

PAYSAGE, BIODIVERSITÉ FONCTIONNELLE ET SANTÉ DES PLANTES



Coordination
Sandrine PETIT et Claire LAVIGNE

Sciences en partage

éditions
Quæ

educagri
EDITIONS

Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes

Sandrine Petit, Claire Lavigne, coordinatrices

Dans la même collection

- *Transitions vers l'agriculture biologique. Pratiques et accompagnements pour systèmes innovants*, C. LAMINE, S. BELLON, 2009.
- *L'alimentation sous contrôle : tracer, auditer, conseiller*, L. BONNAUD, N. JOLY, 2012.
- *Au plus près de l'assiette, Pérenniser les circuits courts alimentaires*, C. HÉRAULT-FOURNIER, A.H. PRIGENT-SIMONIN (coord.), 2012.
- *Dynamiques des agricultures biologiques. Effets de contexte et appropriations*, CARDONA et al. (coord.), 2014.
- *Conseil privé en agriculture. Acteurs, pratiques et marché*, C. COMPAGNONE, F. GOULET, P. LAMARTHE (coord.), 2015.
- *Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation multicritère*, J. LAIREZ, P. FESCHET, J. AUBIN et al. (coord.), 2015.

Édition : Mickaël Legrand / www.vivante-passerelle.net

Conception de la maquette de la collection et couverture : Brigitte Mignotte

Montage PAO : Hélène Bonnet / Studio 9

Infographie : Dominique Azan

Photo de couverture : bocage de Talmont-Saint-Hilaire (Vendée)

© Philippe Devanne / Adobe Stock.

Filigrane de couverture : Allégorie de la Science. Statue de Jules Blanchard située sur le parvis de l'Hôtel de Ville à Paris.

Aux termes du *Code de la propriété intellectuelle*, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L 335-2 et suivants du *Code de la propriété intellectuelle*.

L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) – 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris
Tél. : 01 44 07 47 70 / Fax 01 46 34 67 19.



© Éditions Quæ, 2019 / Educagri éditions

ISBN Éditions Quæ :
papier 978-2-7592-3013-6
PDF 978-2-7592-3014-3
ePub 978-2-7592-3015-0

ISBN Educagri éditions :
papier 979-10-275-0345-2
PDF 979-10-275-0347-6
ePub 979-10-275-0346-9

ISSN : 1768-2274

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex
Tél. 01 30 83 35 48
www.quae.com

Educagri éditions
BP 87999 - 21079 dijon cedex
Tél. 03 80 77 26 32
www.editions.educagri.fr

Sommaire

PRÉFACE	7
GESTION MULTI-ÉCHELLE DE LA BIODIVERSITÉ FONCTIONNELLE POUR UNE AGRICULTURE DURABLE	9
Partie 1. Structuration et fonctionnement écologique des paysages agricoles	13
Introduction	15
Chapitre 1. Agriculture et paysage : d'une gestion individuelle de la production vers une gestion collective de la biodiversité fonctionnelle	17
L'individualisme agraire au cœur de la production agricole et de la structuration des paysages	18
Vers une gestion collective des paysages pour des régulations biologiques des facteurs de production	22
Chapitre 2. La biodiversité dans des paysages spatialement et temporellement hétérogènes	27
Le rôle de l'hétérogénéité du paysage sur le fonctionnement des agroécosystèmes	27
La métapopulation : un modèle expliquant le fonctionnement et la dynamique de populations connectées	32
Le mouvement, un processus-clé	36
Structure et évolution des communautés	40
Les relations entre structure des (méta)communautés et fonctionnement des agroécosystèmes	41
Chapitre 3. D'une description structurelle à la prise en compte d'un paysage agricole fonctionnel	47
L'hétérogénéité des paysages agricoles liée aux éléments semi-naturels	47
L'hétérogénéité de la mosaïque agricole : un facteur-clé de la biodiversité	50
La prise en compte du temps	54
Chapitre 4. Caractériser les paysages agricoles	59
La cartographie de la mosaïque agricole	59
Des métriques paysagères pour les mosaïques	60
La cartographie des cultures et autres éléments de végétation	67

Chapitre 5. Analyses statistiques des relations entre mosaïque paysagère et processus écologiques.....	71
Collecte, récupération et génération de données.....	71
Méthodes statistiques d'analyse de données.....	78
Conclusion.....	83
Partie 2. Paysage et santé des plantes : un état des connaissances.....	87
Introduction.....	89
Chapitre 6. Caractéristiques écologiques des organismes impliqués dans la régulation naturelle et la pollinisation.....	91
Les plantes adventices de culture.....	91
Les champignons phytopathogènes.....	95
Les bactéries.....	97
Les virus.....	98
Les insectes ravageurs de culture.....	99
Les ennemis naturels des ravageurs des cultures.....	104
Les pollinisateurs.....	107
Chapitre 7. Paysages, bioagresseurs, ennemis naturels et niveaux de régulation biologique.....	111
Dynamiques des populations à l'échelle des paysages agricoles.....	111
Structure du paysage et communautés d'adventices.....	118
Structure du paysage et dynamiques des agents pathogènes.....	121
Paysage, auxiliaires et régulation d'insectes ravageurs.....	124
Chapitre 8. Les réseaux d'interactions dans les paysages agricoles.....	131
Le paysage vu comme un réseau d'interactions multi-échelle.....	132
Définitions et caractérisation d'un réseau d'interactions.....	133
Des méthodes innovantes pour mesurer les interactions entre organismes.....	134
Du diagnostic par PCR au séquençage haut débit.....	134
Structure des communautés d'auxiliaires et niveaux de régulation des insectes phytophages.....	138
Effet du contexte paysager sur la structure des réseaux d'interactions trophiques.....	139
Des outils pour représenter et prévoir les services associés aux réseaux d'interactions.....	141
Chapitre 9. Paysages, pollinisateurs et niveaux de pollinisation.....	145
Les communautés de pollinisateurs dans un paysage agricole.....	146
Caractériser le paysage pour l'étude des pollinisateurs.....	148
Les effets du paysage sur les pollinisateurs et la pollinisation.....	150

Comment les effets du paysage sur les pollinisateurs se répercutent-ils sur la pollinisation?.....	155
Autres mécanismes affectant les pollinisateurs et interactions avec le paysage.....	158
Prise en compte du paysage pour la conservation des pollinisateurs dans les agroécosystèmes.....	161
Partie 3. Vers la conception de paysages agricoles multifonctionnels.....	165
Introduction.....	167
Chapitre 10. Aménagement de paysages pour la santé des plantes basé sur des modèles.....	171
De la représentation de l'espace à la simulation des paysages.....	172
L'adaptation des bioagresseurs au milieu agricole : l'évolution des organismes et sa modélisation.....	174
Aménager le paysage pour gérer durablement les gènes de résistance.....	177
Conclusion.....	179
Chapitre 11. Vers une co-conception de paysages pour la santé des plantes et avec des acteurs du territoire.....	181
Sciences de gestion, transdisciplinarité et gestion paysagère de la santé des plantes.....	182
Conception participative et évaluation numérique de scénarios spatialisés de systèmes de culture.....	187
Évaluation économique du service de régulation de la santé des cultures.....	193
Chapitre 12. Vers des paysages agricoles multifonctionnels.....	203
Formaliser la durabilité des paysages agricoles comme un problème multi-objectif.....	204
Freins et leviers à la diversification des cultures : une approche socio-économique.....	209
Quelles politiques publiques pour favoriser des paysages agricoles multifonctionnels?.....	215
DES AVANCÉES MAJEURES POUR LES PAYSAGES DE DEMAIN.....	231
GLOSSAIRE.....	233
LISTE DES AUTEURS.....	236

Né d'une volonté de conjuguer production agricole et protection de l'environnement, le département Environnement et agronomie de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) fête ses 20 ans.

Pour l'occasion, une série d'ouvrages dédiés à des thématiques emblématiques du département sont publiés.

Le présent ouvrage est consacré à la relation entre les paysages, la biodiversité fonctionnelle et la santé des plantes.



Cet ouvrage a reçu le soutien des départements Environnement et agronomie, Santé des plantes et environnement, et Sciences pour l'action et le développement.



LES COORDINATRICES

Directrice de recherches à l'Inra, **Sandrine Petit** est directrice adjointe de l'unité Agroécologie du centre Inra Bourgogne Franche-Comté. Ses travaux portent sur la quantification des effets de la gestion agricole aux échelles locales et paysagères sur la biodiversité fonctionnelle en grandes cultures, en lien avec la régulation des bioagresseurs, et notamment des adventices de cultures.

Claire Lavigne est directrice de recherches à l'Inra au sein de l'unité Plantes et systèmes de culture horticoles (centre PACA) et chef adjointe du département Environnement et agronomie. Elle étudie les effets de la structure des paysages et des pratiques agricoles sur la biodiversité fonctionnelle, les ravageurs et leur régulation en arboriculture.

PRÉFACE

Quel bel ouvrage pour les agronomes ! Il y a un demi-siècle, Stéphane Hénin définissait l'agronomie comme « une écologie appliquée à l'agriculture et à l'aménagement du milieu » : nous y sommes. On retrouve mêlés dans ce livre les deux champs de la discipline : la compréhension du fonctionnement des agro-écosystèmes d'une part, et le raisonnement des actions qui s'y rapportent d'autre part — ce qui lui permet d'être à la fois une science et une ingénierie. C'est donc bien d'agronomie qu'il s'agit ici, dans toute son ampleur actuelle, bien enrichie par des fécondations pluridisciplinaires.

Le niveau d'organisation auquel cet ouvrage se réfère, celui du paysage, n'est pas complètement nouveau pour les agronomes. Le nom de Jean-Pierre Deffontaines y est attaché, lui qui dès les années 1970 en a redécouvert la portée pour l'agronomie dans l'époque contemporaine. Et en 2000, Philippe Lucas et Jean-Marc Meynard, dans leur rapport sur la protection intégrée des cultures à l'Inra, identifiaient déjà l'échelle supra-parcellaire comme un niveau d'organisation essentiel pour le raisonnement de la santé des plantes. Alors, quoi de neuf ?

La place de la biodiversité, bien sûr. Malgré les travaux sur la lutte biologique développés dès les années 1970 et les prémices de l'agro-écologie scientifique se développant à l'étranger (on ne peut manquer de citer ici la vision de Miguel Altieri), le recours à la biodiversité en protection des cultures relevait encore il y a deux décennies largement de la promesse, plutôt que de solutions concrètes. Aujourd'hui, alors qu'il existe un consensus scientifique sur les bénéfices liés à une préservation de la biodiversité, et sur les risques encourus du fait de son érosion, on passe progressivement en matière de protection des cultures de la promesse à la réalité. Et c'est heureux, car la prise de conscience écologique et l'accroissement de la pression sociale qui en découle en faveur d'une réduction importante de l'usage des pesticides imposent une transformation des systèmes agricoles, de manière à ce qu'ils reposent davantage sur des régulations biologiques. Et tout suggère que ces transformations ne pourront être efficaces que si elles sont raisonnées à des niveaux d'organisation qui dépassent la parcelle : et voilà le paysage.

L'immense plus-value de cet ouvrage est de donner à voir les intérêts — et les limites — des connaissances actuelles en ce domaine. Loin d'une incantation au respect de la Nature et de supposés équilibres, trop souvent invoqués quand il s'agit de raisonner l'action au sein des écosystèmes, il s'agit ici d'une entreprise fondée sur la connaissance scientifique et sa mise à l'épreuve pratique, indispensable confrontation au réel. Le contenu scientifique et technique mobilisé est très important, des connaissances théoriques recourant à la modélisation jusqu'aux règles permettant de déboucher à terme sur des recommandations techniques. Il consiste, et c'est une réussite, à faire collaborer deux communautés, celle des écologues qui apportent leur bagage

notamment conceptuel issu d'une analyse séculaire des écosystèmes, et celle des agronomes dont la vocation et la tâche principale sont de transformer les connaissances fonctionnelles en matériau pour l'action, et à les faire dialoguer efficacement avec les géographes, les gestionnaires et les économistes.

Pour autant, cet ouvrage n'est pas un manuel pratique. Il ne permettra pas aux praticiens de construire des paysages à partir de règles fournies clés en main. Cette limite reflète l'honnêteté de l'ouvrage — ne promettons pas plus que ce que nous pouvons tenir — et en marque la position exacte dans un cheminement qui va de la situation du passé, une ignorance quasi complète de la biodiversité dans l'action sur les agroécosystèmes, à une future maîtrise d'une action menée avec la biodiversité. Cette maîtrise n'est pas encore acquise, et ce que l'ouvrage synthétise, c'est un corpus scientifique et technique en croissance, qui permet d'envisager sérieusement quelles sont les actions positives que l'on pourra mener à l'échelle paysagère à court terme et comment les promouvoir, et d'identifier celles qu'il faudra éviter. À ce titre, ce livre est particulièrement approprié pour un public d'étudiants et d'enseignants. Parce qu'il constitue un état de l'art, toujours précieux en matière éducative. Mais aussi parce qu'il fixe les bases de l'action sur les paysages en relation avec la protection des cultures, pour les décennies à venir. Aux générations futures d'incorporer ces bases dans des règles d'action sur les agroécosystèmes qui intégreront d'autres objectifs que la seule santé des plantes, et qui présenteront une cohérence entre les différents niveaux d'action : la parcelle, l'exploitation agricole et le paysage. Cet ouvrage est ainsi un élément essentiel pour la construction des futurs agroécosystèmes. Bravo !

*Thierry Doré,
Professeur à AgroParisTech*

GESTION MULTI-ÉCHELLE DE LA BIODIVERSITÉ FONCTIONNELLE POUR UNE AGRICULTURE DURABLE

*Sandrine Petit, Claire Lavigne, Stéphanie Aviron, Mourad Hannachi,
Adrien Rusch et Muriel Tichit*

Ces 20 dernières années, la prise en compte de la biodiversité* et de son rôle en agriculture est montée en puissance. Cette biodiversité a été pendant longtemps négligée dans les espaces de production, l'idée dominante étant de simplifier et d'homogénéiser au mieux l'environnement cultivé pour mieux le contrôler. Les effets non intentionnels de l'intensification agricole, allant de la pollution provoquée par les intrants chimiques au déclin de biodiversité et à la détérioration de nos paysages, ont montré les limites de ce modèle agricole. Les recherches dans le champ relativement récent de l'agro-écologie* ont parallèlement mis en évidence les différentes fonctions que la biodiversité des espaces cultivés peut remplir. Ce courant reconnaît implicitement que la biodiversité peut représenter un atout pour la construction d'une agriculture plus durable, c'est-à-dire moins dépendante des intrants et donc plus respectueuse de l'environnement. Cela amène à repenser l'utilisation de la biodiversité cultivée, la nature des espèces* et leur diversité au sein des peuplements cultivés, son déploiement dans l'espace et le temps. Cela renouvelle aussi la question du rôle de la biodiversité sauvage hébergée dans les espaces agricoles, qui a connu un déclin marqué durant les dernières décennies. Il s'agit aussi de repenser sa gestion et d'identifier les leviers qui peuvent être mobilisés pour la maintenir et pour promouvoir les fonctions qu'elle fournit.

Parmi la diversité des organismes non cultivés occupant les espaces de production, certains ne sont pas neutres pour la croissance et la santé des plantes cultivées. Par exemple, les organismes vivant dans les sols jouent un rôle majeur dans leur fertilité ou la dégradation des pesticides, et impactent donc indirectement la croissance des cultures. On trouve aussi des organismes dits « bioagresseurs* » qui affectent directement la croissance et la santé des cultures en limitant les ressources disponibles dans l'environnement (flore adventice) ou en s'attaquant directement à la culture (insectes ravageurs, maladies des cultures), mais également des organismes auxiliaires, ennemis naturels* des bioagresseurs qui, par prédation ou parasitisme, contribuent à leur régulation biologique. La biodiversité hébergée dans les milieux agricoles est aussi constituée d'espèces qui jouent un rôle majeur pour la pollinisation de certaines cultures, une fonction essentielle pour certaines productions agricoles. Par leurs rôles, tous ces organismes forment la biodiversité fonctionnelle sur laquelle l'agriculture cherche à s'appuyer pour produire autrement. Dans ce contexte, améliorer notre compréhension des facteurs modulant la biodiversité fonctionnelle dans les espaces cultivés est devenu un enjeu de taille. Les communautés scientifiques fortement mobilisées sont celles des écologues, qui étudient les dynamiques des populations* et communautés* des organismes

impliqués et leurs évolutions, celles des agronomes, qui étudient les pratiques des agriculteurs et le fonctionnement des cultures, et celles des sciences humaines et sociales, qui analysent l'articulation entre des acteurs et processus humains et écologiques dans les territoires agricoles.

À travers l'examen des avancées de ces communautés de recherche sur cette thématique, cet ouvrage révèle des ruptures et des innovations dans les modes de pensée et d'action. La santé des plantes a longtemps été raisonnée exclusivement à la parcelle, niveau de décision de l'agriculteur. Il est cependant connu depuis longtemps que certaines espèces, qu'elles soient des bioagresseurs ou des espèces auxiliaires, explorent les paysages agricoles sur des étendues spatiales relativement larges. En effet, de nombreuses espèces se déplacent fréquemment hors des parcelles pour trouver des ressources alimentaires complémentaires, des sites d'hivernation ou d'estivation, voire de nouveaux espaces cultivés favorables, au fur et à mesure des récoltes. Les implications de cette mobilité sont majeures et complexes à gérer : la biodiversité fonctionnelle sur une parcelle à un moment donné dépendra des actions de gestion qui y sont mises en œuvre localement, mais aussi de celles réalisées sur d'autres portions de l'espace agricole, sur une même période ou sur d'autres pas de temps. Dès lors, il devient primordial d'identifier les dimensions spatiales et temporelles sur lesquelles les différentes espèces fonctionnent. Il convient aussi de repenser les niveaux de gestion sur des étendues spatiales parfois plus larges que la parcelle ou l'exploitation agricole. Ces exploitations sont enracinées dans des sociétés rurales et sous l'influence de diverses politiques publiques. Les exploitations dépendent aussi de filières* qui font leur viabilité et leurs marges de manœuvre. Filières et politiques impactent les décisions des agriculteurs et le poids de l'histoire des filières et politiques agricoles façonne les apprentissages et trajectoires des agriculteurs. Ainsi, les choix des agriculteurs ne peuvent être déconnectés des autres acteurs parties prenantes et d'échelles spatiales et temporelles plus larges que l'exploitation.

Dans cet ouvrage, nous décrivons ces échelles spatiales larges sous le terme générique de paysage, défini comme une portion d'espace dans lequel se déroulent des processus écologiques et décisionnels dynamiques. Le paysage est constitué d'une mosaïque d'éléments du paysage*, semi-naturels et cultivés, de tailles, de formes et d'arrangements variables dans l'espace, mais aussi dans le temps, au rythme des successions culturelles et de l'aménagement du territoire. L'organisation spatiale et temporelle de ces éléments dans les paysages est liée aux contraintes des exploitations agricoles en relation avec leur mode de production, et aux caractéristiques du milieu, et s'inscrivent dans une histoire, liée aux dimensions socio-économiques du territoire. Le paysage est ainsi un niveau d'organisation en soi et il importe de l'analyser en tant que tel pour mieux comprendre les interactions entre activités agricoles et processus écologiques. C'est aussi une échelle opérationnelle pour concevoir et gérer avec les acteurs du territoire des organisations paysagères favorisant la croissance et la santé des plantes. Un premier enjeu est de déterminer dans quelle mesure et à quelle(s) échelle(s) l'organisation spatiale et temporelle des éléments d'un paysage pourrait être un levier pour promouvoir la santé des plantes, compte tenu des spécificités des paysages agricoles et de la diversité des organismes à cibler au sein d'un même paysage. Un second défi est d'explorer les formes de mobilisa-

tion collective des acteurs pouvant contribuer à la mise en place et au pilotage de ces paysages. Ces enjeux sont majeurs et nécessitent que s'agrègent et communiquent différents champs scientifiques autour de l'objet paysage.

La volonté politique de réduire la dépendance de l'agriculture aux produits phytosanitaires fait que les agriculteurs, les conseillers techniques et les chercheurs sont incités à trouver des solutions pour que l'agriculture s'appuie plus fortement sur les fonctions apportées par la biodiversité fonctionnelle. Dans le cadre des plans gouvernementaux visant la réduction de l'usage des pesticides (Écophyto) et plus généralement une production agricole plus durable (Produire autrement, Plan agro-écologie), l'enseignement agricole et les techniciens agricoles sont particulièrement sollicités pour enseigner et mettre en œuvre des démarches de protection des cultures qui s'appuient sur les régulations biologiques naturellement présentes dans les espaces agricoles. Pour autant, les connaissances sur la gestion multi-échelle de la biodiversité fonctionnelle demeurent à ce jour encore peu accessibles hors du monde académique. Les professionnels et les parties prenantes du monde agricole peuvent se sentir démunis pour communiquer sur ces questions alors même qu'elles alimentent de nombreux débats à l'heure actuelle. Alors, quel rôle joue la biodiversité fonctionnelle dans la santé des plantes? Comment gérer durablement la biodiversité fonctionnelle des paysages agricoles? Comment construire des systèmes de production agricoles valorisant mieux les fonctions rendues par la biodiversité? Comment mettre en place et piloter des organisations paysagères impliquant une multiplicité d'acteurs hétérogènes et aux intérêts parfois divergents?

C'est ce constat qui nous a motivés à produire cet ouvrage sur la question des relations entre organisation des paysages, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes, sous une forme qui soit accessible à un large public et avec comme visée le partage de développements et de connaissances sur ce thème d'intérêt sociétal. Cet ouvrage collectif assemble l'expertise de nombreux auteurs, spécialisés dans des domaines aussi variés que l'agro-écologie, l'écologie du paysage, l'agronomie, la géographie, l'épidémiologie, la modélisation spatiale, les sciences de gestion*, les sciences économiques et les sciences sociales, et qui travaillent sur un objectif partagé, la conception et la gestion durable des paysages agricoles.

La première partie est conçue comme un cours magistral d'écologie du paysage, qui permettra au lecteur de s'approprier les concepts et méthodes développés pour étudier le fonctionnement des organismes à différentes échelles spatiales. Les auteurs y présentent des synthèses de connaissances sur :

- la façon dont l'activité agricole a façonné les paysages agricoles, et comment elle agit de façon spécifique sur l'organisation spatiale et temporelle des paysages agricoles et leur évolution, par rapport à des espaces moins anthropisés;
- les principes qui régissent la distribution et la dynamique des espèces et leurs interactions dans un paysage (au niveau des populations et communautés);
- les caractéristiques fonctionnelles des paysages agricoles qui impactent potentiellement la distribution et la dynamique des populations et des communautés;
- comment déduire de ces caractéristiques une caractérisation fonctionnelle des paysages pour la biodiversité.

La deuxième partie présente une synthèse des connaissances acquises sur la réponse des bioagresseurs, des auxiliaires et des pollinisateurs à différentes échelles, et notamment à l'organisation spatiale et temporelle du paysage. Après un premier chapitre synthétisant la biologie et l'écologie de ces organismes d'intérêt en agriculture, les auteurs décrivent dans le détail leur réponse au paysage à partir d'exemples concrets issus de la littérature scientifique récente. La question complexe du lien entre l'organisation du paysage, la biodiversité fonctionnelle et la production agricole est également abordée.

La troisième partie illustre comment ces connaissances agro-écologiques peuvent guider l'action collective et la décision publique, et permettre de concevoir des paysages assurant une régulation biologique des bioagresseurs. Ici, les auteurs nous présentent des cas d'étude montrant une diversité d'approches qui fait explicitement appel aux décisions des acteurs des paysages dans leur diversité, c'est-à-dire qu'ils soient agriculteurs, opérateurs des filières, conseillers, chercheurs ou décideurs publics. Les leviers proposés concernent la biodiversité cultivée (déploiement de variétés résistantes aux maladies dans le paysage, diversification des cultures au sein des territoires). La réflexion est ensuite élargie de façon à considérer les fonctions de régulation des bioagresseurs et de pollinisation dans le contexte plus large de la multitude de fonctions ou services écosystémiques* issus de la biodiversité. On considère alors la multifonctionnalité* des paysages et la question de la gestion de synergies et antagonismes entre ces services.

Cet ouvrage, essentiellement limité à certaines fonctions de régulation biologique et de pollinisation, ne couvre pas l'ensemble des processus écologiques d'intérêt pour la croissance et la santé des plantes. Il offre néanmoins au lecteur des cadres d'analyse relativement génériques et applicables à d'autres thématiques émergentes dans les paysages agricoles. Il présente aussi une vision élargie de ce qui est faisable aujourd'hui et envisageable demain pour concevoir et gérer durablement nos paysages agricoles.

Partie 1

Structuration
et fonctionnement
écologique
des paysages agricoles

Introduction

Stéphanie Aviron

Les paysages agricoles hébergent une biodiversité qui est dans certains cas néfaste à la santé des cultures (organismes bioagresseurs) ou, à l'inverse, contribue à des fonctionnements écologiques favorables au rendement et à la protection des cultures. Comprendre quels facteurs impactent ces processus et la biodiversité dite fonctionnelle qui les assure est un enjeu fort pour permettre le développement de pratiques culturales agro-écologiques.

Dans cet objectif, les études en écologie ou agronomie ont longtemps été focalisées sur la parcelle agricole, ce qui a permis d'identifier un effet fort des pratiques culturelles sur la biodiversité fonctionnelle. L'émergence de l'écologie du paysage a fait évoluer les approches en montrant que le paysage était un niveau d'organisation essentiel pour expliquer les processus écologiques et le maintien de la biodiversité, en lien avec trois constats majeurs :

- l'hétérogénéité* des paysages dans l'espace et dans le temps est une composante essentielle de la distribution et de la dynamique des espèces ;
- cette hétérogénéité est en grande partie gouvernée par les activités humaines ;
- le paysage est un niveau de gestion potentiellement important pour favoriser la biodiversité.

L'objectif de cette première partie est d'éclairer ces trois points en présentant les concepts-clés utilisés en écologie du paysage, ainsi que les questionnements méthodologiques importants à intégrer pour appréhender le rôle des paysages agricoles pour la biodiversité.

Dans le premier chapitre, Papy et Baudry expliquent en quoi les activités humaines, et particulièrement les décisions individuelles ou collectives liées aux activités de production agricole, pilotent la structuration et la dynamique des paysages agricoles. Dans le chapitre 2, Burel et collaborateurs exposent ainsi en quoi cette hétérogénéité générée au sein de la mosaïque paysagère impacte le déplacement des espèces animales et végétales entre éléments cultivés et/ou non cultivés, et leur capacité à exploiter des ressources plus ou moins complémentaires pour réaliser leur cycle de vie. Ces processus influencent à terme la distribution et la dynamique des espèces, la structuration des communautés et des méta-communautés, ainsi que les interactions entre espèces à différents niveaux trophiques. La description et la prise en compte de l'hétérogénéité du paysage restent une question fondamentale en écologie. Dans le chapitre 3, Aviron et collaborateurs présentent l'évolution des approches développées pour étudier ses effets dans l'espace et le temps : d'approches classiquement centrées sur les seuls éléments non cultivés à des approches visant à rendre compte du rôle fonctionnel de

la mosaïque paysagère et de son histoire pour la biodiversité. Dans le chapitre 4, Baudry et collaborateurs présentent et illustrent différentes méthodes visant à décrire cette hétérogénéité paysagère dans toute sa complexité, qu'elle soit spatiale, temporelle, ou en lien avec la perception du paysage par les différentes espèces animales et végétales. Ils montrent l'évolution, d'une part, des outils d'analyse pour décrire les paysages, et, d'autre part, des sources de données liées aux outils de la télédétection pour l'accès à des données avec une résolution de plus en plus fine dans l'espace et le temps. Enfin, dans le dernier chapitre de cette partie, Barbu et collaborateurs détaillent comment la modélisation statistique nous permet de mettre en relation les caractéristiques du paysage, la distribution de la biodiversité et les processus écologiques. Ces méthodes sont potentiellement importantes pour l'agro-écologie, avec des applications très concrètes pour mieux comprendre et hiérarchiser les facteurs qui expliquent la dynamique des bioagresseurs et de leurs ennemis naturels.

Chapitre 1

Agriculture et paysage : d'une gestion individuelle de la production vers une gestion collective de la biodiversité fonctionnelle

François Papy et Jacques Baudry

Dès que l'homme a défriché un espace et l'a fragmenté en parcelles pour y obtenir localement une production végétale, il a forcément perturbé les fonctionnements de l'écosystème dans leur continuité spatiale. Très vite il a pris conscience qu'il ne pouvait pas pratiquer de façon continue une même culture sur une même parcelle. Aussi l'espace cultivé est-il apparu comme une mosaïque de parcelles où alternaient, au cours du temps, phases de culture et de repos de la terre. Par exemple, quelques années de culture sont suivies de longues années de jachère dans l'agriculture itinérante qui subsiste encore dans des régions subtropicales à faible densité de population. En Europe, jusqu'aux environs du XVIII^e siècle, dans le Sud, une année de culture était suivie d'une année de jachère, dans le Nord, deux années de cultures consécutives étaient suivies d'un an de jachère. Pour diverses raisons d'ordre sociologique, relatives à une organisation collective du travail et à la vaine pâture dans les chaumes, après récolte, au profit des plus pauvres, l'espace cultivé était géré collectivement par un regroupement spatial de parcelles cultivées de façon identique, chaque année. Les terrains peu cultivables étaient mis en commun et consacrés au pâturage collectif. Ainsi apparaissaient dans le paysage de grandes taches différenciées par grands types d'usage.

Mais à partir du XVIII^e siècle en Angleterre, puis plus tard en France, va apparaître un courant que l'historien Marc Bloch a qualifié d'individualisme agraire. Il consiste à penser que le progrès de la production agricole passe par l'appropriation privée des communaux et la suppression de la vaine pâture et des jachères. Depuis cette époque jusqu'à maintenant, tout au moins en Europe, la production agricole est le fait d'initiatives individuelles, ainsi, par conséquent, que la structuration des paysages agraires qui en découle.

L'INDIVIDUALISME AGRAIRE AU CŒUR DE LA PRODUCTION AGRICOLE ET DE LA STRUCTURATION DES PAYSAGES

Le système de culture : un concept articulant l'utilisation des ressources dans l'espace et le temps

Le progrès dont il est question consiste à pratiquer la culture continue. Dès le XIII^e siècle, dans le Nord de l'Europe (Flandre, Brabant, Nord-Artois), sous l'effet de l'augmentation de la population et grâce à un usage généralisé d'engrais, les années de jachère disparaissent. Cette possibilité d'intensifier la production agricole par l'apport d'engrais devient, à partir du XVIII^e siècle, en Angleterre, la raison pour laquelle apparaissent les enclosures et l'appropriation des terres à cultiver. C'est à cette époque que, s'inscrivant dans ce courant de pensée qui donnait à l'agriculture un rôle primordial, poussés par les gouvernements qui demandaient d'accroître la production, les agronomes ont commencé à bâtir des théories sur l'entretien de la fertilité des parcelles de culture par une succession de cultures d'espèces différentes (Morlon, 2013 ; Vivier, 2017). Les théories en débat portaient essentiellement sur les raisons pouvant expliquer l'intérêt de faire se succéder des espèces différentes pour valoriser et entretenir la capacité productive des terres. Il était question principalement de l'alimentation des plantes (différence entre espèces quant à la nature et à la profondeur d'épuisement de la terre) mais pas de leur santé, ce qui aurait supposé l'existence éventuelle de relations entre parcelles voisines (Morlon, 2013). Le terme de système de culture* est utilisé, à l'époque, pour parler de préconisations de successions de cultures résultant des doctrines en présence. On emploie également de façon indifférenciée les termes de rotation et d'assolement, établissant ainsi une division de l'espace cultivé en autant de parcelles que d'années de rotation.

Plus tard, au milieu du XIX^e siècle, de Gasparin (cité par Papy, 2013) tire d'une analyse des pratiques ce qu'elles sous-tendent comme principes d'action sur la nature. Et il donne un autre sens au « système de culture » : ainsi distingue-t-il les systèmes qui fonctionnent « par les forces spontanées de la nature » (comme les pâturages), des systèmes où l'homme incorpore du travail (comme les systèmes à jachère ou de culture continue sans engrais), et encore des systèmes recevant des apports fertilisants produits sur d'autres terres agricoles ou venant de l'extérieur. Ainsi introduit-il dans le concept du système de culture l'idée d'une relation entre parcelles d'une même exploitation établie par le transfert de fertilité ou, entre des parcelles et l'extérieur, par l'apport d'intrants et de travail. Il distingue donc ainsi les systèmes de culture des assolements (ou rotations), ces derniers pouvant être réalisés selon différents principes d'action sur « les forces de la nature ».

Dans le courant des années 1970, est apparue la nécessité de clarifier le terme : va-t-il porter sur la rotation des cultures ou sur l'usage fait des ressources productives comme les intrants, le travail, le capital matériel ? C'est une époque où les agronomes ont une approche clinique des pratiques agricoles appliquées à la parcelle de culture. Cette dernière est vue comme un agroécosystème* où sont analysées les relations climat/sol/végétation sous l'action des techniques, mais dans lequel la biodiversité a encore peu de place. Il s'agit de juger le processus d'élaboration de la production végétale et