

www.agronomie.asso.fr

juin 2012

volume n°2 / numéro n°1

Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

Agriculture et écologie

tensions, synergies et enjeux pour l'agronomie

Association Française d'Agronomie
AGRONOMIE



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Comment l'écologie a amené à changer les pratiques des agronomes en recherche

Françoise LES COURRET

Inra - UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles* & Département Environnement et Agronomie

*Domaine Saint-Paul, site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9

Tél : 04 32 72 24 53 - Fax : 04 32 72 24 32

E-mail : francoise.lescourret@avignon.inra.fr

Résumé

L'agronomie est conduite à modifier ses démarches pour faire face à la nécessité d'un équilibre entre sécurité alimentaire et préservation de l'environnement. La pratique des agronomes en recherche change, et l'écologie accompagne ce mouvement. A l'aide d'exemples concrets, cet article illustre quelques facettes. La considération de la variabilité des performances de production est déjà un changement majeur. Les objets de recherche évoluent, avec un intérêt croissant pour la biodiversité fonctionnelle. La gamme des niveaux d'organisation considérés s'élargit. Partant, les schémas d'observation montent en puissance. Enfin, les cadres conceptuels de l'écologie sont éprouvés sur leurs capacités à aider les recherches des agronomes.

Pour poursuivre ce mouvement, l'effort majeur doit être celui d'une fertilisation croisée de l'agronomie et de l'écologie pour construire une ingénierie efficace.

Mots-clés

Variabilité, biodiversité, paysage, observation, concept

Summary

Nowadays, agronomy is invited to modify its approaches in order to face the necessity of a complex balance between food security, preservation of environmental services and the protection of biodiversity. Thus, the research practices in agronomy have to change and ecology as a discipline accompanies this movement. This article illustrates a few facets of this movement by means of concrete examples. Considering the variability of production performances and of underlying processes is already a major point.

Research objects evolve; biotic interactions are explicitly accounted and functional biodiversity as well. The levels of

organisation are not only management levels but biological levels, and the landscape is thought of utmost importance. Observational schemes are increasingly used. At last, ecological concepts and theories such as functional traits or trophic webs and niches are utilised to structure the agronomical research. To continue this general movement, beyond the disciplinary claims it may generate, a major effort must be made in the cross-fertilisation of agronomy and ecology to build a new engineering able to face the current challenges.

Keywords

Variability, biodiversity, landscape, observation, concept

Introduction

Comme l'indique la mise en perspective historique de Boulaïne (1996), dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, les pratiques des agronomes en recherche ont beaucoup évolué. Les domaines d'action des agronomes se sont élargis, la génétique et les biotechnologies en sont des exemples ; les disciplines se sont enrichies et diversifiées, ainsi, on est passé d'une étude des sols à une véritable science des sols. Cette évolution a accompagné le mouvement général de rationalisation de l'agronomie. Pour dépasser les limites de l'application de sciences de base à des objets perçus de façon segmentée (la plante, le sol, l'animal), il est apparu nécessaire d'engager des démarches pluridisciplinaires. Mais ces démarches ne sont pas majoritaires. Plus généralement, selon certains (Weiner, 2003), les sciences agronomiques au sens large sont marquées par le réductionnisme et s'occupent plus des niveaux inférieurs d'organisation que des niveaux supérieurs que sont les populations, les communautés et les écosystèmes - objets de l'écologie, qui les concernent pourtant tout autant. Il existe une recherche agronomique à ces niveaux supérieurs, mais qui n'utilise pas les cadres conceptuels de l'écologie. Ainsi, les modèles de culture sont physiologiques dans leur concept, c'est-à-dire qu'ils sont basés sur des processus physiologiques, ce qui pèse sur la façon d'y inclure (ou de ne pas y inclure) les interactions biotiques dont la plante est un des acteurs (Weiner, *op. cit.*).

La deuxième moitié du 20^{ème} siècle a également été une période majeure de la construction de l'écologie comme discipline. A l'origine descriptive et naturaliste, elle s'est donné un solide bagage

théorique. L'écologie s'est développée en lien avec l'étude de la nature, et elle est encore marquée par une focalisation sur les systèmes faiblement anthropisés (Weiner, *op. cit.*). Dans son histoire récente, profondément liée aux mouvements internationaux de protection de la nature, sont apparues les branches actives que sont la biologie de la conservation puis l'écologie de la restauration (Parizeau, 2010), ainsi que l'écologie fonctionnelle et l'écologie du paysage. Avec ce mouvement général, on est passé de la question de la protection de la nature à celle de la gestion de la biodiversité (Blandin, 2009).

Parallèlement à ces évolutions disciplinaires, la modernisation de l'agriculture s'est accompagnée d'une fragilisation inquiétante de la capacité de production (Boulaïne, *op. cit.*). Ce constat n'est qu'une déclinaison particulière de la conclusion générale de « L'Evaluation des écosystèmes pour le millénaire¹ ». Aujourd'hui, l'agriculture fait face à plusieurs défis, déjà largement évoqués dans cette même revue (Griffon, 2011) et ailleurs (Robertson and Swinton, 2005) : produire plus en quantité et en qualité, y compris des produits non alimentaires, trouver des alternatives à l'usage des ressources fossiles et minières qui s'épuisent, à celui des produits phytosanitaires chimiques dommageables à la santé humaine et à l'environnement, économiser l'eau, limiter la contribution au changement climatique et s'y adapter, protéger la biodiversité.

Pour aider l'agriculture à relever ces défis, la pratique des agronomes en recherche est amenée à changer. L'agronomie a longtemps délaissé les fonctions de régulation biologique dans les agro-écosystèmes (Doré *et al.*, 2011), ce qui se concevait dans un certain contexte. Désormais, elle doit les expliciter et plus globalement chercher les moyens de favoriser les services écosystémiques (bénéfiques fournis aux humains par les écosystèmes) qu'utilise l'agriculture et auxquels elle contribue (Doré *et al.*, *op. cit.*) ; ceci rejoint l'objectif de gestion de la biodiversité des écologues cité plus haut, compte-tenu du rôle majeur de la biodiversité dans la fourniture de ces services (Diaz *et al.*, 2005). L'écologie comme discipline vient naturellement accompagner ce changement. Cet article en illustre quelques facettes à l'aide

d'exemples concrets, et sans prétendre à l'exhaustivité ; il ne traite notamment pas du lien aux sciences humaines et sociales ou aux politiques environnementales ou agricoles.

L'acceptation et la considération de l'hétérogénéité

Est-ce que considérer l'hétérogénéité, non pas des objectifs, mais des performances de production et des processus sous-jacents, va de soi dans la pratique des agronomes en recherche ? Comme dimension d'expression de l'hétérogénéité, je songe ici non pas au temps ou au génotype couramment évoqués, mais à l'espace au sens large du terme, à la plante ou à un segment de plante dès lors qu'il s'agit d'une unité de gestion, comme un rameau ou une branche fruitière en arboriculture. Cette hétérogénéité est prise en compte dans les analyses régionales (Doré *et al.*, 1997). Mais est-elle fréquemment considérée dans les expérimentations courantes, ou dans les grands modèles de culture actuels ? Je ne le crois pas, quoique bien sûr la réponse, si on se restreint au cas des performances de production, dépend du type de production. En horticulture, pour le marché du frais, l'hétérogénéité des performances de production s'impose car les produits sont individualisés pour la rémunération du producteur (laquelle est fondée sur une distribution de critères de qualité) et la satisfaction du consommateur. Cette hétérogénéité, que les producteurs cherchent à maîtriser, devient alors, à des niveaux très inférieurs à la région, même à des niveaux intraplante, une cible des recherches, (Lescourret *et al.*, 1999 ; Lescourret *et al.*, 2011). Dans d'autres cas elle est gommée par le mélange des organes récoltés. Lorsqu'on s'intéresse à d'autres performances de l'agriculture, en l'occurrence aux performances environnementales, on peut vouloir les améliorer en gérant les états de la culture et du milieu de manière raisonnée, donc spatialisée. C'est le principe de l'agriculture de précision qui s'intéresse justement aux manières de mesurer et d'analyser l'hétérogénéité spatiale (cartographie, télédétection, description de structures spatiales) pour en tirer profit en termes de diagnostic et d'aide à la décision pour l'agriculteur (Guérif and King, 2007).

¹ Instaurée en 2001 à la demande du secrétaire général des Nations Unies, Kofi Annan, pour évaluer les conséquences des changements écosystémiques sur le bien-être humain, cette étude a mobilisé plus de 1360 experts du monde entier ; les rapports sont disponibles en ligne (<http://www.maweb.org/fr/index.aspx>).

En écologie, l'hétérogénéité spatiale est devenue assez tôt un objet de recherche central. Dans un article écrit il y a plus de 35 ans, consacré aux réponses des populations aux environnements hétérogènes (« *patchy environments* ») - et cité depuis plusieurs centaines de fois par la communauté scientifique - John Wiens (1976) indiquait qu'en dépit de la variabilité évidente des systèmes naturels, le corpus théorique de l'écologie des populations continuait d'être basé sur l'hypothèse de l'homogénéité environnementale (Wiens, 1976). Il montrait les implications fondamentales de la prise en compte de la variabilité pour représenter la dynamique des écosystèmes, ainsi que la nécessité d'abandonner le dogme de l'équilibre, et celle de penser la variabilité comme un trait essentiel des systèmes biologiques. Depuis, il y a eu beaucoup de chemin parcouru, l'écologie spatiale s'est dessinée, les notions de méta-population et de méta-communauté sont apparues. L'agronomie commence à tirer grand avantage des concepts et méthodes que l'écologie développe pour l'appréciation de l'hétérogénéité, à travers des études d'agro-écologie s'intéressant notamment au contrôle des bioagresseurs. Pour prendre un exemple concret, des démarches éprouvées d'explicitation des patrons spatiaux d'insectes en écologie (Vinatier *et al.*, 2011b) ont été utilisées avec profit pour réfléchir à des arrangements spatiaux de pièges et des modalités de fragmentation de la culture de bananier propices au contrôle du charançon noir, son principal ravageur (Vinatier *et al.*, 2012).

Le changement d'objet : les interactions biotiques, la biodiversité fonctionnelle

Comme évoqué en introduction, l'agronomie s'attache désormais aux fonctions de régulation biologique dans les agro-écosystèmes, elle change d'objets, elle élargit son périmètre sol-plante-climat-pratiques. Face à la nécessité de réduire les usages des pesticides et des engrais, l'idée de reconsidérer et de valoriser les interactions biotiques monte en puissance. Pour la nutrition des plantes, les symbioses des légumineuses occasionnent un renouveau d'intérêt pour ces plantes et les agronomes examinent à la fois les facteurs agronomiques favorisant ou limitant la fixation d'azote et la façon d'associer, dans le temps ou

par des mélanges, les légumineuses aux cultures (Vertès *et al.*, 2010). Pour la protection des plantes, le rôle des ennemis naturels des bioagresseurs est revisité et quantifié (Dib *et al.*, 2010) à la lumière des interactions intra-gilde² capables de peser largement sur l'efficacité du contrôle (Dib *et al.*, 2011). La plante agressée par des ravageurs n'est plus vue uniquement comme un élément central soumis à des contraintes externes, mais comme un des acteurs d'une chaîne trophique dont il s'agit d'explorer la dynamique et la réaction « en cascade » aux pratiques culturales (Gutierrez, 1996 ; Grechi *et al.*, 2010). Le rôle particulier de l'agronomie est de penser la façon dont les agriculteurs peuvent orienter ces interactions dans le sens voulu, et les revues de Rusch *et al.* (2010) et de Médiène *et al.* (2011) l'illustrent bien : on peut piloter les interactions par des pratiques culturales (par exemple désynchroniser plantes cultivées et pathogènes en jouant sur la date de semis), on peut les créer et les complexifier, comme en introduisant une plante de couverture qui modifie la relation entre des plantes cultivées et des adventices, ou en installant et gérant des habitats semi-naturels qui favorisent les ennemis des bioagresseurs. L'éclairage théorique et empirique apporté par l'écologie sur ces interactions est indispensable à leur gestion, et les agronomes l'utilisent désormais, ce qui est visible dans tous les articles cités dans ce paragraphe.

Au-delà des interactions biotiques, la biodiversité fonctionnelle devient un objet de préoccupation majeur, pour les agronomes comme pour les écologues qui partagent le souci de la gestion des services des écosystèmes (Kremen, 2005) à la suite des conclusions alarmantes de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire. Bien que la relation entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes (BFE) soit désormais un champ de recherche très actif liant écologie des communautés et écologie des écosystèmes (Loreau *et al.*, 2001), la caractérisation des « fournisseurs » de service (comme la litière, les invertébrés et micro-organismes du sol, les plantes fixatrices d'azote pour le service de support qu'est la formation et la fertilité du sol) reste un champ à explorer, et on ne sait guère les conditions de réponses compensatoires ou stabilisantes des fonctions des écosystèmes aux changements de structure des com-

² Ensemble d'espèces partageant une même ressource trophique (prédateurs d'un ravageur dans l'article cité).

munautés (Kremen, *op. cit.*). Les études de BFE ont concerné la biodiversité du sol en lien notamment avec les cycles biogéochimiques (Beare *et al.*, 1995) ou les assemblages de producteurs primaires comme les prairies. Pour les réseaux trophiques, selon Duffy *et al.* (2007) les travaux sont encore trop peu nombreux pour que l'on puisse avancer des lois générales sur les effets de l'interaction entre diversité horizontale (au sein d'un même niveau trophique) et verticale (entre niveaux trophiques). La contribution conceptuelle de Moonen et Barberi (2008) sur la biodiversité fonctionnelle dans les agroécosystèmes est exemplaire du profit qu'on peut tirer dans ce domaine de la confrontation entre les cultures des communautés d'écologues et d'agronomes. Selon ces auteurs, dans le contexte des agroécosystèmes, la notion de groupe fonctionnel couramment utilisée dans les études de BFE doit être repensée : à la fois rapprochée des services écosystémiques en définissant des groupes fonctionnels qui contribuent concrètement à ces services (bio-fonctionnalité ; par exemple bactéries du sol importantes pour la formation de la matière organique) ; et intégrant la diversité en s'interrogeant sur l'effet de la diversité dans le groupe sur les services (fonctionnalité de la biodiversité ; par exemple diversité génétique au sein d'une tache de population de plante augmentant sa capacité à attirer des arthropodes prédateurs). D'après une compilation importante de publications réalisée par Moonen et Barberi (*op. cit.*) la bio-fonctionnalité a été étudiée par les agronomes, et la fonctionnalité de la biodiversité, de façon plus ancienne, par les écologues.

La gamme des niveaux d'organisation étudiés s'élargit

Avec le changement d'objets, avec l'importance grandissante des composantes biologiques dans les recherches des agronomes, la gamme des niveaux d'organisation étudiés s'élargit. Bien sûr, les agronomes n'ont pas une appréciation étroite des niveaux d'organisation *techniques*, ils réalisent des études aux niveaux de la parcelle, de l'exploitation agricole, et du territoire. Cependant la parcelle a joué un rôle central dans l'élaboration du corpus conceptuel et méthodologique de l'agronomie, et continue d'être l'unité de base de beaucoup de

travaux, au point de pouvoir être un point de blocage (Nesme *et al.*, 2010). Le fait d'étudier des populations en interaction amène des niveaux d'organisation *biologiques* difficiles à cerner. Ainsi les populations elles-mêmes offrent des structures spatiales qui apparaissent à divers niveaux correspondant aux individus occupant un espace de vie (au sens de la socialité d'un animal), aux groupes d'individus ou populations locales, et aux (méta)populations qui relient ces groupes par des mécanismes de dispersion (Legay and Debouzie, 1985).

Les modalités de la dispersion des espèces cibles des recherches sont donc importantes pour le choix des dimensions de l'espace étudié (Legay et Debouzie, *op. cit.*). La dynamique spatio-temporelle d'un charançon du bananier qui parcourt moins d'un mètre par jour peut s'apprécier sur une parcelle de bananier à condition de la considérer comme un espace composite au sein duquel le ravageur choisit des habitats (Vinatier *et al.*, 2011a). Mais bien des bioagresseurs ont des capacités de dispersion importantes, ce qui justifie d'étudier leur dynamique au niveau du paysage, comme souligné dans des revues pré-citées (Nesme *et al.*, *op. cit.*, Rusch *et al.*, *op. cit.*). Actuellement en France, un nombre croissant de publications consacrées au contrôle des bioagresseurs concerne l'effet des caractères ou de la complexité du paysage sur des populations (ravageurs ; Ricci *et al.*, 2009), des communautés (adventices ; Gaba *et al.*, 2010) ou des taux de parasitisme (Rusch *et al.*, 2011). C'est un mouvement général à l'échelle internationale, dont les résultats font l'objet de nombreuses revues et méta-analyses (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011). Il faut signaler que les travaux français se situent dans un sillon tracé, au fil de la construction de l'écologie du paysage (Burel and Baudry, 1999), par les unités de recherche de Rennes (SAD et Ecobio) et Toulouse (Dynafor)³ qui ont été pionnières pour étudier, dès les années 80-90, les interactions entre activités agricoles, paysage et biodiversité.

La distinction que j'ai faite entre niveaux d'organisation techniques et biologiques est à mettre en regard du débat sur la discordance des échelles spatiales des processus écologiques et de la gestion agricole, qui pénalise par exemple les politiques agri-environnementales. Dans leur re-

³ <http://ecobio.univ-rennes1.fr/news.php>, <http://www.rennes.inra.fr/sad> et <https://dynafor.toulouse.inra.fr/web/>

vue, Pelosi *et al.* (2010) donnent de nombreux exemples de cette discordance, comme dans l'approche « managériale », avec une perception étroite ou nulle du paysage, ou le fait que des mesures agri-environnementales s'appliquent sur une portion d'espace beaucoup plus petite (une ferme) que le domaine vital des espèces cibles de ces mesures ; ou dans l'approche « écologique », des propositions irréalistes d'unités de gestion pour la biodiversité (beaucoup trop vastes). Ils proposent pour résoudre cette discordance de travailler sur les notions de gestion multi-niveaux et sur celle de gestion collective et de coordination.

Du schéma expérimental au schéma d'observation

Beaucoup d'agronomes sont déjà hors du schéma expérimental classique (et encore dominant), dès lors qu'ils analysent les pratiques ou les performances agricoles à des échelles régionales. Mais d'autres vont être amenés, par la considération de la variabilité, du changement d'objets et de niveaux, à suivre ce chemin. C'est une contrainte, parce que la possibilité d'expérimenter en contrôlant des facteurs est un avantage considérable pour identifier des relations de cause à effet. A l'inverse des agronomes, les écologues sont historiquement beaucoup plus observateurs qu'expérimentateurs, bien qu'ils étudient des microcosmes et des mésocosmes et réalisent des expériences de laboratoire, notamment des expériences d'évolution. Ils ont donc été confrontés très tôt à cette contrainte et ont développé pour la dépasser un corpus méthodologique très important pour l'observation en environnement hétérogène et complexe et le traitement des données d'observation. Ils ont ainsi mis au point des stratégies d'échantillonnage sophistiquées à un degré leur permettant de parler de « théorie de l'échantillonnage écologique » (Frontier, 1982). Ils ont développé, dans le cadre des analyses multivariées qui est propre à prendre en compte la complexité des processus écologiques observés, des méthodes pour résoudre les confusions d'effets, comme l'analyse de piste, ou pour éliminer des effets dans ce qui a été appelé, dans l'idée de se rapprocher de la notion de plan expérimental, des « plans d'observation » (Yoccoz and

Chessel, 1988). A titre d'exemple, le laboratoire de biométrie et biologie évolutive de Lyon (UMR CNRS) a élaboré depuis les années 80 et propose de nos jours un nombre considérable de ressources en termes d'analyse exploratoire de données écologiques, dont le logiciel ade4 qui est un paquet R⁴, avec des formations associées. Ce corpus méthodologique sera très utile aux agronomes et beaucoup d'entre eux se le sont approprié ou se l'approprient, mais il existe des segments de l'agronomie au sens large où ces méthodes sont encore très peu utilisées, comme l'horticulture.

La notion de site d'observation s'enrichit par celle de site écologique à long terme, dont le besoin se fait pressant face aux perspectives de changement global. Les paysages agricoles sont des candidats très pertinents et en France plusieurs font l'objet de suivis de la dynamique des pratiques et des processus agro-écologiques. Ces sites sont l'occasion d'examiner l'évolution des services écosystémiques, que Janzen (2009) perçoit comme un concept unifiant propre notamment à briser les frontières entre disciplines. Cette idée est reprise par Collins *et al.* (2011) qui l'assortissent d'un cadrage conceptuel propre à intégrer les différents rythmes de la dynamique de ces évolutions et leur appréhension par les sciences biologiques, physiques et sociales. L'examen de ces évolutions doit se faire *entre les sites* pour acquérir une vision globale, ce qui suppose de partager des questions, des protocoles et des bases de données (Janzen *op. cit.*). La mise en réseau de sites observatoires est d'ailleurs encouragée aux niveaux français, européen ou international (ilternet.edu). Tout cela impliquera des nouveaux méthodologiques que suivront les agronomes. Cette notion de site écologique à long terme n'est de plus pas réservée aux sites non expérimentaux ; l'idée générale de la mise en réseau et du suivi peut très bien s'appliquer aux sites expérimentaux et l'idée d'associer et/ou d'articuler observation *in situ* et dans des sites expérimentaux doit être creusée (Balent, comm. pers.). Aux Etats-unis, le site *Long Term Ecological Research* de *Kellog Biological Station* fonctionne sur ce principe depuis ses origines.

⁴ R est à la fois un langage et un environnement (libre) dans lequel des techniques graphiques et statistiques sont implémentées sous forme de « paquets ».

Utilisation des concepts et théories de l'écologie

Le cadrage conceptuel et théorique est puissant en écologie. Il permet de dépasser les études de cas en les unifiant, et de baliser la progression de la réflexion scientifique. L'exploration des concepts et théories de l'écologie est à l'œuvre dans la communauté des agronomes, comme le montre le foisonnement actuel de revues bibliographiques et papiers d'opinion dont plusieurs ont été cités précédemment. Quelques exemples concrets peuvent être mentionnés pour illustrer comment les agronomes s'emparent de ces concepts et théories. Les concepts de réseau et de niche trophiques sont utiles pour se poser la question du rôle des plantes de couverture, utilisées de façon croissante dans les agro-écosystèmes, pour la régulation des bioagresseurs. Ainsi Duyck *et al.* (2011) se demandent si l'ajout d'une telle plante, nouvelle ressource basale dans le réseau trophique lié à une culture, modifie la position trophique (appréciée par des méthodes utilisant les isotopes stables) de prédateurs généralistes ; la réponse positive amène de nouvelles hypothèses à tester, comme le changement de proies consommées, importantes à la fois au plan théorique et pour éprouver la capacité de ces prédateurs à réguler des insectes ravageurs. Le concept de trait fonctionnel est de plus en plus utilisé pour élucider le fonctionnement des communautés de plantes. Duru *et al.* (2011) ont créé une boîte à outils pour l'évaluation des prairies permanentes en utilisant ce concept ; un des outils évalue une valeur d'usage agricole à partir de la composition fonctionnelle de la végétation. Malézieux (2012) met en avant plusieurs concepts écologiques pour une conception de systèmes de culture « inspirés de la nature », comme la complémentarité des traits fonctionnels de plantes, importante pour la résilience des systèmes, ou l'attention à la facilitation entre plantes ; il recommande également de s'inspirer du corpus de connaissances relatifs aux successions écologiques pour raisonner la dynamique des agro-écosystèmes.

L'idée n'est pas de « plaquer » ces théories et concepts sur la pratique des agronomes. Il s'agit plutôt de s'en inspirer, de mettre à l'épreuve ces théories par confrontation aux données, de les faire évoluer et de les enrichir par une vision agro-

nomique. Certains écologues sont très critiques sur la capacité des modèles mathématiques fort abstraits qui fondent une partie du corpus théorique de l'écologie et occupent une place importante dans ses ouvrages et revues, à aider à la résolution des problèmes agricoles ou même à rendre compte des réalités écologiques (Hall, 1988 ; Weiner, *op. cit.*). La revue de Logue *et al.* (2011) montre à propos des méta-communautés l'intérêt de confronter approches empiriques et théoriques ; des exemples tirés des agro-écosystèmes, comme les communautés d'adventices, y manquent encore mais ce vide devrait se combler bientôt pour le bénéfice de ce champ d'étude très prometteur.

En guise de conclusion...

L'écologie a donc amené à changer les pratiques des agronomes en recherche. Certains pensent que l'agronomie du futur doit être pensée scientifiquement comme une écologie appliquée (ce que revendiquait Hénin cité dans Boulaine, *op. cit.*) ou, si l'on préfère, comme une forme d'ingénierie écologique (Weiner, *op. cit.*). En parallèle, les changements de l'agriculture posent des défis et l'éditeur d'une revue comme *Journal of Applied Ecology* invite les écologues à y répondre (Ormerod *et al.*, 2003). Les écologues ne sont d'ailleurs pas dépourvus devant l'idée de gestion des écosystèmes, bien que cette gestion ne soit pas souvent dirigée vers des usages agricoles. A titre d'exemple concret, les concepts d'assemblage des communautés de plantes sont mobilisés dans la conception de communautés restaurées pour renforcer leur résistance à l'invasion (Funk *et al.*, 2008). Du reste, un nombre croissant d'articles de *Journal of Applied Ecology* concerne la restauration ou la remédiation d'écosystèmes (Ormerod *et al.*, 2003).

In fine, pour faire émerger une ingénierie capable de faire face aux défis actuels, l'agronomie et l'écologie doivent procéder d'une fertilisation croisée (Robertson and Swinton, 2005). Cette fertilisation ne prendra du sens qu'au prix d'une interaction étroite avec les sciences sociales et humaines, propre à identifier et à hiérarchiser les services des agro-écosystèmes cibles des préoccupations générales (Robertson and Swinton, *op. cit.*).

Bibliographie

- Beare, M., Coleman, D., Crossley, D., Hendrix, P., Odum, E., 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil* 170, 5-22
- Blandin, P., 2009. De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité. Quae, Versailles
- Boulaïne, J., 1996. Histoire de l'Agronomie en France. Lavoisier Tec&Doc, Paris
- Burel, F., Baudry, J., 1999. Ecologie du paysage. Concepts, méthodes, applications. Lavoisier Tec&Doc, Paris
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M.E., Blitzer, E.J., Kremen, C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters* 14, 922-932
- Collins, S.L., Carpenter, S.R., Swinton, S.M., Orenstein, D.E., Childers, D.L., Gragson, T.L., Grimm, N.B., Grove, M., Harlan, S.L., Kaye, J.P., Knapp, A.K., Kofinas, G.P., Magnuson, J.J., McDowell, W.H., Melack, J.M., Ogden, L.A., Robertson, G.P., Smith, M.D., Whitmer, A.C., 2011. An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9, 351-357
- Diaz, S., Tilman, D., Fargione, J., 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services Millenium Ecosystem Assessment, pp. 297-329
- Dib, H., Jamont, M., Sauphanor, B., Capowiez, Y., 2011. Predation potency and intraguild interactions between generalist (*Forficula auricularia*) and specialist (*Episyrphus balteatus*) predators of the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea*). *Biological Control* 59, 90-97
- Dib, H., Simon, S., Sauphanor, B., Capowiez, Y., 2010. The role of natural enemies on the population dynamics of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in organic apple orchards in south-eastern France. *Biological Control* 55, 97-109
- Doré, T., Le Corre-Gabens, N., Meynard, J.M., 2011. Le Grenelle de l'environnement : implications pour l'agronomie et les métiers d'agronomes. *Agronomie, Environnement et Sociétés* vol.1, n°1, 13-20
- Doré, T., Sebillotte, M., Meynard, J.M., 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems* 54, 169-188
- Duffy, J.E., Cardinale, B.J., France, K.E., McIntyre, P.B., Thebault, E., Loreau, M., 2007. The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecology Letters* 10, 522-538
- Frontier, S. (Ed), 1982. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson et Les Presses de l'Université Laval, Paris et Québec
- Gaba, S., Chauvel, B., Dessaint, F., Bretagnolle, V., Petit, S., 2010. Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 318-323
- Grechi, I., Hilgert, N., Sauphanor, B., Senoussi, R., Lescourret, F., 2010. Modelling coupled peach tree-aphid population dynamics and their control by winter pruning and nitrogen fertilization. *Ecol. Model.* 221, 2363-2373
- Griffon, M., 2011. Les enjeux internationaux de l'agriculture et les implications pour l'agronomie. *Agronomie, Environnement et Sociétés* Vol.n n°0, 4-7
- Guérif, M., King, D. (Eds.), 2007. Agriculture de précision. Quae, Versailles
- Gutierrez, A.P., 1996. Applied population ecology. A supply-demand approach. John Wiley & sons, Inc, New York
- Janzen, H.H., 2009. Long-term ecological sites: musings on the future, as seen (dimly) from the past. *Global Change Biology* 15, 2770-2778
- Kremen, C., 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8, 468-479
- Legay, J.M., Debouzie, D., 1985. Introduction à une biologie des populations. Masson, Paris
- Lescourret, F., Blecher, N., Habib, R., Chadoeuf, J., Agostini, D., Pailly, O., Vaissiere, B., Poggi, I., 1999. Development of a simulation model for studying kiwi fruit orchard management. *Agricultural Systems* 59, 215-239
- Lescourret, F., Moitrier, N., Valsesia, P., Genard, M., 2011. QualiTree, a virtual fruit tree to study the management of fruit quality. I. Model development. *Trees-Structure and Function* 25, 519-530
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., Wardle, D.A., 2001. Ecology - Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science* 294, 804-808
- Malézieux E., 2012. Designing cropping systems from nature. *Agron. Sus. Dev.*, 32(1), 15-29.
- Médiène, S., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.-P., de Tournonnet, S., Gosme, M., Bertrand, M., Roger-Estrade, J., Aubertot, J.-N., Rusch, A., Motisi, N., Pelosi, C., Dore, T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 31, 491-514
- Moonen, A.-C., Barberi, P., 2008. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agric. Ecosyst. Environ.* 127, 7-21
- Nesme, T., Lescourret, F., Bellon, S., Habib, R., 2010. Is the plot concept an obstacle in agricultural sciences? A review focussing on fruit production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138, 133-138
- Parizeau, M.H., 2010. Biotechnologie, nanotechnologie, écologie. *Entre science et idéologie*. Quae, Versailles.
- Pelosi, C., Goulard, M., Balent, G., 2010. The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: Do difficulties come from underlying theoretical frameworks? *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 455-462

- Ricci, B., Franck, P., Toubon, J.-F., Bouvier, J.-C., Sauphanor, B., Lavigne, C., 2009. The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France. *Landscape Ecology* 24, 337-349
- Robertson, G.P., Swinton, S.M., 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3, 38-46
- Rusch, A., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.-P., Roger-Estrade, J., 2011. Multi-scale effects of landscape complexity and crop management on pollen beetle parasitism rate. *Landscape Ecology* 26, 473-486
- Rusch, A., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.P., Roger-Estrade, J., 2010. Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: a review. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol 109, pp. 219-259
- Vertès, F., Jeuffroy, M.H., Justes, E., Thiébeau, P., Corson, M., 2010. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. *Innovations Agronomiques* 11, 25-44
- Vinatier, F., Lescourret, F., Duyck, P.-F., Martin, O., Senoussi, R., Tixier, P., 2011a. Should I Stay or Should I Go? A Habitat-Dependent Dispersal Kernel Improves Prediction of Movement. *Plos One* 6
- Vinatier, F., Lescourret, F., Duyck, P.-F., Tixier, P., 2012. From IBM to IPM: Using individual-based models to design the spatial arrangement of traps and crops in integrated pest management strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 146, 52-59
- Vinatier, F., Tixier, P., Duyck, P.F., Lescourret, F., 2011b. Factors and mechanisms explaining spatial heterogeneity: A review of methods for insect populations. *Methods in Ecology and Evolution* 2, 11-22
- Weiner, J., 2003. Ecology - the science of agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Science* 141, 371-377
- Wiens, J.A., 1976. Population responses to patchy environments. *Annual Review of Ecology and Systematics* 7, 81-120
- Yoccoz, N., Chessel, D., 1988. Constrained ordination of bird count data - Effects elimination in a 2-factor experimental design.. *Comptes Rendus De L'Academie Des Sciences Serie Iii-Sciences De La Vie-Life Sciences* 307, 189-194