet et al., 2014), les plantes compagnes (Verret et al., 2017), l'agriculture de conservation des sols (Petit et al., 2017) ou des successions culturales plus variées (Bohan et al., 2011; Liebman & Dyck, 1993; Mahaut et al., 2019), ont ainsi été proposées. Les rotations entre cultures annuelles et prairies temporaires sont un moyen de réduire fortement la pression des adventices dans les cultures arables (Lemaire et al., 2014) du fait de la forte compétition pour la lumière au sein des prairies et des fauches ou défoliations répétées au pâturage qui limitent fortement la propagation par graines. Parallèlement, des leviers de gestion basés sur les fonctionnalités de la biodiversité ont été explorés pour réguler les espèces adventices en limitant le recours aux herbicides, en s'appuyant sur une régulation par compétition de la flore levée (Andrews et al., 2015) ou sur la régulation de la banque de graines par prédation des graines (Westerman et al., 2003; Petit et al., 2017). Les vers de terre contribuent également à la prédation de certaines

espèces de graines (Clause et al., 2017) ainsi qu'à leur enfouissement et leur conservation dans la banque de graines du sol puis à leur rejection en surface. Ceci contribue à l'expression d'une communauté végétale diversifiée mais potentiellement non-désirée (Forey et al., 2017). Leur impact sur la banque de graines et la fertilité du sol peut également contribuer à favoriser la propagation de plantes généralistes au détriment de plantes natives (Clause et al., 2015).



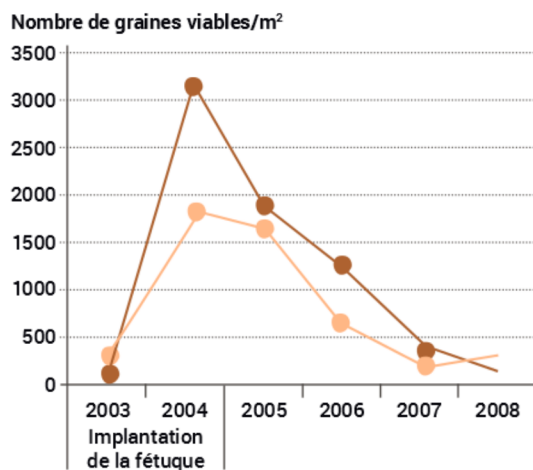
Bleuets ©Shutterstock



L'introduction de prairies temporaires, par exemple de fétuque élevée (Surault et al., 2012) ou de luzerne (Meiss et al., 2010a), dans les rotations culturales permet de réguler la flore adventice par différents processus dont la compétition (Meiss et al., 2010b). Dans le cas de couverts longue durée en fétuque, on constate une modification de la composition de la banque de graines du sol, impliquant notamment la réduction de l'abondance de certaines espèces adventices telles que la renouée des oiseaux (32% ; *Polygonum aviculare*) et l'amarante réfléchie (45% ; *Amaranthus retroflexus*) (Surault et al., 2012) (Figure 2.8), et l'augmentation du nombre de graines d'autres espèces tels que le pâturin annuel (*Poa annua*) ou le céraiste aggloméré (*Cerastium glomeratum*) qui ont un impact faible sur la production agricole. L'introduction de luzerne dans la succession culturale permet également de modifier la composition des communautés adventices en réduisant l'abondance des nombreuses espèces annuelles et d'espèces pérennes dont notamment le cirse des champs (*Cirsium arvense*) qui sont difficilement gérables en cultures annuelles (Meiss et al., 2010b). Les données acquises à l'ORE de Lusignan (voir encadré 2) confirment et approfondissent le rôle et l'intérêt des rotations prairie-cultures pour limiter la pression des adventices sur les cultures, et réduire ainsi le besoin en herbicides (données non encore publiées). Outre la compétition, la structure des couverts prairiaux permettrait de réguler la flore adventice par un mécanisme d'interception : la hauteur du couvert végétal en prairie diminuerait la probabilité qu'une graine adventice atteigne le sol et entre dans la banque de graines (Doisy et al., 2014). Les associations de cultures telles que 'blé-féverole' et 'colza-sarrasin' ou 'colza-lentilles-fenugrec' peuvent également limiter le développement des plantes adventices en comparaison de cultures pures (Projet APACH; CIVAM Poitou-Charentes, 2018).

FIGURE 2.8

Effet de l'implantation de la fétuque sur deux espèces d'adventices. D'après Surault et al. (2012) «Évolution du stock semencier d'un sol sous un couvert de fétuque élevée», Fourrages, (210), pp. 167-175.



- Renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*)
- Amarante réfléchie (*Amaranthus retroflexus*)

La régulation biologique des adventices peut aussi être exercée par les organismes consommateurs de graines tels que certaines espèces d'oiseaux comme l'alouette des champs (Eraud et al., 2015; Gaba et al., 2014) ou des insectes granivores comme les carabes (Deroulers & Bretagnolle, 2019; Deroulers et al., 2017; Gaba et al., 2019) ou encore des espèces de la faune du sol comme les cloportes (Saska, 2008). Trente-huit espèces adventices (16 familles) ont ainsi été retrouvées dans les gésiers d'alouettes provenant de la ZA PVS et du Tarn et Garonne (Eraud et al., 2015). De récentes expérimentations sur la ZA PVS suggèrent également une contribution significative des micromammifères dans la régulation de la banque de graines (Plaetevoet et al., 2017). En confrontant des données quantifiant l'abondance des graines dans les premiers centimètres de sol en hiver à l'abondance des alouettes en hiver et à leur taux de consommation de graines journalier, (Powolny et al., 2011, 2018) estiment que les alouettes à elles seules pourraient consommer 30% de la pluie de graines adventices annuelle. Une expérimentation menée en condition ex situ, a consisté à présenter 10 espèces adventices contrastées par leur taille et leur contenu en lipides aux alouettes des champs. Cette expérimentation a mis en évidence leur préférence pour les graines de petite taille au contenu lipidique élevé (Gaba et al., 2014), afin de maximiser la biomasse lipidique ingérée. La taille et la teneur en lipides des graines jouent un rôle également important dans la prédation des graines adventices par les carabes (Gaba et al., 2014). Les espèces de carabes semblent également favoriser la consommation de graines riches en biomasse lipidique, généralement des graines de petite taille, même si les stratégies varient en fonction des espèces de carabes considérées (Gaba et al., 2019).

Enfin, les plantes adventices sont en compétition entre elles, et avec la culture, compétition qui s'exerce pour les ressources (azote, lumière, eau). L'effet des adventices sur les rendements a d'ailleurs fait l'objet de plusieurs analyses, un effet qui est apparemment modeste (Petit et al., 2015; Gaba et al., 2016; Catarino et al., 2019). Des expérimentations en plein champs réalisées sur la Zone Atelier Plaine & Val de Sèvre montrent que les céréales d'hiver sont un compétiteur majeur pour les plantes adventices, régulant fortement leur abondance : en absence de gestion (herbicides ou travail mécanique) et d'azote, la présence de la culture réduit de près de 65% la biomasse de la flore adventice (Gaba et al., 2018), sans réduire fortement le nombre d'espèces (~1.5 espèces). L'effet de la compétition par les plantes de cultures sur la flore adventice est beaucoup plus forte que celui de la gestion des adventices associée à une fertilisation azotée. Ceci se traduit par un effet moindre de la réduction de ces intrants sur la production agricole (les adventices restent régulées par la culture), et incidemment augmentent les marges brutes des agriculteurs (Catarino et al., 2019). L'interaction biotique entre la flore adventice et la culture peut également réguler l'abondance adventice à l'échelle de la succession culturale. Une étude menée sur le dispositif Biovigilance Flore (échelle nationale) a mise en évidence qu'augmenter la diversité des dates de semis (donc des cultures) dans une succession permettrait à la fois de réduire l'abondance adventice tout en maintenant sa diversité à l'échelle de la succession (Mahaut et al., 2019).

CE QU'IL FAUT RETENIR

La gestion des plantes adventices est réputée complexe et reste un frein majeur à la réduction d'usage d'herbicides. L'augmentation de la biodiversité par introduction de prairies temporaires dans les successions culturales et plus généralement par la diversification des rotations culturales ainsi que la prédation des graines adventices par différentes guildes de prédateurs (insectes, micromammifères, oiseaux) naturellement présents dans les milieux agricoles, ou même simplement par la présence d'une communauté d'adventices diversifiée, permettraient de réguler les adventices et en particulier certaines espèces impactant fortement le rendement des cultures. Cela ouvre donc la voie à une moindre dépendance aux herbicides, mais les bilans quantitatifs restent cependant à produire par systèmes de culture, et à long terme.

[Fait Etabli] en grandes cultures: **[Etudes empiriques]** (~10 études); Expérimentation

[Présomption] prairies temporaires: **[Etudes empiriques]** (~5 études); **[Expérimentations]**

3.2.3. Contrôle biologique des ravageurs des cultures et des agents pathogènes par les ennemis naturels



Les insectes ravageurs et les agents pathogènes représentent des facteurs limitant importants des rendements en grandes cultures (Oerke, 2006). La stimulation des régulations biologiques des insectes ou des agents pathogènes intègre deux grands types d'approches visant à modifier l'environnement via des pratiques agricoles ou des aménagements paysagers pour : (i) perturber directement les agents pathogènes ou les insectes ravageurs, (ii) stimuler la présence d'ennemis naturels assurant une régulation biologique des bioagresseurs. Ainsi, différentes études ont montré qu'une augmentation de la diversité génétique des plantes à l'échelle de la parcelle ou du paysage conférerait aux cultures ou aux animaux domestiqués une plus grande résistance aux pathogènes et des niveaux de pressions et de dégâts d'insectes ravageurs plus faibles (Borg et al., 2018; Barot et al., 2017; Letoumeau et al., 2011). Un certain nombre d'ennemis naturels, vertébrés ou invertébrés, prédateurs ou parasitoïdes, généralistes ou spécialistes, sont connus pour consommer des ravageurs des grandes cultures. Ainsi les coccinelles, les chrysopes, les staphylyns, les araignées, les carabiques ou encore les punaises prédatrices sont parmi les prédateurs connus pour consommer une large variété d'espèces de ravageurs de grandes cultures dont des pucerons, des limaces, des lépidoptères, ou des coléoptères ravageurs (Bohan et al., 2013; Schmidt et al., 2003; Roubinet et al., 2017). Les parasitoïdes de l'ordre des Diptères ou des Hyménoptères représentent également un groupe important permettant des contrôles significatifs des populations d'organismes nuisibles par leur développement larvaire à l'intérieur ou à l'extérieur de leur hôte. Les invertébrés ne sont pas les seuls animaux qui fournissent un

service de régulation biologique en grandes cultures. Les oiseaux et les chauves-souris sont des prédateurs importants des insectes et leur rôle de régulation du nombre de ravageurs comme des champignons phytopathogènes qui leur sont associés, et de réduction des dommages causés aux cultures est établi (Maine & Boyles, 2015, sur maïs). La magnitude ou l'efficacité du contrôle biologique dépend bien évidemment de la présence mais aussi de l'abondance et de la diversité des communautés d'ennemis naturels (Letoumeau et al., 2009; Dainese et al., 2017) qui sont elles-mêmes fonctions de plusieurs variables environnementales. Parmi ces dernières, il est maintenant bien démontré que les pratiques agricoles (par leurs capacités à impacter ou non les dynamiques de populations d'ennemis naturels) et la présence d'habitats semi-naturels dans le paysage (par leurs rôles de réservoir pour la colonisation des parcelles) sont des facteurs importants permettant de favoriser la régulation biologique des ravageurs (Bianchi et al., 2006; Chaplin-Kramer et al., 2011; Tschamtko et al., 2012; Rusch et al., 2016). Ainsi, nous savons que les niveaux moyens de régulation biologique exercée par le cortège des ennemis naturels sur les ravageurs en paysages de grandes cultures augmentent avec la proportion d'habitats semi-naturels (jusqu'à une augmentation de presque 50% des niveaux de régulation biologique entre paysages simples et paysages complexes largement composés d'habitats semi-naturels) et la diversité des cultures dans le paysage (une augmentation de 1 à 3 cultures dominantes se traduisant par une augmentation de l'ordre de 30 % des niveaux de régulation biologique) (Rusch et al., 2016; Redlich et al., 2018).



La diversification génétique des plantes hôtes à l'échelle de la parcelle ou du paysage est un levier important permettant de réduire significativement l'incidence des agents pathogènes des cultures et des insectes ravageurs des cultures. Ainsi, il existe une variabilité importante des populations de pucerons et cette variabilité est structurée régionalement (*Bournoville et al., 2000*) ce qui peut influencer la capacité des cultures à résister à la présence de pucerons en fonction des choix variétaux réalisés. Par exemple, des capacités de résistance très différentes d'une variété de luzerne à différents clones de pucerons a été mis en évidence à l'aide d'une comparaison dans trois régions dont la Nouvelle-Aquitaine suggérant l'importance de l'adaptation des choix variétaux aux conditions locales (*Bournoville et al., 2000*). Malgré une multitude d'exemple dans la littérature scientifique, relativement peu d'études ont cependant porté sur ces aspects en région Nouvelle-Aquitaine en grandes cultures, et la plupart de ces études analysent des effets indirects. Il a été montré qu'à large échelle spatiale, la proportion de maïs dans le paysage semble limiter la prévalence de la maladie virale des céréales à paille (jaunisse nanisante de l'orge). Ceci est probablement en lien avec une purge des virus responsables de cette maladie lorsque les populations de pucerons qui les transportent effectuent un passage sur maïs en été (*Fabre et al., 2005*). Une étude réalisée en plaine agricole dans l'Orléanais a suggéré qu'un paysage plus diversifié diminuerait le risque d'infestation au *Varroa* chez l'abeille domestique (*Alaux et al., 2017*). Enfin, les associations de culture, en créant un effet « barrière » entre plante cible (ex : blé) et plante non-cible (ex : féverole) tendent à limiter la propagation de maladies fongiques (*Projet APACH; CIVAM Poitou-Charentes*). Sur les insectes ravageurs, l'augmentation de la diversité végétale via de associations de cultures ou la mise en place de cultures pièges est connu pour réduire les niveaux d'attaques de ravageurs. Si c'est valable globalement pour certains phytophages, ce n'est pas systématique pour autant : les criquets sont herbivores, et sont présents dans les prairies. La diversité végétale et la diversité des criquets des prairies impactent leurs interactions à l'échelle de la parcelle (*Deraison et al., 2015a, 2015b*) : la diversité fonctionnelle et les traits des végétaux (ressource pour les herbivores) impactent positivement la diversité des traits fonctionnels des criquets en faveur d'une augmentation de l'herbivorie, particulièrement dans les prairies anciennes et en présence d'éléments semi-naturels (*bosquets; Le Provost et al., 2017*).

Les prédateurs naturels des insectes ravageurs des grandes cultures contribuent à leur contrôle. Ainsi, la consommation directe des pucerons par les carabes a longtemps été suggérée, cependant elle n'a pas été confirmée par les analyses de régime alimentaire sur la ZA PVS (*Kamenova et al., 2018, Kamenova et al., en pré-*

paration) bien que des preuves de cette consommation existent par ailleurs (*Roubinet et al., 2017*). De même, en région Bretagne, sur la Zone Atelier Armorique (ZA AR), l'ajout expérimental de pucerons dans des champs de blé n'a pas mis en évidence de consommation de pucerons par les carabes, ni même par d'autres prédateurs que sont les araignées (*Bertrand et al., 2016*). Les parasitoïdes de pucerons ont également été étudiés (*Andrade et al., 2015*) montrant une assez forte variabilité interannuelle. Dans une étude réalisée en Haute-Normandie, les taux de parasitisme des larves de méligèthes du colza peuvent atteindre plus de 80 %, permettant de réguler significativement les populations (*Rusch et al., 2011*).

L'effet du paysage sur le potentiel de contrôle biologique a principalement été étudié régionalement à travers l'effet du paysage sur les populations de prédateurs plutôt que sur l'efficacité du contrôle lui-même, assumant que ces prédateurs ont un potentiel de régulation des ravageurs. Une vaste analyse mondiale, regroupant des sites de Nouvelle-Aquitaine, a montré que la simplification des paysages entraîne des pertes significatives de rendements dans les cultures via la diminution de la richesse spécifique des organismes réalisant le contrôle biologique (*Dainese et al., 2019*). Par exemple, en ZA PVS pour les carabes de grandes cultures, leur richesse spécifique augmente avec les prairies, mais diminue avec les haies (*Caro et al., 2016*). Un résultat très proche a été trouvé également en ZA PVS pour les araignées (*Marchand et al., 2014*). En outre, il a été montré que l'augmentation de la proportion de prairies dans un paysage dominé par les grandes cultures augmente le potentiel de régulation naturelle des pucerons en céréales et en tournesol (*Coux, en préparation; Badenhausser et al., en préparation, sur le site de la ZA PVS; Rusch et al., en préparation, sur le site de la ZA AR en région Bretagne*). L'ajout de bandes enherbées en bordure de parcelle de grandes cultures joue également un rôle positif sur la biodiversité et en particulier sur les prédateurs de ravageurs, comme démontré en ZA AR en région Bretagne (*Ernoult et al., 2013*). Les rôles fonctionnels des différents éléments du paysage, que ce soit les cultures céréalières, les prairies ou les éléments semi-naturels comme les haies, restent encore largement à identifier. Toutefois, une analyse comparative (7 pays d'Europe et Canada) vient de montrer que l'hétérogénéité du paysage augmente de manière significative la diversité des organismes en charge du contrôle biologique (comme de la pollinisation), et certaines fonctions écosystémiques (*Sirami et al., 2019*). Il a par ailleurs été montré dans la ZA AR que les bandes enherbées et les adventices dans les parcelles sont



les sources principales de différents pollens et nectars consommés par certains prédateurs en tant que ressource complémentaire, comme c'est le cas pour les syrphes et les micro-guêpes parasitoïdes (Vialatte et al., 2017). Plus ces ressources sont présentes dans le paysage, plus le contrôle biologique des pucerons ravageurs est élevé dans les parcelles de céréales. Les éléments du paysage sont aussi importants pour préserver les populations de chauves-souris dont le service de contrôle biologique en grandes cultures est établi (Galan et al., 2018). En effet, les éléments semi-naturels paysagers, comme les haies, servent de point de repères pour les chauve-souris, comme le montre par exemple une étude en cours suivant une population de Grand Rhinolophe en Charente-Maritime (Pinaud et al., 2018).

L'intérêt de conserver des éléments semi-naturels dans le paysage pour conserver les prédateurs de ravageurs est donc communément admis car démontré (Sirami et al., 2019), d'autant plus qu'ils ne représentent pas forcément des sources de ravageurs pour les grandes cultures (Vialatte et al., 2005, 2007). Enfin, il est à noter que l'organisation spatio-temporelle des cultures peut

jouer directement sur les dynamiques des ravageurs et des prédateurs (Sirami et al., 2019). Par exemple, le maïs dans la ZA AR représente une source importante de pucerons ravageurs pour les jeunes semis de céréales à paille à l'automne (Gilbert et al., 2017; Vialatte et al., 2007, 2006), tandis qu'il représente une source de pollen notable en été pour leurs prédateurs (Vialatte et al., 2017). Les cultures d'hiver (céréales à paille et colza) peuvent également jouer un rôle positif sur le contrôle biologique de pucerons ravageurs de grandes cultures en accueillant leurs prédateurs pour l'hivernation, comme cela a été montré dans un site du sud-ouest de la France et dans la ZA PVS (Raymond et al., 2014). Enfin, à titre plus anecdotique, les rapaces, et en particulier le Busard cendré, sont des prédateurs du campagnol des champs *Microtus arvalis*, une espèce de rongeur qui montre des cycles de populations (en moyenne tous les 3 ans) pouvant atteindre des densités parfois considérables de 1000 à 2000 individus à l'hectare (Gauffre et al., 2008; Lambin et al., 2006; Pinot et al., 2016). Toutefois, même si un couple de busard peut consommer près de 1000 campagnols par an (Salamolard et al., 2000), ils ne peuvent contrôler les populations de campagnol.

CE QU'IL FAUT RETENIR

L'état des connaissances actuelles suggère un rôle important positif de la diversité végétale à l'échelle locale et de la diversité des habitats à l'échelle des paysages sur la régulation des ravageurs des cultures et sur la diminution de la propagation des agents pathogènes des cultures. La régulation des insectes ravageurs et des agents pathogènes des cultures implique un rôle positif de la biodiversité notamment en permettant de diminuer les sources dans le paysage, en cassant le cycle de vie des insectes et des maladies et la synchronisation avec le cycle des cultures, en perturbant le comportement des insectes ravageurs, en augmentant les capacités de résistance des cultures, et en stimulant la présence et l'activité des ennemis naturels. Il est important de noter qu'un grand nombre d'espèces de vertébrés ou d'invertébrés (arthropodes, oiseaux, chiroptères) contribue à la régulation naturelle des insectes ravageurs. Globalement, nous avons de bonnes preuves que la diversité taxonomique et fonctionnelle des ennemis naturels augmente en moyenne la régulation naturelle, ce qui démontre l'intérêt de préserver une diversité d'espèces d'ennemis naturels importante. S'il existe un corpus de connaissances important sur ces questions à l'échelle nationale et internationale, mais relativement peu de connaissances quantitatives existent régionalement.

[Fait Etabli] pour les insectes: **[Etudes empiriques]** (> 10 études), mais la plupart indirecte **[Expérimentations]**