

COMPTES RENDUS

DE L'ACADÉMIE

D'AGRICULTURE DE FRANCE

LES AGRICULTEURS NON CONVENTIONNELS

GRANDE DISTRIBUTION ET CHOIX ALIMENTAIRES

SYSTÈMES AGROFORESTIERS ET DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DURABLE

PRODUCTION ANIMALE EN CHINE

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DU TERRITOIRE ET BIOVIGILANCE

LES ANIMAUX DANS LA GRANDE GUERRE

LOI SUR LA BIODIVERSITÉ : CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS

AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE EN BRETAGNE

TRAME VERTE, TRAME BLEUE

L'EMPREINTE EAU, INTÉRÊT ET LIMITES

UTILISATION DU POTENTIEL BIOLOGIQUE DES SOLS

SOMMAIRE

SÉANCES ET COLLOQUES D'AVRIL À JUIN 2015

- 3 **LES AGRICULTEURS NON CONVENTIONNELS**
Séance animée par **Bernard Roux** (8 avril 2015)
À la recherche statistique des agriculteurs non conventionnels, par **Maurice Desriers**.
Les agricultures non conventionnelles : un autre modèle professionnel, par **Pierre Muller**.
Le réseau des fermes du CIVAM à l'épreuve des conventions, par **Jean-Claude Balbot**.
- 9 **L'INFLUENCE DE LA GRANDE DISTRIBUTION SUR LES CHOIX ALIMENTAIRES**
Séance animée par **Pascale Hébel** et **Gérard Pascal** (15 avril 2015)
La grande distribution : un terrain d'expérimentation pour mieux comprendre le comportement des consommateurs, par **Philippe Imbert**.
Les résultats de l'expérimentation d'un fléchage nutritionnel dans deux supermarchés à Marseille ; le choix Vita, par **Isabelle Dona**. (Voir la présentation sur le site internet)
Retirer ceci (ou pas), ajouter cela (ou pas) : une classification des allégations de santé affichées sur les produits alimentaires, par **André Quentin**.
- 17 **LES SYSTÈMES AGROFORESTIERS PERMETTENT-ILS DE FONDER UN DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DURABLE ?**
Colloque organisé par **Yves Birot** et **Bernard Le Buanec** (16 avril 2015)
Bases biophysiques et fonctionnement écophysologique d'un système agroforestier, par **Christian Dupraz**.
Compromis ou synergies entre productions et autres services écosystémiques, les systèmes agroforestiers sont-ils gages de développement agricole durable ? par **Jean-Michel Harmand**.
Les arbres dans les paysages ruraux : atouts pour l'agroécologie, par **Marc Deconchat**.
L'agroforesterie en zone tropicale humide : une opportunité pour une nouvelle cacao-culture, par **Patrick Jagoret**.
L'agroforesterie en zone tropicale sèche : la régénération naturelle assistée, l'espoir du reverdissement du Sahel ? par **Régis Peltier**.
Les limites actuelles du système et les recherches à entreprendre pour lever les verrous existants, par **David Grandgirard**.
- 29 **LA DYNAMIQUE DU DÉVELOPPEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES EN CHINE ET SON IMPACT SUR LES MARCHÉS MONDIAUX**
Séance animée par **Jean-Paul Jamet** (13 mai 2015)
Le développement de la consommation des produits animaux ; analyse de l'essor des productions de lait et de viande bovine l'agriculture, par **Jean-Marc Chaumet**.
Le développement des filières monogastriques ; l'expérience de l'IFIP (Institut Français du Porc) dans l'appui à la filière chinoise du porc, par **Philippe Lecouvey**.
Évaluation de l'impact de l'état sanitaires des élevages en Chine sur les épizooties et les zoonoses dans le monde, par **Jean-Philippe Dop**.
(Voir les présentations sur le site internet)
- 35 **SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DU TERRITOIRE ET BIOVIGILANCE : OUTILS, ACTIONS ET BILANS**
Séance animée par **Catherine Regnault-Roger**, **Agnès Ricroch** et **Marie-Laure Desprez-Lousteau** (20 mai 2015)
La biovigilance en France : objectifs, organisation, réseau, outils et premiers résultats par **Jérôme Jullien**.

La santé des forêts : situation et perspectives après 25 ans de surveillance sanitaire,
par **Jean-Luc Flot**.

La surveillance des effets non intentionnels des pratiques agricoles: enjeux méthodologiques
et réflexion européenne, par **Antoine Messéan**.

La surveillance biologique du territoire et la biovigilance aux États-Unis d'Amérique :
gérer les ressources et favoriser l'innovation, par **Agnès Ricroch**.

65 **LES ANIMAUX DANS LA GRANDE GUERRE**

Journée d'étude de la Société d'Ethnozootecnie et l'Association pour l'Étude de l'Histoire
de l'Agriculture organisée avec le concours de l'Académie d'Agriculture de France
(21 mai 2015)

69 **LOI SUR LA BIODIVERSITÉ : CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS**

Séance animée par **Jean-Claude Mounolou** (27 mai 2015)

La loi « biodiversité » : de nouveaux horizons pour l'agriculture, par **Denis Couvet**.

La loi est idéologique et liberticide, par **Christian Lévêque**.

Projet de loi biodiversité, par **Carol Hernandez-Zakine**.

81 **AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE EN BRETAGNE : FORCES, FAIBLESSES,
MARGES DE MANŒUVRE ET STRATEGIES D'AVENIR**

Séance animée par **Jean-Claude Guesdon** (3 juin 2015)

Agroalimentaire en Bretagne, crise subie ou mutation accélérée on par **Jean-Paul Simer**.

Mise en perspective de ces atouts/handicaps de l'agroalimentaire du Grand Ouest dans le
contexte concurrentiel européen et mondial, par **Yves Trégaro**.

89 **TRAMES VERTES, TRAMES BLEUES : QUELS RÉSEAUX ÉCOLOGIQUES POUR
DEMAIN ?**

Séance animée par **Pierre Donadieu** (10 juin 2015)

Enjeux des trames vertes et bleues, par **Philippe Clergeau**.

La trame verte et bleue : Un outil d'aménagement du territoire pour la préservation de la
biodiversité, par **Fabienne Allag-Dhuisme**.

Convergences ou conflits entre urbanisme, écologie et paysage, par **Pierre-Marie Tricaud**.

101 **L'EMPREINTE EAU – INTÉRÊT ET LIMITES**

Séance animée par **Bernard Saugier**(16 juin 2015)

L'empreinte eau : état des lieux et perspectives, par **Daniel Zimmer**.

Analyse du concept de l'empreinte eau au niveau agronomique, par **Jean-Paul Bonnet**.

L'empreinte eau : une vue critique, par **Jean-Marc Boussard**.

Empreinte eau en fonction de la disponibilité de l'eau : commentaires à partir de l'exemple
français, par **Bernard Itier**.

113 **UTILISATION DU POTENTIEL BIOLOGIQUE DES SOLS**

Colloque organisé par l'Académie d'Agriculture dans le cadre de l'Année mondiale du Sol
(24 juin 2015)

141 **Présentations d'ouvrages
Analyses de thèses**

159 **Vie de l'Académie**

LES AGRICULTEURS NON CONVENTIONNELS

INTRODUCTION

par Bernard **Roux**¹

Chers consœurs et confrères,
Mesdames, messieurs

Un groupe de membres des sections 4 et 10 a proposé, il y a quelques mois, de réfléchir sur la situation d'une catégorie d'agriculteurs qui a été désignée, après débat, sous l'expression « agriculteurs non conventionnels ». Une première réunion de travail a eu lieu sur ce thème le 21 janvier dernier, avec la présentation de deux exposés. La séance d'aujourd'hui constitue l'étape suivante, avec les exposés de Maurice **Desriers**, Pierre **Muller** et Jean Claude **Balbot**.

Mais à quoi correspond cette expression « agriculteurs non conventionnels »? Comment les compter, comment les qualifier? Comment les prendre en compte ? La non conventionalité n'étant pas un concept établi, je propose de partir de son opposé, la conventionalité, notion à propos de laquelle règne un certain consensus.

On peut considérer que l'agriculteur conventionnel serait celui qui suit les préceptes du système économique et social qui est établi depuis le règne dit de la cogestion, ce modèle français d'encadrement de l'agriculture instauré au début des années 1960. Définition qui mériterait éclaircissement mais qui recouvre des comportements concrets sur lesquels il n'est pas trop difficile de se mettre d'accord. Ainsi, un agriculteur conventionnel serait celui qui se spécialise dans un petit nombre de productions, voire la monoproduction, qui cherche dans la mesure du possible à agrandir son assise foncière, qui a recours aux produits de l'agrofourmiture, qui accumule du capital, quitte à s'endetter parfois dangereusement, qui cherche à augmenter le plus possible la productivité du travail en remplaçant le travail familial par le capital et par le travail salarié, qui se soumet à la normalisation des produits, qui livre sa production aux grandes filières des industries agroalimentaires, coopératives ou non, voire se transforme en *trader* sur les marchés internationaux. Dans le grand public, on évoque cet agriculteur en disant de lui qu'il pratique l'agriculture productiviste ou industrielle, tandis que dans les milieux agricoles et de l'Administration on aime en faire un agriculteur professionnel.

Ainsi, par déduction, l'agriculteur non conventionnel serait celui qui s'éloigne partiellement ou complètement de ces comportements. Cette déviance, si l'on peut dire, peut être contrainte ou non. Contrainte si, par exemple, elle est due à l'insuffisance de terre agricole ou non contrainte, si elle résulte d'un choix délibéré qui peut s'inscrire dans une critique radicale du système économique et social dominant. Les agriculteurs qui entrent dans cette catégorie composent un univers très varié que l'on peut aborder selon plusieurs entrées, entre autres celles-ci :

- l'approche par l'étude statistique,
- l'approche par l'étude de la diversification des activités au sein de l'exploitation,

¹ Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Chercheur honoraire de l'INRA, Président du Comité de rédaction de la revue *Économie rurale*.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°2.

- l'approche par l'agronomie et l'étude des techniques de production,
- l'approche par l'étude sociologique.

Comment compter et décrire ces agriculteurs? Comme ce qui les caractérise est le peu d'attention qu'on leur porte, on conçoit qu'il n'est pas facile d'en avoir une approche statistique. Il faut souligner qu'en général ils ne bénéficient que d'une faible considération de la part, tant de l'administration que des institutions agricoles. Certains d'entre eux, d'ailleurs, se positionnent volontairement en marge du système et s'insèrent dans l'économie et la société en rupture avec les formes traditionnelles. Malgré tout, il existe des possibilités d'approcher la dimension et les caractéristiques de cette population diversifiée, c'est pourquoi nous aurons une présentation par Maurice **Desriers** de ce que les statistiques agricoles peuvent nous dire sur ce sujet.

En ce qui concerne les activités de diversification, on sait que de nombreux agriculteurs introduisent dans leurs exploitations des activités venant s'ajouter à la production agricole proprement dite, de façon à augmenter la valeur ajoutée. Cette introduction qui a fréquemment pour origine le manque de surface agricole, tranche avec la spécialisation productive; il s'agit principalement de la transformation du produit agricole sur l'exploitation, de la commercialisation directe sous ses nombreuses formes, de la mise en œuvre d'activités non proprement agricoles comme l'agrotourisme, les services environnementaux. Ces comportements remettent souvent en cause non seulement les modes de fonctionnement de l'exploitation agricole mais aussi les modalités de mise en marché des produits, comme, par exemple, c'est le cas des fruits et légumes commercialisés sous la dénomination « Gueules cassées », récemment divulgué dans la presse grand public. Cette transformation de l'économie de l'exploitation a fait naître un type nouveau d'agriculteur que certains dénomment entrepreneur rural, sujet sur lequel nous entendrons notre confrère Pierre **Muller**.

Les techniques de production constituent une autre entrée pour aborder les agriculteurs non conventionnels. Il y a, bien sur, l'agriculture biologique, qui a d'ailleurs été traitée par un groupe de travail dans nos murs, mais il y a aussi des formes moins radicales de transformation des itinéraires techniques traditionnels. Dans ce domaine, il est important d'évoquer les expériences menées par la recherche et par des institutions qui commencent à avoir un sérieux capital de connaissance sur la durabilité de systèmes de production s'éloignant des itinéraires techniques fondés sur l'agrochimie, en particulier sur l'emploi des produits phytosanitaires. On peut citer les CIVAM (Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le monde rural), le RAD (Réseau d'agriculture durable), le récent réseau INPACT (Initiatives pour une agriculture citoyenne et territoriale). Ces organismes sont porteurs de nouveaux modèles de production, plus économes et plus autonomes que les modèles intensifs industriels, et qui entrent dans notre définition de la non conventionalité. Jean-Claude **Balbot**, agriculteur retraité, directement impliqué depuis de nombreuses années dans les CIVAM, évoquera pour nous aujourd'hui le cas de cette structure innovante. Sur ce terrain des nouveaux itinéraires techniques, il faut citer l'engagement de l'Administration : par exemple le plan écophyto qui, malheureusement, n'a pas eu le succès espéré, ou encore les mesures proposées aux agriculteurs par l'actuel ministère de l'agriculture à partir de la notion d'agroécologie. La certification environnementale des exploitations, qui touche 6000 agriculteurs, en est un élément.

Enfin, une autre entrée est **socio-économique**. Elle sert tout d'abord à distinguer entre retraités, pluriactifs et agriculteurs à plein temps, entre hommes et femmes. Elle sert aussi à mettre en évidence l'existence d'agriculteurs pauvres voire très pauvres (par exemple ceux qui bénéficient du RSA et ceux qui le refusent alors qu'ils y ont droit) dont on peut dire qu'ils sont des « non conventionnels » sans le vouloir, confinés aux marges de l'agriculture par leur situation économique. Dans ce domaine, le recours aux données de la MSA pourrait nous aider.

Mais cette entrée permet surtout d'aborder la question des motivations, des comportements, des convictions. Derrière l'agriculteur non conventionnel, on trouve en effet des personnes qui remettent en cause en toute conscience le modèle d'agriculture dite productiviste ou industrielle, refusant par exemple d'agrandir la surface de l'exploitation, d'avoir recours à des investissements toujours croissants, s'engageant dans des méthodes de production durables, prônant une approche territorialisée de l'agriculture. De ce point de vue,

l'attention portée aux petites fermes et le concept d'agriculteurs paysans, devront être pris en compte. L'approche territoriale devra aussi être mobilisée car l'innovation des agriculteurs non conventionnels concerne au premier chef les zones défavorisées et montagneuses, et aussi parce que les agriculteurs innovants sont très actifs dans la recomposition des relations locales entre producteurs et consommateurs.

Cette entrée ne sera pas abordée aujourd'hui, elle sera du ressort du groupe de travail qui, ne serait-ce que modestement, se propose de contribuer à faire sortir les agriculteurs non conventionnels de l'état d'invisibilité, voire de marginalité, dans lequel ils se trouvent bien souvent; leurs pratiques économique et sociale en seraient encouragées, notamment si des propositions de politiques spécifiques pouvaient être proposées et prises en compte.

Après les trois exposés prévus aujourd'hui et la discussion qui suivra, notre confrère **Henri Nallet** mettra à profit sa longue et riche expérience du milieu agricole pour tirer les conclusions de la séance.

Je vous remercie de votre attention.

À LA RECHERCHE STATISTIQUE DES AGRICULTEURS NON CONVENTIONNELS

par Maurice Desriers¹

La majorité des informations issues de la statistique portent sur des moyennes qui concernent implicitement les catégories les plus représentatives, même si elles s'accompagnent d'informations sur les disparités ou les dispersions autour de ces moyennes. Par définition, les exploitations « non conventionnelles » sont donc difficiles à identifier dans les enquêtes car très diverses et les informations les concernant n'étant pas considérées comme représentatives.

La statistique décrit donc en période courante le système d'exploitation dominant dans lequel la recherche de l'amélioration du revenu passe par une tendance à l'accroissement de la taille des exploitations qui permet des économies d'échelle. Or, ce système repose fortement sur une substitution du capital au travail et la tendance continue au cours des dernières décennies montre qu'il est destructeur d'emplois.

Une analyse rapprochant plusieurs sources de données permet pourtant de repérer un nombre de plus en plus grand d'exploitations qui choisissent d'améliorer leur valeur ajoutée par la diversification ou des modes de commercialisation originaux plutôt que par l'agrandissement. D'une manière générale, ces exploitations sont de taille inférieure à la moyenne mais avec une densité d'emploi supérieure.

LES AGRICULTURES NON CONVENTIONNELLES : UN AUTRE MODÈLE PROFESSIONNEL ?

par Pierre Muller¹

La notion d'agriculture « non conventionnelle » renvoie à une très grande variété de situations en fonction du type de production, de la taille de l'exploitation ou des relations qu'elle entretient avec son environnement. Ces différentes exploitations ont pour point commun de ne pas correspondre aux critères d'excellence du métier d'agriculteur tels qu'ils se sont affirmés au cours des dernières années, ce qui explique leur non-reconnaissance, voire leur « invisibilité » professionnelle. Or ces formes d'agriculture méritent d'être reconnues du point de vue de leur contribution au maintien de l'emploi en milieu rural et à l'entretien du territoire.

Notre hypothèse est alors que la professionnalisation d'au moins une partie de ces exploitations passe par l'acceptation du fait que les critères professionnels classiques ne permettent pas de comprendre leur fonctionnement et donc de mesurer leur « degré de professionnalité ». Cela signifie que, pour mettre fin à l'invisibilité professionnelle (et donc statistique) des ces « exploitations rurales », le seul moyen est de définir d'autres normes d'excellence professionnelle mesurés à partir d'autres critères que ceux relevant de la performance en matière de production. Il sera ainsi possible de les définir autrement que de manière négative par rapport à un référentiel unique. Mais il faut aussi être conscient que cette démarche ne pourra pas concerner l'ensemble des agricultures « non conventionnelles ».

¹ Ancien chef du bureau au Service de la Statistique et de la Prospective du MAAF.

¹ Membre de l'Académie

LE RÉSEAU DES FERMES DU CIVAM A L'ÉPREUVE DES CONVENTIONS

par Jean Claude **Balbot**¹

Les impasses économiques, environnementale et sociale de la production agricole conventionnelle ont amené, dans les années 90, le réseau Civam à repenser les modes de production dominants. L'objectif est de concevoir et mettre en œuvre des systèmes de production soutenables économiquement et socialement, tirant le meilleur parti de l'environnement pédo-climatique. Nous savons aujourd'hui que les systèmes de production qui répondent le mieux à cet objectif sont les plus économes en capitaux, intrants, eau et métaux, les moins consommateurs de fonds publics et les moins énergivores. Ce sont aussi ceux qui favorisent et valorisent l'autonomie décisionnelle des producteurs. Ces remarques s'appliquent tant aux circuits courts de commercialisation qu'aux circuits constitués en filière. Les Civam s'appuient sur des méthodes de recherche-action issues de l'éducation populaire qui est constitutive du réseau depuis son origine en 1945. Pour conforter les exploitations du réseau, sont engagées des recherches sur la multifonctionnalité de l'agriculture, l'accès pour tous et durablement à la nourriture de qualité, la construction des coûts de production et des prix de vente, l'évaluation des politiques publiques agricoles. Le réseau continue à rechercher les critères de durabilité des modes de production dans leur forme et leur environnement particulier : fruits et légumes, bassin méditerranéen, moyenne montagne, grandes cultures...Selon la philosophie du réseau, l'alimentation ne peut se réfléchir sans comprendre les conditions de sa production, pas plus qu'il n'est possible de produire en considérant l'environnement comme un facteur de production gratuit, ni de penser que la production ne doit être encouragée en considérant le corps social comme un simple facteur d'absorption de cette production.

¹ CIVAM.

GRANDE DISTRIBUTION ET CHOIX ALIMENTAIRES

INTRODUCTION

par Hervé **This***

Quelle influence la grande distribution peut-elle avoir sur les choix alimentaires des consommateurs ? Dans le climat politique actuel, poser la question revient quasiment à admettre qu'une telle influence existe, et, pour certains, poser en *a priori* une influence pernicieuse de la grande distribution. Ici, on propose le développement d'une formation à l'alimentation qui mette le citoyen en position de choix rationnel, en vue d'une réconciliation sociétale utile.

Avec une proportion croissante de la population des pays industrialisés en zone citadine¹, les ingrédients alimentaires sont rarement des produits directs de l'agriculture (la partie de la production agricole qui est achetée par les consommateurs sans avoir été transformée par les industries agro-alimentaires, tels les fruits et légumes frais, représente une valeur de 32 milliards d'euros en 2008, à peu près équivalente à celle qui est achetée par les industries agro-alimentaires pour transformation, soit 35 milliards)², ou même, des produits de l'artisanat³. Ils sont majoritairement produits par l'industrie agro-alimentaire, et distribués par des grandes surfaces en proportion croissante⁴.

Pour autant, des phénomènes préoccupants, telle l'augmentation de l'obésité⁵, invitent à explorer l'alimentation des individus, et, notamment, les choix que ceux-ci font. Vu l'importance croissante de la grande distribution, et de ses rapports complexes avec l'industrie, d'une part, et avec les « consommateurs » (nous reviendrons sur ce terme plus loin), d'autre part, il semble nécessaire d'examiner l'influence éventuelle de la grande distribution sur les choix alimentaires : l'identification d'une influence réelle pourrait fournir à la collectivité des moyens de guider les individus dans leur alimentation.

C'est donc bien le rôle d'une institution telle l'Académie d'agriculture de France que d'explorer ces questions, au cours d'une séance publique de restitution de programmes d'étude, et d'analyse des résultats de ces études : Antoine Laurent de Lavoisier⁶, qui fut un des membres éminents de notre Compagnie⁷ écrivait ainsi : « On ne peut s'empêcher d'être surpris, toutes les fois qu'on s'interroge soi-même sur les objets qui

* Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur consultant à AgroParisTech, Directeur scientifique de la Fondation Science et Culture alimentaire (Académie des Sciences), Président du Comité pédagogique de l'Institut des hautes études du goût, de la gastronomie et des arts de la table.

1 <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/tend/FRA/fr/SP.URB.TOTL.IN.ZS.html>, dernier accès 3 mai 2015.

2 http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1283#inter1, dernier accès 3 mai 2015

3 http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/ref/COMFRA08h.PDF, dernier accès 3 mai 2015.

4 http://www.idf.direccte.gouv.fr/IMG/pdf/dgccrf_eco_fevrier_2014.pdf, dernier accès 3 mai 2015.

5 http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=0&ref_id=ip1123, dernier accès 3 mai 2015.

6 <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doslavoisier/>, dernier accès 3 mai 2015.

7 <http://www.academie-agriculture.fr/nous-connaître/histoire>, dernier accès 3 mai 2015.

nous sont les plus familiers, sur les choses les plus triviales, de voir combien nos idées sont souvent vagues et incertaines, et combien, par conséquent, il est important de les fixer par des expériences et par des faits.⁸

Que mangeons-nous et pourquoi ?

Avant de considérer la question de la grande distribution et de son influence éventuelle, ce qui fera d'ailleurs l'objet des interventions auxquelles cette introduction doit conduire, observons que, pour les moins démunis, le choix est considérable, ce qui doit conduire les individus qui se procurent soit des ingrédients alimentaires, soit des aliments, à mettre en œuvre des critères implicites ou explicites, biologiques ou culturels.

La thèse présentée ici, et en d'autres occasions, tels les programmes d'enseignement de l'Institut des Hautes Études du Goût, de la Gastronomie et des Arts de la Table (Université de Reims-Champagne Ardennes)⁹ est que nous mangeons de la physiologie et de la culture, à savoir de la religion, de la géographie, de l'histoire, de l'art...

Commençons par les déterminants les plus profonds de l'être humain : la physiologie. Les propriétés sensorielles des aliments sont des déterminants essentiels de choix alimentaire.¹⁰ Les travaux des paléanthropologues ont montré que l'espèce humaine a co-évolué avec les végétaux : la perception du goût est le résultat d'une longue co-évolution entre les animaux et les plantes, ce qui a permis aux individus de différencier des substances toxiques ou nutritionnellement utiles. Ainsi la capacité de percevoir les sucres et de préférer les aliments à forte densité calorique, ce qui conduit à l'accumulation de matière grasse dans les tissus, est une adaptation à des environnements où les aliments peuvent faire défaut en raison de variations saisonnières.¹¹ D'autre part, il a été supposé que la perception des amertumes était un mécanisme qui avait été sélectionné parce qu'il permettait de détecter des composés toxiques de l'environnement.¹² La perception de certains composés amers est génétiquement déterminée,¹³ ce qui conduit à des choix alimentaires différents. Ainsi des enfant n'ayant pas atteint l'âge de la scolarité et équipés pour la détection de composés amers contenant le groupe thiocyanate apprécient moins les épinards ou les brocolis que les enfants non équipés génétiquement, et ils consomment moins de végétaux, notamment amers (olives, concombres, brocolis).¹⁴

Les études des saveurs sucrées et amères mettent surtout en exergue la nécessité de bien explorer les modalités sensorielles dans leur ensemble : la compréhension des déterminants des choix alimentaires serait incomplète, et donc faussée, sans les informations relativement récentes sur la perception sensorielle des ions calcium¹⁵ et les faims spécifiques d'aliments contenant du calcium, en cas de carence. Le fait que ces travaux datent de moins de trois ans et qu'ils surviennent moins de dix ans après la découverte de la perception sensorielle des acides gras insaturés à longue chaîne¹⁶ peut laisser imaginer que d'autres modalités sensorielles restent à identifier, autres clés indispensables de la compréhension des choix alimentaires.

8 A.L. de Lavoisier, Mémoire sur le degré de force que doit avoir le bouillon, sur sa pesanteur spécifique et sur la quantité de matière gélatineuse solide qu'il contient. Oeuvres complètes. Expérience de novembre 1783. Tome 33. Page 563 à 575

9 www.heggat.fr

10 Pasquet P, Oberti B, El Ati J, & Hladik C M (2002). Relationships between threshold-based PROP sensitivity and food preferences of Tunisians. *Appetite*, 39, 167–173.

11 Hladik, C. M. (1988) — Seasonal Variations in Food Supply for Wild Primates. In : I. de Garine et G. A. Harrison (Eds.), *Coping with Uncertainty in Food Supply*. Clarendon Press, Oxford : 1-25.

12 Wooding S (2006) *Genetics* 172: 2015–2023.

13 Blakeslee, A F (1932) Genetics of sensory thresholds: taste for phenylthiocarbamide. *Proc Natl Acad Sci USA* 18: 120–130

14 Bell KI, Tepper BJ. (2006) Short-term vegetable intake by young children classified by 6-n-propylthiouracil bitter-taste phenotype. *Am J Clin Nutr*, 84: 245–251

15 Michael G. Tordoff, Laura K. Alarco n, Sitaram Valmeki & Peihua Jiang, T1R3: A human calcium taste receptor, *Scientific Reports*, 2 : 496, DOI:10.1038/srep00496.

16 Fabienne Laugerette, Patricia Passilly-Degrace, Bruno Patris, Isabelle Niot, Maria Febbraio, Jean-Pierre Montmayeur, and Philippe Besnard, CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions, *The Journal of Clinical Investigation*, 115(11), 3177-3184

Nous mangeons de la culture

Si la physiologie détermine nos choix alimentaires, notre culture, également, doit être prise en compte. Au niveau le plus élémentaire, la culture est fondée sur la socialité de l'être humain, et l'on ne saurait oublier que les banquets, toute comme la consommation d'aliments, sont souvent -et depuis longtemps¹⁷, des occasions sociales, auxquelles les aliments doivent être appropriés.

A un niveau analogue, notre « culture sociale », comme celle d'autres primates non humains,¹⁸ comporte une hiérarchisation qui contribue à nos choix alimentaires. Cette composante fut mise en œuvre par Augustin Parmentier, un autre membre éminent de notre Compagnie, pour introduire la consommation de la pomme de terre en France.¹⁹

La religion, également, dicte les choix alimentaires, et de nombreuses publications²⁰ ont analysé comment se sont imposés des ingrédients et produits particuliers, plutôt que d'autres. Les raisons physiologiques, dans ce cas, semblent à oublier. De même, nous mangeons de l'histoire, et deux exemples importants sont la consommation par les Français de jambon cru avec du melon, survivance de la théorie des humeurs de la Renaissance, qui prescrivait d'associer le chaud et le froid, l'humide et le sec, et la consommation considérable de viande en Argentine, alors que le poisson est disponible sur tout une façade du pays.²¹

On le voit, si la géographie s'impose aussi, pour l'étude des choix alimentaires, elle ne conduit qu'à en donner des déterminants partiels : certes, certains micro-organismes plutôt que d'autres permettent des fermentations particulières (les fromages locaux ne sont possibles que localement, tout comme les bières, les saucissons, les vins, etc.), mais les peuples ont souvent fait venir de loin des produits dont ils ne disposaient pas (épices, par exemple).

Enfin, les Trois messes basses de Paul Arène et Alphonse Daudet²²³ font comprendre que nous mangeons souvent du fantasme : nos faims peuvent être attisées par des évocations bien faites, et l'art, tout particulièrement, est une façon de pousser à l'extrême ce type d'évocations.

Des faits de distribution

Pour autant, seul ce qui est vendu s'achète, et seul ce qui s'achète se vend. La science économique a largement examiné ces mécanismes d'ajustement entre offre et demande, soit de façon locale, soit de façon globale²⁴. En matière de choix, c'est un fait que la grande distribution propose plus de produits que les petits commerces, en raison d'une superficie supérieure des locaux, de sorte que, de ce point de vue, elle guide moins le choix.

L'étiquetage est-il important ? Il y a celui de l'industriel, fortement encadré par la loi, et le fléchage de la distribution. Ces signalétiques font l'objet d'un encadrement réglementaire important et nécessaire²⁵, mais l'encadrement ne pourra avoir d'efficacité réelle que si les individus, considérés comme des consommateurs par l'industrie et la distribution, apprennent à le décoder. On n'oubliera pas de se reporter à la séance publique organisée par la Section VIII de l'Académie d'agriculture de France sur la loi de 1905²⁶ qui, on le

17 Jean-Louis Flandrin, Massimo Montanari, Histoire de l'alimentation, Editions Fayard, Paris, 1996.

18 Claude Marcel Hladik. Le comportement alimentaire des primates : Comment les grands singes choisissent leurs aliments en fonction du puissant goût des tannins ou de celui de sels en trop faibles quantités pour être perçus ?. Le courrier de la Nature, 2006, 227, pp.42-48.

19 Claude Marcel Hladik, Le comportement alimentaire des primates : de la socio-écologie au régime éclectique des hominidés, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00545803/document>, dernier accès 3 mai 2015.

20 http://culture.ulg.ac.be/jcms/prod_94530/fr/l-alimentation-et-le-sacre-identite-religieuse-et-cohesion-sociale, dernier accès 3 mai 2015.

21 <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/fr/meat/background.html>, dernier accès 3 mai 2015.

22 <http://www.audiocite.net/livres-audio-gratuits-nouvelles/les-trois-messes-basses.html>, dernier accès 3 mai 2015.

23 Juliette Bonfils, Paul Arène: poète, félibre et conteur. Aux Editions du Feu, Aix-en-Provence, 1933.

24 Margaret Loseby, L'ajustement de l'offre et de la demande sur les marchés des produits agricoles de la CEE. Economie rurale, 1994, 163, pp. 77-84.

25 http://ec.europa.eu/food/food/labellingnutrition/nutritionlabel/index_en.htm, dernier accès 3 mai 2015.

26 Qu'est-ce qu'un produit sain, loyal, marchand ?, séance publique du 27 avril 2011 de l'Académie d'agriculture de France.

rappelle, prescrit que les produits alimentaires doivent être sains, loyaux et marchands. De ce point de vue, même si des termes tels que « naturels » sont réglementés²⁷, ils restent déloyaux, car n'est naturel, selon la langue²⁸, que des éléments qui n'ont pas faits l'objet d'une transformation où est intervenu l'être humain. De ce point de vue, aucun aliment n'est naturel, et bien rares sont les ingrédients alimentaires qui le sont.

Cette observation montre combien, face à une industrie qui n'hésite pas à communiquer largement en vue d'accroître ses ventes, au détriment de la société civile, s'impose l'éducation du public et la réglementation. Nous militons pour que l'individu cesse d'être mis en position de « consommateur », et qu'il prenne sa pleine mesure en tant que citoyen, conscient de ses droits et de ses devoirs. Se procurer des ingrédients alimentaires dans une grande surface est un acte auquel il est bon que l'École puisse former. Face à un commerce, l'École a la mission d'éclairer les choix (non de les guider), en partant de la sélection des produits jusqu'à la lecture des conditionnements et au décodage des signalisations.

Autrement dit, quels que soient les études qui sont faites, et dont les résultats vont être maintenant présentés, nous devons sans doute promouvoir un apprentissage de l'alimentation dès l'école primaire : les jeunes citoyens doivent apprendre à choisir, à comprendre les conséquences de leurs choix, tout comme ils doivent apprendre à préparer leurs aliments.²⁹

27 http://www.economie.gouv.fr/files/conseilnationalconsommation/docs/ni_terme_naturel.pdf, dernier accès 3 mai 2015.

28 Trésor de la langue française informatisée, <http://atilf.atilf.fr/dendien/scripts/tlfiv5/visusel.exe?14;s=2556935235;r=1;nat=;sol=9;>, dernier accès 3 mai 2015.

29 <http://www.agroparistech.fr/Les-Ateliers-experimentaux-du-gout.html>, dernier accès 3 mai 2015.

LA GRANDE DISTRIBUTION : UN TERRAIN D'EXPÉRIMENTATION POUR MIEUX COMPRENDRE LE COMPORTEMENT DES CONSOMMATEURS.

par Philippe **Imbert**¹

Il est certain qu'un certain nombre de démarches déployées en grande distribution peuvent influencer le choix des consommateurs. Cela dit le consommateur citoyen est celui qui finalement décide de ses choix et le commerçant s'adapte pour proposer des offres répondant à ses attentes. Cependant la grande distribution peut s'avérer comme un terrain d'expérimentation pour mieux comprendre le comportement des consommateurs. Au niveau du Groupe Casino qui a créé un Comité Santé, composé de plusieurs experts de haut niveau scientifique, une étude exploratoire a été menée pour mieux comprendre ce comportement sur le thème suivant : comportement des acheteurs d'alcool. L'idée étant de mieux cerner le profil de ces consommateurs en associant l'achat ou non d'alcool et le reste des produits contenu dans les caddys. Cette étude même si elle doit être affinée, montre qu'il est possible d'avoir un travail de « terrain » qui peut aider le monde de la recherche à mieux comprendre le comportement des consommateurs. D'autre part, compte tenu des risques perçus par les consommateurs, il est parfois possible de déployer des démarches répondant à leurs attentes, c'est le cas du risque antibiotique, où Casino en lien avec des producteurs commercialise une gamme de volaille élevée sans traitement antibiotique.

RETIRER CECI (OU PAS), AJOUTER CELA (OU PAS) : UNE CLASSIFICATION DES ALLÉGATIONS DE SANTÉ AFFICHÉES SUR LES PRODUITS ALIMENTAIRES

par André **Quentin**¹

Les consommateurs se trouvent tous les jours exposés à un très grand nombre d'étiquettes sur les produits alimentaires, toutes visant à communiquer que le produit est bon pour la santé. S'il est vrai que des projets de recherche ont étudié les réponses des consommateurs à des allégations de santé spécifiques (par exemple « faible en matières grasses »), nous ignorons à ce jour si leurs conclusions peuvent être généralisées à d'autres allégations de santé. D'une manière générale, nous ne savons pas comment analyser et sur quelle base regrouper cette grande diversité de messages de santé.

Pour répondre à ces questions, nous avons développé une nouvelle classification des allégations de santé basée sur deux dimensions : la positivité (se concentrent-elles sur un aspect désirable, ou indésirable de l'aliment ?) et la naturalité (le message qu'elles communiquent est-il naturel, ou scientifique ?). En étudiant 37 des allégations de santé les plus fréquentes, quatre groupes distincts émergent de cette classification :

- Le groupe « Retirer » (par ex. « Sans gluten »), qui suggère qu'un élément négatif a été scientifiquement retiré de l'aliment.
- Le groupe « Ajouter » (par ex. « Riche en Oméga 3 »), qui suggère qu'un élément positif a été scientifiquement rajouté à l'aliment.

¹ Direction Qualité Groupe CASINO.

¹ Doctorant à l'INSEAD.

- Le groupe « Rien d'ajouté » (par ex. « Sans colorants »), qui suggère qu'aucun élément négatif n'a été rajouté à l'aliment.
- Le groupe « Rien de retiré » (par ex. « Riche en fibres »), qui suggère que les qualités naturelles de l'aliment ont été préservées

Nous montrons par ailleurs que cette classification est identique pour des personnes possédant des caractéristiques démographiques et sociologiques différentes, et que chaque groupe d'allégation de santé est conduit à des prédictions différentes en termes de valeur gustatives et nutritionnelles.

CONCLUSIONS

par Gérard **Pascal**¹

Au moment de conclure, je suis l'objet d'une grande perplexité. En effet, le sentiment général de nos concitoyens, si on les interroge dans la rue, est que l'industrie alimentaire et la grande distribution sont responsables de leurs choix alimentaires déplorables, qui conduisent à une dégradation de leur santé. L'affaire semblait entendue et les conclusions aisées à tirer.

Et pourtant...Le rapport sur l'état de santé de la population française, publié en 2015 par le Ministère de la Santé, fait état « d'un niveau globalement bon au regard de grands indicateurs comme la mortalité standardisée ou l'espérance de vie à la naissance ou à 65 ans ». Une enquête TNS/Sofres publiée en 2014 montre que les Français demeurent très largement satisfaits (87%) à l'égard de leur alimentation et que l'image de la grande distribution, moyennement bonne, ne s'est cependant pas dégradée depuis 2008. Leur insatisfaction a surtout progressé en ce qui concerne la sécurité des produits et l'information donnée sur les étiquettes et elle reste majeure (72%) pour ce qui a trait au prix.

Philippe Imbert nous a montré à quel point le consommateur est l'objet de sollicitations nombreuses dans les grandes surfaces et quels sont les efforts fait par la distribution pour améliorer au plan nutritionnel les choix des clients. L'expérience montre cependant, ainsi que l'a illustré Isabelle Dona, la difficulté de l'entreprise. Une expérimentation de fléchage nutritionnel en vraie grandeur, « Le choix Vita+ », dans deux supermarchés, n'a pas donné les résultats attendus. Les auteurs de l'expérience soulignent d'ailleurs que « la littérature révèle de nombreux problèmes de compréhension et d'usage de l'information nutritionnelle par les consommateurs. Concernant les formats utilisés, plusieurs études montrent que la préférence déclarée par les consommateurs n'est prédictive ni de la compréhension ni de l'utilisation ».

Ce constat d'ignorance n'empêche cependant pas une violente confrontation de points de vue des acteurs de l'étiquetage nutritionnel : ministère de la santé, industriels, distributeurs, associations de consommateurs et même certaines sociétés savantes qui sortent ainsi clairement de leur domaine de compétence. Ces luttes intestines éludent malheureusement l'aspect essentiel d'un tel étiquetage : comment atteindre la cible visée, celle des populations les plus défavorisées en termes économiques, sociaux et culturels, de loin les plus atteintes par le surpoids et l'obésité et les pathologies qui en résultent ? Une publication récente* montre bien que les messages prônant une alimentation favorable à la santé sont essentiellement reçus par les populations éduquées, déjà sensibilisées à l'importance de l'alimentation, et pas par celles qui ont le plus besoin d'améliorer leur comportement alimentaire.

La question des messages de nature promotionnelle véhiculés aux USA par l'industrie et la distribution a enfin été abordée par André Quentin. Elle rejoint la situation en Europe et l'on peut se demander si ce sont les professionnels, en particulier les distributeurs avec leurs marques propres, qui ont créé les attentes des consommateurs de produits porteurs d'allégations « sans » : sans aspartame, sans huile de palme, sans additifs alimentaires, sans gluten, voire sans aluminium, sans paraben, sans silicones pour des produits non alimentaires. Il est clair que tel n'est pas le cas, mais que ce sont les consommateurs qui répondent ainsi aux craintes que des lanceurs d'alerte, « des marchands de peur », ont diffusé quant à

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur scientifique honoraire pour la nutrition humaine et la sécurité alimentaire de l'INRA, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°2.

l'existence de risques au demeurant le plus souvent imaginaires au regard des connaissances scientifiques du moment.

L'expérience montre que les professionnels n'utilisent que peu, en France, les allégations nutritionnelles et encore moins les allégations santé, devant les risques de mauvaises interprétations et les difficultés liées à la réglementation. D'importantes améliorations de la composition de certains produits ont été cependant apportées sans publicité, comme dans le cas des bouillons et potages.

En guise de conclusion plus personnelle, il me semble indispensable de rappeler que dans le monde, des populations se sont adaptées à de nombreux modes alimentaires très différents, qui conduisent à des espérances de vie et à des paramètres de santé relativement comparables.

Aucun aliment n'est foncièrement mauvais, dangereux ; tous peuvent s'intégrer dans une alimentation réfléchie, raisonnable, adaptée aux particularités de chacun, source de plaisir et de convivialité. Pour profiter de ces plaisirs et perpétuer notre culture alimentaire sans préjudice pour la santé, point n'est besoin d'une alimentation sur ordonnance ! Apprenons dès le plus jeune âge à nos enfants à gérer harmonieusement leurs relations avec leur alimentation ; point d'éducation nutritionnelle, les protéines, lipides, glucides, ça ennue tout le monde, mais l'initiation à l'alimentation et à la connaissance de ses acteurs, ça passionne petits et grands.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) FORWOOD S.E., AHM A. L., Ng Y-L. and MARTEAU T.M., 2015. – Priming healthy eating. You can't prime all the people all the time, *Appetite*, **89** (2015), 93-102.

LES SYSTÈMES AGROFORESTIERS PERMETTENT-ILS DE FONDER UN DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DURABLE ?

Colloque organisé par Yves Birot¹ et Bernard Le Buanec²

Les systèmes agroforestiers, combinant des pratiques agricoles et/ou pastorales à la gestion d'une végétation arborée pré-existante ou plantée, revêtent des formes très variées dans de nombreux agro-écosystèmes du monde. Noyeraie dauphinoise, pommiers et prairies de Normandie, peupleraies de la vallée du Pô, châtaigneraie corse, « dehesa » et « montado » dans la péninsule ibérique, arganeraie au Maroc, parcs à *Faidherbia* au Sahel, savanes à karité de l'Afrique de l'Ouest, systèmes complexes des forêts humides d'Indonésie, des « jardins-lakou » haïtiens en constituent autant d'exemples.

Ces systèmes hérités du passé ne sont pas pour autant dépassés. En effet, les agriculteurs familiaux trouvent un intérêt – et une légitimité – à conserver et à gérer les formations forestières et agroforestières, non seulement pour les produits fournis (bois, fruits, gommés...) autoconsommés ou commercialisés, mais aussi pour une valorisation des fonctions environnementales de ces formations. Les principes agroforestiers trouvent un champ d'application particulièrement pertinent dans le contexte du développement de l'agroécologie, fondement d'une agriculture durable. Leur rentabilité est renforcée par le développement de filières locales (bois-énergie au Sahel) ou internationales de produits labélisés.

Organisé à l'initiative des sections « productions végétales » et « forêts-filière bois » de l'Académie d'Agriculture de France, ce colloque sur l'agroforesterie des régions tempérées et tropicales, vise à : i) apporter un éclairage sur le fonctionnement (biophysique, environnemental, économique et social) de systèmes agroforestiers ; ii) illustrer quelques perspectives ; iii) identifier les verrous et les moyens de les lever par la recherche.

Le programme est articulé en deux sessions de durée égale suivies chacune d'une discussion générale, dans laquelle pourra dialoguer s'instaurer entre chercheurs des mondes tempéré et tropical, et plus largement entre tous les participants.

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France. Chef de département honoraire des recherches forestières de l'INRA.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France. Ingénieur agronome, Pédologue ORSTOM, Docteur-ingénieur en biologie végétale.

BASES BIOPHYSIQUES ET FONCTIONNEMENT ÉCOPHYSIOLOGIQUE D'UN SYSTEME AGROFORESTIER

par Christian Dupraz¹

Les systèmes agroforestiers sont des agrosystèmes hétérogènes pluristratifiés dont le fonctionnement dépend fortement des relations interspécifiques entre arbres et plantes herbacées. On décrit généralement les relations interspécifiques en termes de compétition (partage d'une ressource donnée), de complémentarité (meilleure utilisation de la ressource disponible) et de facilitation (augmentation de la ressource à partager). Dans les associations hétérogènes, nous montrons que la compétition induit une plasticité phénotypique ou physiologique des plantes qui conduit à améliorer ces interactions en augmentant les complémentarités et en générant des facilitations.

Dans les systèmes agroforestiers, les relations de complémentarité sont fortes. En effet arbres et plantes herbacées ont des besoins souvent décalés dans le temps ou dans l'espace. Une illustration classique est le bilan d'utilisation de la lumière dans un système associant des arbres à feuilles caduques et des cultures d'hiver. La plasticité des systèmes racinaires est cruciale en agroforesterie : on observe des systèmes racinaires plus profonds sous l'effet de la compétition, qui permettent une complémentarité dans l'utilisation des ressources du sol (eau, azote). Cette complémentarité n'est cependant pas automatique : elle dépend de la dynamique de remplissage des réserves du sol (régime pluviométrique). Le même système agroforestier peut donc être efficace dans un environnement pédoclimatique donné, et peu efficace dans un autre.

Pour mettre en évidence ces relations interspécifiques, nous avons suivi pendant 20 ans la productivité et le fonctionnement écophysioologique d'une association de noyers et de céréales d'hiver. Une forte plasticité des systèmes racinaires a été mise en évidence. Dans le contexte du régime pluviométrique méditerranéen, cette association est très performante. Une modélisation biophysique des interactions nous permet également de simuler le comportement des systèmes agroforestiers dans différents contextes pédoclimatiques. Une mesure de l'efficacité globale est le LER (Land Equivalent Ratio) qui intègre l'ensemble de ces relations. En l'absence de complémentarité ou de facilitation, on obtiendrait un LER de 1. Or les LER mesurés ou simulés en agroforesterie tempérée varient de 1.2 à 1.6, correspondant à des gains de productivité de 20 à 60% qui témoignent de fortes relations de complémentarité et de facilitation. Cette efficacité est notablement supérieure à celle observée dans les mélanges de plantes herbacées.

¹ INRA Montpellier.

COMPROMIS OU SYNERGIES ENTRE PRODUCTIONS ET AUTRES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES, LES SYSTÈMES AGROFORESTIERS SONT-ILS GAGES DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE DURABLE ?

par Jean-Michel **Harmand**¹

L'agroforesterie compte parmi les pratiques traditionnelles d'exploitation des sols existant depuis des siècles sur tous les continents et de très nombreux agriculteurs des pays du Sud en vivent. Aujourd'hui l'agroforesterie constitue une des solutions à mettre en œuvre pour utiliser durablement les ressources naturelles limitées, préserver les zones de forêt tropicales et faire face au changement climatique et à la globalisation des marchés.

L'objet de cette présentation est d'illustrer, à travers différents exemples de pratiques agroforestières des zones tropicales humides et sèches, l'impact des arbres en rotation ou en association permanente, sur les productions vivrières ou marchandes (service d'approvisionnement) et d'autres services écosystémiques (production primaire, cycle des nutriments et séquestration du carbone). Dans ces exemples, ont été analysés les processus agro-écologiques relatifs aux interactions entre espèces/strates pour l'utilisation des ressources et au fonctionnement biogéochimique du système, ainsi que leurs effets sur les services.

Selon les lieux, les contextes et les espèces utilisées, les arbres peuvent avoir un impact positif sur le rendement des cultures associées (facilitation). Ils peuvent au contraire avoir un impact négatif (compétition pour les ressources), qui sera acceptable dans la mesure où il sera compensé par une diversification ou une meilleure qualité des productions et une plus grande résilience du système. En stimulant la production primaire et en faisant varier l'allocation relative du carbone et des ressources vers les différents puits que sont les produits récoltés, la biomasse permanente et la litière, l'agroforesterie influe sur l'ensemble des services écosystémiques. Le rôle bénéfique des légumineuses arborées sur le cycle de l'azote et du carbone et la productivité des cultures en association ou en rotation a été mis en évidence.

Cependant, les bénéfices tirés des pratiques agroforestières mises au point en zone tropicale sont encore insuffisamment étudiés et valorisés. Ainsi, l'impact économique des systèmes au niveau local et national, les facteurs écologiques à l'origine des gains de productivité, la fourniture de services écosystémiques, la sélection d'espèces et de variétés adaptées aux contextes agroforestiers, l'adaptation des systèmes face aux changements climatiques sont autant de champs d'investigation à poursuivre.

¹ CIRAD UMR Eco&Sols

LES ARBRES DANS LES PAYSAGES RURAUX : ATOUTS POUR L'AGROÉCOLOGIE

par Marc **Deconchat**¹, Émilie **Andrieu** et Martin **Vigan**

La présence d'arbres dans les paysages ruraux est une situation très fréquente en France où les paysages mixtes (forestiers et agricoles) sont le résultat d'une co-évolution ancestrale ; ce sont plutôt les paysages sans arbres qui restent exceptionnels. Ces arbres forment différentes structures, plus ou moins clairement distinctes : isolé, en alignement, en haie, en plantation dans des parcelles, des champs ou des prés, ou encore en bois et bosquets de tailles variées. Dans cette présentation, nous expliquerons comment, par leur présence et leur répartition dans les paysages, ces formations arborées jouent des rôles écologiques et sociaux majeurs. Elles sont souvent présentées comme formant l'infrastructure des paysages (la trame verte), comparativement à d'autres occupations du sol considérées plus changeantes comme les cultures. Leur distribution et leur configuration spatiales, leurs interfaces et leurs modes de gestion influencent la biodiversité et la structure des communautés animales (oiseaux, insectes) et végétales qu'elles abritent ou qui se trouvent dans les espaces environnants (parcelles agricoles). Les théories de l'écologie des paysages aident à formaliser ces relations et les résultats des observations dans des sites d'étude à long terme montrent que leurs caractéristiques spatiales sont déterminantes pour de nombreuses espèces. Certaines de ces espèces sont utiles à des activités humaines en rendant des services écosystémiques, notamment à l'agriculture en favorisant la régulation naturelle des organismes causant des dégâts aux cultures, ou encore la pollinisation. Cependant, les dimensions sociales ne doivent pas être oubliées dès lors qu'on considère ces formations qui sont aussi des marqueurs culturels importants. La compréhension des rôles écologiques et sociaux des formations arborées dans les paysages ruraux s'avère ainsi nécessaire dans la perspective de développer une gestion agroécologique des ressources naturelles et agricoles. Des travaux en cours visent pour cela à construire une analyse multicritères de la grande diversité des fonctions écologiques et agronomiques des formations arborées dans les exploitations agricoles. En conclusion, l'agroécologie ne peut limiter son domaine d'action à l'agriculture. Elle doit impliquer aussi l'ensemble des composantes des paysages ruraux, dont les arbres, tant pour leurs fonctions écologiques, que pour les ressources qu'ils procurent et leurs valeurs sociales.

¹ INRA, UMR1201 Dynafor, Toulouse.

L'AGROFORESTERIE EN ZONE HUMIDE : UNE OPPORTUNITÉ POUR UNE NOUVELLE CACAOCULTURE

par Patrick **Jagoret**¹, Olivier **Deheuvels** et Stéphane **Saj**

En zone tropicale humide, la durabilité de la cacaoculture est de plus en plus débattue. Depuis les années 1950, une partie de la production mondiale de cacao, de l'ordre de 4 millions de tonnes actuellement, repose en effet sur un système intensif adopté par bon nombre d'agriculteurs qui, toutefois, n'en respectent pas certaines modalités, notamment l'apport d'engrais et la protection phytosanitaire des vergers. En conséquence, le développement de la culture du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) se traduit par le déplacement des zones de production au détriment des zones forestières, déplacement dû à une dégradation de conditions de production dans les vergers liée à un appauvrissement du sol et une pression incontrôlée des bioagresseurs. Dans le même temps, il existe des systèmes de cacaoculture différents, du type agroforestier, jusqu'à présent peu étudiés par les agronomes. Sur la base d'études menées dans 290 cacaoyères agroforestières d'agriculteurs, au Cameroun (60) et en Amérique centrale (230), nous montrons que les systèmes agroforestiers cacaoyers peuvent atteindre des rendements comparables, voire supérieurs à ceux obtenus dans les cacaoyères conventionnelles où les agriculteurs peinent à respecter un modèle intensif. Les structures des cacaoyères agroforestières permettent une production continue de cacao sur le long terme grâce d'une part, à leur rôle sur la régulation des ravageurs et sur la fertilité des sols, et d'autre part, à une flexibilité dans la conduite technique des peuplements cacaoyers. Nous montrons aussi que 80 % des espèces ligneuses associées aux cacaoyers ont une valeur pour les agriculteurs à qui elles fournissent un large éventail de produits autoconsommés ou vendus, qui contribuent de manière significative au fonctionnement des ménages et limitent les risques dans un contexte économique instable (fluctuation des prix mondiaux). Enfin, il s'avère que les pratiques agroforestières permettent aux agriculteurs d'installer des cacaoyères dans des zones sub-optimales pour la cacaoculture, offrant de ce fait une alternative technique d'intérêt face aux risques liés aux changements climatiques. Les systèmes agroforestiers cacaoyers apparaissent donc être une source d'inspiration potentielle pour faire évoluer le modèle de cacaoculture actuel vers un modèle durable, davantage respectueux de l'environnement.

¹ UMR System (Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens), 2 Place Viala, 34060 Montpellier cedex 2. Tél. +33 4 99 61 21 52
web: <http://umr-system.cirad.fr/>

L'AGROFORESTERIE EN ZONE SÈCHE : LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE ASSISTÉE, L'ESPOIR DU REVERDISSEMENT DU SAHEL ?

par Régis Peltier¹

Contexte

Les caractéristiques biologiques (traits) et les usages (fonctions) du *Faidherbia* (*Faidherbia albida* (Del.) Chev.) sont bien connus des scientifiques forestiers depuis des décennies et des agro-pasteurs sahéliens depuis des siècles. Ses traits comprennent son système racinaire pivotant profond qui peut atteindre la nappe phréatique sur sols alluviaux, sa phénologie inversée, le feuillage étant présent pendant la saison sèche et absent lors de la saison des pluies, et sa capacité à la multiplication végétative (par drageonnage, rejets de souches et de branches). Pour ce qui concerne les fonctions, son impact positif sur les cultures associées, sa production de fourrage aérien (feuilles et fruits) et de bois de chauffage est également largement reconnue. Cependant, dans les années 1980, la plupart des systèmes agroforestiers à *Faidherbia* (SAF à Fa ou parcs à Fa) étaient vieillissants ou en voie de disparition.

Objectifs

Dans le cadre des actions de « recherche-développement » menées conjointement par le Cirad et l'Irad au Nord-Cameroun, pour la restauration des terres dégradées et le retour de l'arbre dans les paysages anthropisés, un volet consacré au rajeunissement et à l'extension des parcs à *Faidherbia* a été lancé à partir de 1984.

Méthodes utilisées

Des recherches ont été menées en milieu paysan et en station pour mieux connaître la croissance de l'arbre en plantation et son impact sur les cultures associées, en particulier coton et sorgho. Les pratiques traditionnelles de gestion de l'arbre, la surface et la densité des parcs ont été étudiées par l'IRD, par enquête, inventaires et télédétection.

À partir de 1988, le tout jeune programme Agroforesterie du Cirad a mené des travaux complémentaires de recherche et d'évaluation de projets de développement au Burkina-Faso (avec l'Irbet et l'Ird), en Côte d'Ivoire (avec l'Idefor), au Mali (avec la Dnef), au Niger (avec l'Afvp et l'Icrisat) et au Sénégal (Avec l'Isra).

Les résultats de ces travaux ont été largement diffusés en 1996, non seulement aux chercheurs mais également au sein des organismes et sociétés chargés du développement agricole (CFDT et filiales nationales) ainsi qu'aux responsables des administrations forestières et agricoles et des organismes de financement les plus actifs en Afrique Centrale et de l'Ouest. Enfin, des émissions de radio et de télévision ont été produites.

Entre 2004 et 2012, des travaux d'étudiants Engref ont été menés au Nord-Cameroun pour évaluer la dynamique d'extension des parcs à Fa et la perception des populations concernées.

Résultats

L'exemple du nord du Cameroun montre que la recherche sur la productivité des cultures sous *Faidherbia* a permis de changer la perception de cet arbre par les services et les opérateurs de développement agricole, dans les années 1990. Sur sols appauvris en matière organique et éléments minéraux, la présence du

¹ Cirad Montpellier.

parc à Fa (avec présence du bétail en saison sèche et donc apport de déjections) permet une augmentation importante de la productivité du sorgho et du coton. La productivité du parc en bois de feu et en fourrage aérien a également été confirmée. L'utilisation de la Régénération Naturelle Assistée (RNA) a montré son efficacité dans le cas du Niger.

Ensuite, il a été possible de "stimuler" la restauration des parcs sur une grande échelle, de mobiliser des fonds publics, les associations et les organisations d'agriculteurs et de subventionner la RNA. C'est ainsi que la société chargée du développement cotonnier au Nord-Cameroun (Sodécoton) a lancé une opération de réhabilitation et d'extension des parcs à Fa dans les terroirs cotonniers à partir de 1990, modestement subventionnée par les bénéficiaires des Associations Villageoises de Planteurs de Coton. Ceci constituait une « révolution culturelle », puisque la Sodécoton avait auparavant prôné l'éradication des arbres des parcelles paysannes, pendant des décennies, pour en faciliter la mécanisation ; mécanisation qui avait échoué et qui avait laissé la place à la culture attelée, compatible avec la présence d'arbre.

Les études par télédétection et les inventaires de quelques villages montrent que plus d'un million de jeunes *Faidherbia* ont été conservés et éduqués par les agriculteurs camerounais au cours des vingt dernières années. Une part de plus en plus importante du bois de feu provient de l'émondage des parcs, ce qui soulage grandement les femmes qui sont traditionnellement chargées de cette corvée et qui devaient transporter quotidiennement des fagots de plus de 20 kg, sur plus de 10 km : « la forêt est maintenant au-dessus de nos champs », disent-elles. Cette tendance a également été vérifiée par les études de filière bois-énergie de Zinder et Maradi au Niger.

Les résultats des enquêtes socio-économiques et des essais d'élagage, confirment l'intérêt des agriculteurs pour l'émondage des arbres, la productivité en bois de feu et la durabilité de cette méthode. La demande des agriculteurs, qui a porté sur le droit d'émonder les arbres et d'utiliser librement le bois récolté, a été prise en compte dans le projet d'amendement à la loi sur le régime forestier, introduit en 2012, au parlement Cameroun. Ils ont maintenant la possibilité de créer des forêts communautaires avec des séries agroforestière, ce qui peut sécuriser leurs droits fonciers sur ces espaces et le droit de récolter et de commercialiser le bois. En outre, le simple fait de planter ou de conserver un arbre dans un champ en ayant reçu l'appui d'un organisme d'État, comme la Sodécoton, renforce indirectement les droits fonciers, là où ils sont incertains.

Limites et incertitudes

Malgré tout l'intérêt des SAF à Fa, il existe des limites et des incertitudes concernant l'intérêt de leur densification et de leur extension et il serait naïf de qualifier Fa d'« arbre miracle du Sahel », comme le font certaines ONGs. Fa puise l'essentiel de son eau dans les nappes phréatiques perchées, qui approvisionnent également les puits pour l'abreuvement des hommes et du bétail et pour l'irrigation des jardins et vergers. On peut donc se demander si des parcs trop denses et trop étendus ne pourraient pas assécher ces nappes, en fin de saison sèche. Pour cette raison, pour l'ombrage des cultures en début et en fin de saison des pluies et pour la gêne à la mécanisation, qui arrivera sans doute un jour au Sahel, les densités optimales des arbres et leur arrangement ainsi que l'extension des parcs dans les paysages restent à mieux être étudiées. Enfin, les parcs mono-spécifiques à Fa sont peu résilients par rapport à des risques phytosanitaires et climatiques, ils offrent une gamme limitée de produits et services. Il serait certainement plus intéressant de promouvoir des parcs multi-spécifiques, permettant de conserver une plus large biodiversité. Concernant les cultures associées, les études des années 1980 montraient un impact positif des anciens parcs sur le sorgho et le coton, mais qu'en est-il des nouveaux parcs, plus récents, beaucoup plus vastes, où l'apport des déjections par le bétail est plus dispersé ? Les variétés de coton et de maïs ont été sélectionnées en champs ouverts : ne faudrait-il pas sélectionner d'autres variétés mieux adaptées aux conditions de parc arboré ?

Conclusions et perspectives

Les recherches sur *Faidherbia* ont donc aidé indirectement les agriculteurs camerounais à rénover leur parc agroforestier mais, aussi, ont contribué à changer la loi dans le sens d'une augmentation des droits des paysans sur l'arbre. Cette préoccupation concerne également les arbres plantés, souvent exotiques, mais aussi

des espèces naturelles entretenues et maintenues par les agriculteurs, comme le karité (*Vitellaria paradoxa*) et de nombreuses autres espèces à usages multiples.

Au Sud-Niger également, la densification des parcs agroforestiers (à *Faidherbia* dans les vallées et à *Combrétacées* sur les plateaux) est maintenant attestée, bien que des études scientifiques manquent pour en évaluer l'importance et les causes.

En zone forestière humide, les résultats sur l'efficacité d'une politique de diffusion de la RNA, ont inspiré les actions du projet européen Makala, qui a ainsi amélioré les techniques de culture itinérante sur brûlis, chez plusieurs centaines de petits agriculteurs de la périphérie de Kinshasa (R. D. Congo), en associant RNA, plantation et gestion des terroirs villageois.

Il apparaît donc que la diffusion de techniques agroforestières très simples et peu coûteuses en intrants, couplée avec une politique de sécurisation foncière et éventuellement avec l'octroi de modestes subventions, peut permettre de renverser une tendance lourde de dégradation du couvert arboré par les petits paysans africains.

LES LIMITES ACTUELLES DU SYSTÈME ET LES RECHERCHES À ENTREPRENDRE POUR LEVER LES VERROUS EXISTANTS

par David **Grandgirard**¹, Jacques **Wery**² et Delphine **Mézière**³

Dans le cadre du Réseau Mixte Technologique (RMT) "Agroforesteries" labellisé en 2014 par le MAAF/DGER, il a été décidé de porter une attention toute particulière à l'identification des besoins actuels et à venir en termes de Recherches et Développement pour et par les agroforesteries. Issus du constat que les agroforesteries restent des systèmes méconnus du monde agricole métropolitain, une concertation est lancée au sein du RMT pour confronter les attentes des acteurs du développement et des filières agricoles avec l'état actuel des connaissances en agroforesteries tempérées afin de prioriser sur le moyen terme les actions R&D permettant de lever les verrous techniques, économiques, sociologiques et organisationnels au développement des agroforesteries en France.

Nous proposons ici un premier regard croisé entre certaines des attentes d'exploitants agricoles d'une part, et ce à quoi les recherches fondamentale et appliquée aux agroforesteries se sont intéressées à l'échelle internationale et nationale, d'autre part. Dans un premier temps, à partir d'un échantillon de producteurs (n=265) enquêtés au cours des trois dernières années pour l'identification de leurs préférences en termes d'innovations agrotechniques/agroécologiques adaptées et transférables au sein de leur exploitation, la perception des avantages comme des inconvénients de ces innovations (dont une large place est faite aux agroforesteries) est présentée. Cette partie permet de préciser ce qui est (re)connu des agroforesteries et d'en lister les manques de références en savoirs et savoirs faire. Dans une seconde partie, une analyse bibliométrique simplifiée courant sur les 35 dernières années (1979-2014) permet de considérer (i) avec quelle intensité et (ii) selon quelles priorités, les efforts en R&D se sont portés à l'échelle mondiale. Nous avons aussi intégré à l'analyse les projets de recherche financés depuis 4 ans par la Fondation de France dans le cadre de son programme "Agroforesterie". Attentes du monde agricole et priorités de R&D déjà consenties sont alors mises en regard dans un troisième temps de sorte d'identifier les principales lacunes thématiques et les limites à la généralisation des références actuelles disponibles. Finalement, en s'appuyant sur une revue bibliographique scientifique et technique non exhaustive, nous dressons une première liste des verrous thématiques ainsi que des moyens organisationnels qui pourraient être mis en œuvre, en France au cours des 10 prochaines années pour appuyer le développement d'agroforesteries adaptées, performantes et acceptées.

Les principaux résultats de ce travail montrent que les performances aujourd'hui évaluées des systèmes agroforestiers tempérés ne sauraient répondre, en l'état, aux questions posées par la profession agricole, retardant d'autant leur éventuelle adoption et déploiement. Si les attentes des producteurs en termes de productivité arborée et de bilan carboné des systèmes commencent à être satisfaites, si une première idée des retours sur investissement potentiels est proposée, il n'en reste pas moins que peu voire quasiment rien n'a été consenti pour trois verrous majeurs. Cela concerne : (i) les leviers agrotechniques et génétiques à mobiliser au sein des systèmes de culture pour l'optimisation en toutes circonstances des productivités conjointes des arbres (sur le long terme) et des cultures associées (sur le court et moyen terme) ; (ii) la quantification des propriétés émergentes (résilience, efficacité, autonomie...) que l'on peut attendre dans la diversité des situations agricoles françaises c'est à dire pour chaque combinaison "systèmes agroforestiers/systèmes de culture et d'élevage * pédoclimat * intrants" ; et en conséquence de quoi, (iii) la

¹ LaSalle Beauvais.

² Supagro Montpellier.

³ INRA UMR System.

mobilisation de ces connaissances dans des cadres d'analyse socio-économique permettant d'appuyer la mise en œuvre de politiques et de systèmes de conseils adaptés aux spécificités des territoires. Force est de constater que sans ces connaissances et outils les agents de développement se retrouvent aujourd'hui dépourvus de moyens permettant – aux producteurs de projeter leur système d'exploitation dans le temps, comme – aux agents des territoires d'envisager une transférabilité des systèmes agroforestiers à des échelles d'action et de décision variées depuis la parcelle jusqu'aux aires d'alimentation des captages par exemple.

CONCLUSIONS

par Yves **Birot**¹

La réalisation de ce colloque sur l'agroforesterie à l'AAF, organisé conjointement par les sections « productions végétales » et « forêts – filière bois » vient de façon heureuse conclure un projet en gestation de plusieurs années déjà. Par rapport aux séances publiques traditionnelles de l'académie qui ne permettent d'accueillir que 3 exposés, le format plus large du colloque a rendu possible d'appréhender les questions de l'agroforesterie dans une perspective plus complète, couvrant des aspects génériques, spécifiques (systèmes agroforestiers particuliers), dans des contextes différents en termes d'éco-régions et de développement (zones tempérée, méditerranéenne et tropicale). Je n'aurai pas la prétention de faire une synthèse de ce colloque, des présentations et des débats, mais voudrais seulement partager avec vous quelques points qui m'ont personnellement plus interpellé ou marqué.

1. Une frustration programmée...

Malgré un format plus long d'un colloque par rapport à celui d'une séance publique traditionnelle, nous avons dû faire des choix et assumer l'option de ne pas traiter du sylvopastoralisme : ce thème pourrait (devrait !) faire l'objet d'une séance publique ou colloque de l'académie à organiser ultérieurement entre les sections « productions animales » et « forêts et filière bois » de l'académie.

2. Entre arbre et agriculture un conflit historique en voie d'apaisement

Les relations entre arbres et agriculture, souvent conflictuelles jusque dans un passé récent, peuvent être aujourd'hui envisagées de manière renouvelée selon les principes de l'agroécologie, notamment sur la base d'associations d'une large gamme d'espèces présentant des complémentarités aux échelles de la parcelle et du paysage.

3. Compromis ou synergies entre productions et services écosystémiques : des mécanismes et des fonctionnements de mieux en mieux connus

Les systèmes agroforestiers sont des agrosystèmes hétérogènes pluristratifiés dont le fonctionnement dépend fortement des relations interspécifiques entre arbres et plantes herbacées. Ces interactions peuvent se décrire en termes de compétition (partage d'une ressource donnée), de complémentarité (meilleure utilisation de la ressource disponible) et de facilitation (augmentation de la ressource à partager). L'objectif pour un système agroforestier est donc d'accroître la complémentarité et de générer la facilitation. Mais comme l'ont expliqué Christian **Dupraz** et Jean-Michel **Harmand**, l'association arbre x plante n'a pas forcément un caractère bénéfique : tout dépend du contexte pédoclimatique. Les résultats qu'ils ont présentés, fondés sur des travaux d'écologie et/ou de modélisation, des interactions entre strates et du fonctionnement biogéochimique des systèmes fournissent un cadre conceptuel à caractère plus générique.

4. Des pratiques agroforestières plus répandues en zone tropicale qu'en zone tempérée

En France métropolitaine, comme en Europe, mis à part les systèmes traditionnels hérités de l'histoire, les surfaces cultivées en agroforesterie moderne sont encore très faibles (1 000 à 2 000 ha) pour de nombreuses raisons : historiques, culturelles, agronomiques, économiques. Il en va autrement dans les régions tropicales où le nombre de « *success stories* » avérées est significatif.

¹ Membre de l'académie d'agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

Patrick **Jagoret** a bien illustré l'exemple de systèmes agroforestiers cacaoyers qui en Afrique comme en Amérique Latine apparaissent potentiellement comme une voie d'avenir pour faire évoluer le modèle de cacaoculture actuel vers un modèle plus durable et davantage respectueux de l'environnement.

Régis **Peltier** a montré, notamment dans le cas du Sahel et des parcs à *Faidherbia* que la diffusion de techniques agroforestières très simples et peu coûteuses en intrants, couplée avec une politique de sécurisation foncière et éventuellement avec l'octroi de modestes subventions, peut permettre de renverser une tendance lourde de dégradation du couvert arboré par les petits paysans africains.

On notera d'ailleurs qu'un Institut spécialisé, l'ICRAF, du Groupe consultatif pour la recherche agronomique internationale est consacré à l'agroforesterie.

5. Agroforesterie : un levier potentiel d'intensification écologique

Des avantages reconnus : stockage du carbone, cooling, baisse de l'évaporation, hausse du taux d'hygrométrie, meilleure exploitation du profil hydrique, recyclage des nutriments, contrôle du ruissellement et de l'érosion, rôle d'hébergement de la biodiversité avec effet positif possible sur le contrôle des bio-agresseurs et sur les pollinisateurs

6. De nombreux freins et verrous encore à lever

Pour les régions tempérées, les performances aujourd'hui évaluées des systèmes agroforestiers révèlent un « gap » par rapport aux attentes de la profession agricole, retardant d'autant leur acceptabilité, leur éventuelle adoption et leur déploiement effectif. Trois verrous majeurs demeurent. Ce sont : (i) les leviers agrotechniques et génétiques à mobiliser au sein des systèmes de culture pour les productivités conjointes des arbres (sur le long terme) et des cultures associées (sur le court et moyen terme) ; (ii) la quantification des propriétés de résilience, efficience, et autonomie, dans un contexte de grande diversité des situations agricoles françaises impliquant de nombreuses combinaisons "systèmes agroforestiers/systèmes de culture et d'élevage * pédoclimat * intrants" ; (iii) enfin, la mobilisation de ces connaissances dans des cadres d'analyse socio-économique permettant d'appuyer la mise en œuvre de politiques et de systèmes de conseils adaptés aux spécificités des territoires.

En zone tropicale, les bénéfices tirés des pratiques agroforestières mises au point sont encore insuffisamment documentés. Ainsi, comme l'a noté Jean-Michel **Harmand**, l'impact économique des systèmes au niveau local et national, les facteurs écologiques à l'origine des gains de productivité, la fourniture de services écosystémiques, la sélection d'espèces et de variétés adaptées aux contextes agroforestiers, l'adaptation des systèmes face aux changements climatiques sont autant de champs d'investigation à poursuivre.

Je voudrais en terminant adresser mes chaleureux remerciements aux six intervenants de ce colloque. Par leurs analyses et les résultats présentés, ils ont contribué à la diffusion des savoirs dans leurs domaines de compétence, permettant ainsi à l'académie d'agriculture de France de remplir son rôle en les relayant vers une communauté plus large. L'agro-écologie est aujourd'hui au cœur d'enjeux sociétaux. Mais l'agroécologie ne peut limiter son domaine d'action à l'agriculture. Elle doit impliquer aussi l'ensemble des composantes des paysages ruraux, dont les arbres, tant pour leurs fonctions écologiques, que pour les ressources qu'ils procurent et leurs valeurs sociales comme l'a rappelé Marc **Deconchat**. Ce colloque aura permis d'éclairer, je le pense, des acquis, des potentiels et les défis à relever pour faire de l'agroforesterie un des maillons de cette transition agro-écologique.

LA DYNAMIQUE DU DÉVELOPPEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES EN CHINE ET SON IMPACT SUR LES MARCHÉS MONDIAUX

INTRODUCTION

par Jean-Paul **Jamet**¹

La Chine compte aujourd'hui 1 350 millions d'habitants dont 731 millions vivent en zone urbaine (54 % de la population totale). Ceci entraîne une évolution des modes de vie et une ouverture aux influences étrangères. Alors qu'en 1962, la ration moyenne chinoise s'élevait à 1 500 kcal/j/habitant et était presque exclusivement végétale, en 2011, celle-ci dépassait les 3 000 kcal/j/habitant avec 23 % des calories d'origine animale (soit 690 kcal/j/habitant).

En quarante ans, la consommation totale de viande a connu un essor considérable, passant de 7 MT équivalent carcasse (en 1972) à 72 millions de TEC en 2012.

La structure de consommation varie entre les villes et le milieu rural. Le différentiel de revenu entre la ville et la campagne est toujours de l'ordre de 3. La part des revenus consacrée à l'alimentation reste, en 2012, plus importante en milieu rural (39 %) qu'en milieu urbain (36 %, mais avec un revenu trois fois plus grand). Les achats des ménages ruraux en viandes (porc, bœuf, mouton et volaille) sont estimés par les autorités chinoises à 23,5 kg/an/hab en moyenne, alors que les achats urbains seraient de 36 kg/an/hab, soit un écart de 50 %, ceci, compte non tenu de la consommation hors domicile très importante en ville (estimée en moyenne à 20 % de la consommation totale). A l'inverse, les achats de graines (céréales, légumineuses et tubercules, selon la définition chinoise) seraient de 79 kg en ville contre 164 kg pour les ruraux.

Les conséquences de la ration alimentaire en Chine commencent à se faire sentir sur le plan de la sécurité alimentaire du pays. La priorité de tous les Gouvernements chinois, depuis deux millénaires, a été l'autosuffisance pour les produits végétaux, celle-ci correspond toujours aux priorités de la politique agricole chinoise et atteint aujourd'hui 97 % pour les céréales. Les produits stratégiques (blé, riz et maïs) font l'objet de soutiens particuliers (soutien par des prix minimums, paiements directs aux agriculteurs, subventions aux intrants et à l'achat de matériel agricole).

Deux contraintes majeures limitent les perspectives de croissance au-delà de l'amélioration des rendements : la superficie cultivée qui ne doit pas descendre en-dessous de 120 millions d'ha et les disponibilités en eau très mal réparties sur le territoire chinois.

A part les graines et les légumes, les productions agricoles chinoises n'arrivent plus à suivre l'augmentation des consommations des Chinois, l'explosion du déficit commercial agro-alimentaire chinois en est une preuve flagrante.

Ainsi en 2014, les importations agro-alimentaires chinoises dépassaient les 120 milliards d'US Dollars, tandis que les exportations se chiffraient à 70 milliards d'US \$. L'accroissement du déficit s'explique en grande partie par une augmentation significative des importations destinées à l'alimentation animale (40 % de la valeur des importations), mais aussi par l'achat par la Chine de produits animaux ou d'origine animale (10% des importations).

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Ingénieur agronome INA Paris.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°2.

La symbolique de l'accroissement de cette dépendance est représentée par les importations de graines de soja qui étaient de 10 MT en 2000 et qui vont atteindre 74 MT cette année selon l'USDA. La Chine devrait également devenir légèrement déficitaire en maïs et elle importe toute sorte d'alimentation azotée (corn gluten feed, foin et luzerne).

Le XIIe Plan quinquennal (2011-2015) s'est fixé comme ambition de développer une agriculture moderne, en favorisant la constitution d'exploitations de grande taille, la spécialisation des exploitations et l'intégration verticale en développant des liens forts entre l'aval et l'amont et en favorisant le développement de groupes industriels agro-alimentaires de taille internationale.

Mais le développement d'une agriculture moderne est limité par de nombreux handicaps :

- l'atomisation des exploitations : 310 millions d'agriculteurs, et 190 millions très petites exploitations (0,65 ha en moyenne),
- un accès au foncier problématique,
- un manque de formation et de technicité,
- une qualité de vie moyenne qui explique un fort courant d'exode rural entraînant un manque de main d'œuvre.

A cet égard, la situation de l'économie laitière en Chine montre la difficulté de relever dans la durée le défi d'accroître l'offre au regard du développement de la consommation. La production laitière chinoise est passée en vingt ans, de 7 milliards de litres en 1994 à 37 milliards en 2014, avec un développement spectaculaire entre 1998 et 2008. On assiste à une sorte de plafonnement de la production laitière chinoise liée à une diminution des petites exploitations que la création de grandes fermes intégrées peine à compenser ainsi qu'à des problèmes récurrents de sécurité sanitaire.

La disparition des exploitations a plusieurs raisons : règles sanitaires obligeant les groupes à s'approvisionner en direct, fluctuation des cours de la viande et des prix des aliments de bétail, insuffisante maîtrise de l'hygiène et du traitement des maladies, insuffisante formulation des rations, exode d'une partie de la main d'œuvre. La Chine aujourd'hui est devenue le premier importateur de produits laitiers (pour 20% de sa consommation) et elle capte entre 12 et 14% des échanges mondiaux.

Le porc reste la viande la plus produite et la plus consommée en Chine et son prix est surveillé de très près par les autorités chinoises : elle représente encore 63 % de la production de viande en Chine et près de 50 % de la production mondiale. L'indice des prix alimentaires compte pour 30 % dans l'indice global des prix à la consommation et le porc pèserait à lui seul pour près de 12 % de l'indice alimentaire. Les importations chinoises de viande de porc sont très liées aux prix intérieurs et donc aux cycles du porc et aux maladies affectant la production. Elles avoisinaient les 810 000 téc en 2014, soit un peu moins de 20 % du commerce international, mais environ 1,5 % de la consommation chinoise de viande de porc. La Chine pèse encore plus fortement sur le marché des abats puisqu'elle importe près de 60 % des volumes échangés sur le marché international.

Enfin, elle est devenue très récemment un des premiers importateurs mondiaux de viande bovine et le premier importateur de viande ovine. Avec 380 000 TEC de viande bovine, les achats sur le marché mondial ont été multipliés par 20 en 5 ans – correspondant à 7 % de la consommation chinoise de viande bovine en 2013. Avec 284 000 TEC en 2014, les importations de viande ovine ont doublé par rapport en 2012, plaçant la Chine au premier rang des importateurs mondiaux et accentuant sa dépendance estimée à 12% de sa consommation.

La sécurisation des approvisionnements alimentaires pousse la Chine à des investissements à l'international dans toute la chaîne alimentaire. Ainsi, au début des années 2000, la Chine a lancé sa stratégie de « sortie » visant à encourager les investissements chinois d'entreprises privées ou publiques, à sortir du pays. Cette stratégie est très large : elle comprend des accords de libre-échange avec ses partenaires traditionnels pour les productions animales comme la Nouvelle Zélande (en 2008) et plus récemment,

l'Australie (en 2014). Les investissements agricoles sont relativement limités (pas 1 % des investissements directs à l'étranger en 2011). En Asie, les produits de base pour l'alimentation et l'industrie (caoutchouc, manioc, acacia, sucre) paraissent en priorité attirer les investissements. L'Afrique semble être considérée comme un réservoir de terres, notamment pour le riz et le maïs, mais la majorité des productions est destinée à la consommation locale. En Amérique du Sud, les investissements liés au soja et à la canne à sucre ont la préférence des investisseurs, avec un intérêt privilégié pour les infrastructures (routes, voies ferrées et ports) et les sociétés commerciales.

Les pays de l'OCDE accueillent les investissements chinois centrés sur les produits à haute valeur ajoutée comme les produits animaux :

- rachat de Smithfield par Shanghai,
- rachat des traders internationaux Nidera et Noble par le groupe public COFCO,
- rachat de 26 fermes laitières en Nouvelle-Zélande par le groupe Pengxin,
- accord entre YILI et Dairy Farmers of America aux États-Unis,
- accord en Biostime et Arla d'une part et Coopérative d'Isigny d'autre part,
- accord Synutra-Sodiaal à Carhaix,
- accord entre Beingmate et l'Irlandais Kerry

Acceptation aussi d'investissements étrangers dans la production chinoise :

- Prises de participation de Danone et Arla chez Mengniu,
- Prise de participation de Danone dans Yashili,
- Prise de participation de Fonterra dans Beingmate,
- Nestlé investit dans un centre de formation des éleveurs et dans la création d'une grande ferme de démonstration en Mongolie intérieure,
- Fonterra veut investir dans 30 méga-fermes pour produire 1 milliard de litres de lait en 2020.

CONCLUSION DE LA SÉANCE

par Jean Paul **Jamet**

En conclusion, je voudrais revenir aux deux thèmes abordés aujourd'hui : les raisons du ralentissement de la production laitière chinoise à partir de 2008, comme illustration des défis en matière de politique agricole que doit relever la Chine et rappeler ensuite quelques grandes données chiffrées, pour analyser l'influence de la Chine sur les marchés mondiaux.

La production laitière chinoise s'est considérablement développée entre 1998 et 2007, passant de 7 MT à plus de 35 MT. La crise de la mélamine, comme l'a très bien démontré Jean Marc Chaumet, a enrayer durablement cette dynamique et a conduit les autorités chinoises à simplifier les circuits de collecte, en obligeant les entreprises à avoir un approvisionnement direct, garantissant une meilleure traçabilité. Au-delà de cet épisode, cette période marque une transition plus profonde de la politique laitière chinoise qui liée aux différentes difficultés que rencontrent les acteurs de cette filière. En effet, 2008 correspond à plusieurs événements : la généralisation de la volatilité sur les marchés agricoles mondiaux, la continuation d'une urbanisation galopante avec une forte demande en produits animaux et surtout, la modification d'un équilibre ville-campagne aboutissant à un exode rural handicapant la disponibilité en main d'œuvre pour l'agriculture et l'élevage : les classes d'âge adulte à même de travailler ont déserté les exploitations où il ne reste souvent que les enfants et leurs grands-parents. Dans ces conditions, la politique sociale des années précédentes qui était orientée vers une incitation à l'accroissement des petits cheptels a perdu de son intérêt. La logique de la politique d'intégration et de concentration conduit à privilégier l'émergence de très grandes fermes (de quelques milliers de vaches à plusieurs dizaines de milliers). En favorisant ce type de production, les autorités espèrent échapper aux difficultés de maîtrise technique (qualité de la formulation de l'alimentation) et sanitaire (surveillance de la santé des animaux) de la production laitière. En effet, le développement au début des années 2000 a été basé sur une augmentation des troupeaux, notamment par de la génétique étrangère avec beaucoup de PrimHolstein, mais ces animaux qui sont fragiles nécessitent d'être bien nourris et soignés - tel n'a pas toujours été le cas -, tant et si bien que les éleveurs confrontés à des problèmes de santé, ont souvent abattu leurs vaches, notamment au moment où les cours de la viande étaient bien orientés.

La difficulté est aussi venue de la fluctuation des cours des intrants, notamment en matière d'alimentation azotée (tourteaux, foin et luzerne importés depuis le marché mondial et enchéris par des coûts de logistique significatifs). A cela, il faut remarquer que, compte tenu des prix intérieurs chinois en produits laitiers souvent de 20 % supérieurs aux prix mondiaux, certains industriels chinois ont préféré importer des ingrédients laitiers plutôt que s'approvisionner sur le marché chinois. Il en résulte donc une dépendance croissante de la Chine en produits laitiers importés correspondant en 2014 à 20 % de sa consommation intérieure. Pour l'instant, la disparition des petits producteurs peine à être compensée par la création des grandes fermes, par ou en liaison avec les grandes entreprises laitières chinoises. Ce système laitier s'avère assez vulnérable, l'exposition par le biais d'un déficit en alimentation du bétail, à la volatilité du marché mondial des matières riches en protéines (soja, colza, corn gluten feeds, foin et luzerne) et aussi du fait d'un manque de formation et d'encadrement dans les domaines techniques (alimentation) et sanitaires. Ceci sera sans doute amélioré, mais demandera du temps et est à l'image du principal défi auquel est confrontée la Chine : passer d'un développement quantitatif à un développement qualitatif en faisant en sorte que la majorité de ses travailleurs soit mieux formée.

Ces constatations nous conduisent à la deuxième partie de la conclusion ; pour son approvisionnement agro-alimentaire, la Chine a compris qu'elle devrait s'ouvrir sur l'extérieur pour assurer sa sécurité alimentaire : à part le secteur prioritaire de trois cultures majeures (blé, riz et maïs), elle est prête à jouer sur toute la panoplie des activités (cultures, technologies, achats de produits plus ou moins élaborés et contrôle

aussi de sociétés de négoce international, y compris par des prises de participation et de contrôle dans des groupes agro-alimentaires de premier plan.

Rappelons la donne au niveau des surfaces, la Chine dispose de 121 millions d'ha de terres arables et de 173 millions d'ha de pâturages. Sur les 121 millions de terres arables, 90 millions d'ha sont consacrés aux cultures de graines et tubercules, mais correspondent à 163 millions d'ha de semis, car il y a des terres qui supportent deux récoltes, voire parfois trois. Ces grandes cultures permettent d'être autosuffisant à plus de 95 % pour le blé (121 MT en 2012), le maïs (206 MT en 2012) et le riz (204 MT en 2012). En revanche, l'alimentation animale qui consomme près de 75 MT de tourteaux a besoin que la Chine achète des graines de soja et de colza pour les triturer en Chine et assurer l'approvisionnement d'un marché déficitaire en huiles végétales et en tourteaux. C'est ainsi que la Chine devrait acheter sur cette campagne 2014-2015 74 MT de soja (donnant 12,5 MT d'huiles et 60 MT de tourteaux) et 4 millions de MT de graines de colza (1,6 MT d'huile et 2,4 MT de tourteaux). Cela correspond à 40 millions d'ha de cultures (à comparer aux 160 millions d'ha consacrés aux semis de grandes cultures). La Chine est de loin le premier importateur mondial de graines de soja (avec 74 MT comparés aux 115 MT échangées sur le marché mondial en provenance pour 47 MT chacun des États-Unis et du Brésil. Les États-Unis approvisionnent aussi l'Union européenne, alors que le Brésil est très dépendant du marché chinois.

Pour l'instant, force est de constater que la demande chinoise a facilement trouvé une offre de soja en provenance d'Amérique du Nord et d'Amérique latine, du fait aussi de la simplification et de la compétitivité de la culture du soja OGM par rapport à la culture du blé extensif qui a reculé aussi bien en Argentine, au Brésil ou aux États-Unis. Contrairement à un cliché assez courant dans la Presse, ce développement de la culture de soja (31,5 millions d'ha aux États-Unis, 32 millions d'ha au Brésil et 20 millions d'ha en Argentine) n'a pas modifié l'équilibre entre les surfaces consacrées aux grandes cultures d'une part et aux prairies et pâturages d'autre part, si l'on compare dans l'ordre chronologique les surfaces de terres arables entre 1990 et 2011 aux États-Unis (167 millions d'ha contre 160 millions d'ha au Brésil (67 millions d'ares contre 72 millions d'ha) et en Argentine (31 millions d'ares contre 38 millions d'ha avec en face, de faibles variations des surfaces dédiées aux prairies et pâturages (toujours 1990 cité avant 2011) : États-Unis (242 millions d'ha contre 248 millions d'ha), Brésil (196,5 millions d'ha contre 196 millions d'ha), Argentine (102,6 millions d'ha contre 108,5 millions d'ha).

En un mot, la pression exercée par la Chine sur le marché mondial des grandes cultures s'opère sur le marché du soja et donc des oléagineux et secondairement, sur le marché du blé, du fait de la légère diminution des surfaces consacrées à cette culture de base. En revanche, dans les productions animales, l'impact de la Chine devient important pour la production laitière où la Chine importe pour son compte de 12 à 15 % du marché mondial et devient tout récemment aussi un importateur sérieux pour la viande bovine. Chez les monogastriques, son influence est moindre, mais non négligeable pour les morceaux les moins valorisés (ailes, pilons et pattes de poulet et oreilles, pieds et abats pour le porc) et a une influence indirecte sur la grille des valorisations.

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DU TERRITOIRE ET BIOVIGILANCE : OUTILS, ACTIONS, BILANS

INTRODUCTION

par Catherine **Regnault-Roger**¹

Au pays de Molière, le Bourgeois gentilhomme pratiquait sans le savoir la prose. De la même manière, dans la France moderne, pendant longtemps on a pratiqué la surveillance biologique du territoire, même si elle ne se définissait pas tout-à fait de la même façon qu'aujourd'hui, et même si ses objectifs ont évolué.

Comment s'est-elle définie et se définit-elle aujourd'hui ? Comment se situe la notion de biovigilance par rapport la surveillance biologique du territoire ? Définir ces concepts dans leur dimension historique n'est pas superflu.

C'est très tôt en effet qu'est apparue la notion qu'il fallait surveiller les organismes nuisibles des cultures (qu'on appelle aujourd'hui bio-agresseurs) qui pouvaient s'introduire dans le pays à la faveur de la circulation des marchandises agricoles. L'introduction au 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème} siècle de deux insectes américains, qui devinrent de redoutables ravageurs des cultures en Europe, le *phylloxera* dans le vignoble et le *doryphore* sur la pomme de terre, démontra de la nécessité de surveiller l'état sanitaire des cultures ainsi que d'organiser et de coordonner une lutte contre ces organismes nuisibles.

C'est dès 1911 que fut créé un *Service d'inspection phytopathologique*, à la même époque que le principe de la quarantaine (1910 au Canada, 1912 aux Etats-Unis d'Amérique). Ce service sera réorganisé et changera de nom pour devenir le *Service de la Protection des Végétaux* en 1941. Parallèlement, un autre organisme sera créé en 1931 la *Ligue Nationale de Lutte contre les Ennemis des Cultures*, ancêtre de la FNLON. (*Fédération Nationale de Lutte contre les Organismes Nuisibles*).

Toutefois, si la surveillance biologique du territoire se définit historiquement comme un dispositif de gestion des risques liés aux organismes nuisibles de quarantaine qui sont censés être absents du territoire national, ce cadre fut rapidement dépassé.

En effet, les missions de cette surveillance allaient évoluer avec la formidable mutation qu'a connue l'agriculture au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle. A la détection du départ des organismes nuisibles des cultures, s'ajouta la détermination des causes, puis l'anticipation dans les processus d'évaluation, notamment avec des outils de modélisation. Ceci afin de pouvoir prévenir les acteurs de terrain pour qu'ils prennent les mesures nécessaires pour lutter contre les fléaux. Qui a oublié la publication *des Avertissements Agricoles*® de cette époque ?

L'adoption également de nouvelles variétés ou de nouvelles techniques, la large diffusion d'une vaste gamme de produits de protection des plantes (dont certains - parmi les premiers qui ont été utilisés- se sont révélés persistants), ont progressivement fait l'objet d'une attention particulière puis d'un suivi systématique pour détecter si ces innovations pouvaient révéler des effets non intentionnels insoupçonnés. C'est ainsi qu'on se mit à surveiller les phénomènes de résistances liés à un emploi répété d'une même

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur des Universités émérite, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

molécule pesticide sur une même espèce cible, ou à surveiller la qualité de l'eau dans les bassins versant au cours des années 80 afin de détecter s'il existait des contaminations liées à un usage abondant de produits phytopharmaceutiques. A cette époque, je reprends ici les termes que notre confrère Marc Dèlos³⁰: «le but de cette surveillance avait pour objet de mettre en œuvre le plus tôt possible des procédures de gestion du risque identifié ».

C'est dans ce contexte que se posa la question de mettre en œuvre une surveillance d'un type nouveau quand on parla d'introduire la culture de nouvelles variétés obtenues par transgénèse. Ces variétés innovantes possédaient de nouvelles propriétés leur permettant de mieux résister à des insectes ravageurs ou à des maladies, ou encore de faciliter le travail de désherbage de l'agriculteur : tout le monde connaît aujourd'hui le formidable potentiel des biotechnologies pour l'agriculture. Mais, puisqu'à cette époque, on ne savait pas ce que l'introduction de ces nouvelles variétés allait modifier dans les parcelles, il fut décidé qu'il fallait organiser une surveillance très en amont de l'apparition d'un risque, alors même que des effets accidentels ou non intentionnels liés à ces variétés innovantes n'étaient pas connus ni prévisibles.

On parla alors à cet égard de biovigilance. En effet la Loi d'orientation agricole du 9 juillet 1999 précise dans son article 91 que la surveillance biologique du territoire appliquée aux OGM est réalisée par un Comité de biovigilance, un comité qui ne sera d'ailleurs jamais installé.

Avec ce rappel historique, tout devient simple et logique, me direz-vous : la surveillance biologique du territoire est réservé aux nuisibles des cultures et la biovigilance aux OGM... Pas si sûr !

En effet une nouvelle loi, la *Loi no 2008-595 du 25 juin 2008 relative aux organismes génétiquement modifiés* précise un certain nombre de dispositions sur la culture et la commercialisation des OGM (organismes génétiquement modifiés) en France et sur la surveillance biologique du territoire. Elle crée à cet effet deux organismes : le *Haut Conseil des Biotechnologies* ou HCB et le *Comité chargé de la surveillance biologique du territoire* ou CSBT.

La mission de ces deux organismes peut se définir de la manière suivante :

- Le HCB se doit d'éclairer le Gouvernement sur toutes questions intéressant les organismes génétiquement modifiés ou toute autre biotechnologie. Il formule des avis en matière d'évaluation des risques pour l'environnement et la santé publique que peuvent présenter l'utilisation confinée ou la dissémination volontaire des organismes génétiquement modifiés (GM), et en matière de surveillance biologique du territoire liée à ces organismes GM. Le HCB est un organisme indépendant placé sous l'égide de 5 ministères (à l'origine Ecologie et développement durable, Agriculture et Pêche, Economie et Industrie, Santé- jeunesse et sports, Enseignement supérieur et recherche) et comprenant deux comités, un Comité scientifique et un CEES (Comité économique, éthique et social), soit une soixantaine d'experts et une équipe de permanents. Installé en 2009, un deuxième mandat court depuis janvier 2015.
- le CSBT est consulté sur les protocoles et méthodologies d'observations nécessaires à la mise en œuvre de la surveillance biologique du territoire et sur les résultats de cette surveillance, afin d'identifier et de suivre l'apparition éventuelle d'effets sur les écosystèmes vivants liés à la culture des plantes génétiquement modifiées (PGM), et à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, adjuvants et matières fertilisantes, et à la mise en évidence d'une apparition ou d'une dissémination d'organismes nuisibles. Il formule des recommandations sur les orientations à donner à la surveillance biologique du territoire et alerte l'autorité administrative lorsqu'il considère que certains effets non intentionnels nécessitent des mesures de gestion particulières. Composé d'une vingtaine de membres, son autorité de tutelle est le Ministère de l'agriculture, et il est géré par le Bureau de la biovigilance des biotechnologies et de la qualité des végétaux de la Sous-direction de la qualité et de la protection des végétaux. La première mandature s'est achevée au printemps 2015.

On voit qu'à la suite de cette loi de 2008, la délimitation des périmètres de ce qu'est la Surveillance biologique du territoire et la Biovigilance en France n'est plus aussi claire. Aussi avons-nous demandé à

³⁰ Marc Dèlos : « La biovigilance : concept et applications dans les pays européens » In *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*, C.Regnauld-Roger (coord) 2005), Lavoisier pp1038

deux experts français du domaine de nous éclairer sur ce qui se fait en matière de surveillance biologique du territoire et de biovigilance en France aujourd'hui :

- Jérôme **Jullien**, Expert référent national en Surveillance biologique du territoire dans le domaine végétal (DGAL-SDQPV, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt) qui traitera de la « La biovigilance en France : objectifs, organisation, réseau, outils et premiers résultats »,
- Jean-Luc **Flot**, Chef du département de la santé des forêts (DGAL-SDQPV du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt), dont le département pilote depuis 25 ans une action remarquable de surveillance de la santé des forêts et qui fera un exposé intitulé « La santé des forêts : situation et perspectives après 25 ans de surveillance sanitaire ».

Et comme nous sommes aujourd'hui à l'heure de l'internationalisation, au niveau européen d'une part (c'est aujourd'hui la dimension incontournable de la réglementation qui s'applique en France), et au niveau mondial d'autre part, nous avons sollicité deux membres de l'Académie pour nous parler de cette dimension :

- Antoine **Messéan** de la section Productions végétales, ingénieur de recherche INRA et directeur de laboratoire INRA, qui a parmi ses nombreuses casquettes, celle d'expert européen du GMO Panel, groupe d'experts sur les OGM de l'EFSA (Agence européenne de sécurité alimentaire) qui nous parlera de « La surveillance des effets non intentionnels des pratiques agricoles: enjeux méthodologiques et réflexion européenne. »,
- Agnès **Ricroch** de la section Sciences de la Vie, maître de conférences à AgroParisTech (France) et Adjunct-Professor à l'Université d'Etat de Pennsylvanie (USA), revenue des Etats-Unis il y a deux jours pour participer à cette séance, qui évoquera : « La surveillance biologique du territoire et la biovigilance aux Etats-Unis d'Amérique : gérer les ressources et favoriser l'innovation ».

Marie Laure **Loustau-Desprez** de la section Forêts et filières bois, Directrice de recherche INRA, apportera son regard pour conclure cette séance.

LA BIOVIGILANCE ANALYSE LES EFFETS NON INTENTIONNELS DES PRATIQUES PHYTOSANITAIRES SUR LA BIODIVERSITE EN MILIEUX AGRICOLES

par Jérôme Jullien¹

RÉSUMÉ

La biovigilance est pilotée par le Ministère chargé de l'agriculture (DGA1-SQDPV). C'est un système officiel de veille relatif aux effets non intentionnels (ENI) des pratiques agricoles sur l'environnement, encadré par la loi (art. L251-1 du code rural et de la pêche maritime), dont le champ d'investigation a été limité dans un premier temps, à partir de 2012, aux pratiques phytosanitaires sur des espèces indicatrices de biodiversité en milieux agricoles métropolitains.

Pour mettre en œuvre la biovigilance, la DGAL consulte deux instances : le Comité de surveillance biologique du territoire (CSBT) et le Comité national d'épidémiosurveillance (CNE).

Le dispositif de biovigilance est structuré, mutualisé et financé par le plan Ecophyto, dans le cadre de la surveillance biologique du territoire. Il forme un réseau de 500 parcelles fixes pluriannuelles cultivées en blé tendre d'hiver, maïs, salades (têtes de rotation) ou vigne, et conduites en agriculture conventionnelle (80%) ou biologique (20%). Les études portent sur l'abondance, la richesse spécifique et les dynamiques de population d'indicateurs de biodiversité : flore spontanée, coléoptères et oiseaux des bordures de champs ; lombriciens des sols cultivés. Les services chargés de la protection des végétaux (DRAAF-SRAL) supervisent les réseaux régionaux.

Dans chaque région, les données d'observation sont collectées par des partenaires agricoles et naturalistes, selon des méthodologies et protocoles harmonisés, contenus dans un vade mecum. Elles sont ensuite vérifiées, validées et agrégées dans une base de données centralisée pour permettre des analyses statistiques et une interprétation fiable des résultats. Ces informations font l'objet d'une synthèse dans le rapport annuel en surveillance biologique du territoire du Gouvernement au Parlement.

En perspective, la loi n°2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, prévoit un dispositif de phytopharmacovigilance au périmètre large, au sein duquel la biovigilance pourrait occuper une place importante sur le volet relatif aux ENI des pratiques phytosanitaires. Les modalités de mise en œuvre seront précisées par décret dans les mois à venir.

En 2015, après trois ans de fonctionnement, le réseau des 500 parcelles suivies en biovigilance maintient une veille officielle des effets non intentionnels (ENI) des pratiques phytosanitaires sur des indicateurs de biodiversité en milieux agricoles. Les données collectées sur le terrain permettent de poursuivre les analyses exploratoires initiées en 2012 pour chaque groupe d'espèces étudié. Ces statistiques donnent des résultats intéressants qui devront être développés et approfondis durant les années à venir.

Cadre réglementaire

La biovigilance s'applique à la surveillance biologique du territoire, définie en 2008 au sein du Plan Ecophyto : « Renforcer les réseaux de surveillance des bioagresseurs et des effets indésirables de l'utilisation des pesticides ». Elle est encadrée par la loi (art. L251-1 du Code rural et de la pêche maritime). Au niveau européen, ce dispositif entre dans le cadre du Règlement (CE) n°1107/2009 relatif à la mise sur le marché des produits phyto-pharmaceutiques. L'utilisation appropriée de ces produits inclut l'application des

¹ Référent expert national en Surveillance biologique du territoire – DGAL-SDQPV

principes de bonnes pratiques phytosanitaires, viables sur le plan technico-économique, mais également respectueuses de la santé publique et de l'environnement.

Positionnement stratégique de deuxième niveau

Intégrée à la surveillance biologique du territoire (SBT), la biovigilance ne constitue ni un réseau de sciences participative de type associatif, ni un dispositif expérimental, ni un programme de recherche se situant à un premier niveau d'investigation.

La biovigilance se positionne à un deuxième niveau. Son réseau fonctionne grâce à la participation de structures techniques professionnelles agricoles et naturalistes, dont les compétences sont mutualisées pour servir au mieux les objectifs de la loi. Les données sont analysées par des partenaires scientifiques (Muséum national d'histoire naturelle - MNHN, Université de Rennes 1, ANSES-Laboratoire de santé des végétaux, Institut national de la recherche agronomique - INRA...). Le but de la biovigilance est d'exprimer les tendances d'évolution d'espèces indicatrices de biodiversité en milieux agricoles, en termes d'abondance, de richesse spécifique et de dynamique de population, et de mettre en relation les ENI constatés avec les pratiques agricoles, dont les interventions phytosanitaires.

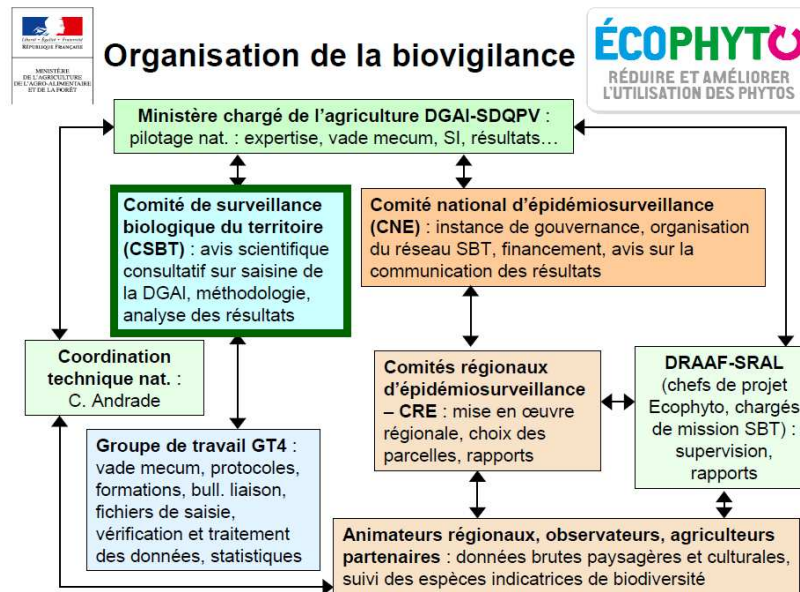
Ce dispositif pourrait induire des études de troisième niveau (par exemple, la relation entre l'utilisation d'un produit phytopharmaceutique et l'existence de certaines espèces animales ou végétales). Dans ce cas, elles seraient conduites hors du programme de biovigilance.



La biovigilance exprime les tendances d'évolution d'espèces indicatrices de biodiversité en milieux agricoles (par exemple, les champs cultivés pour les vers de terre ou lombriciens)

Organisation

La biovigilance est structurée au niveau national. Sa gouvernance est assurée par le Ministère chargé de l'agriculture. La Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) – Sous-direction de la qualité et de la protection des végétaux (SDQP) se charge de sa mise en œuvre et consulte pour cela deux instances : le Comité de surveillance biologique du territoire (CSBT) et le Comité national d'épidémiologie (CNE). Sur cette base, le réseau de biovigilance mobilise 266 observateurs et 21 animateurs régionaux en 2015. Il est constitué de 500 parcelles fixes pluriannuelles cultivées en blé tendre d'hiver, maïs, salades (têtes de rotation) ou vigne, et conduites en agriculture conventionnelle (80%) ou biologique (20%). Les suivis et relevés portent sur l'abondance, la richesse spécifique et les dynamiques de population d'indicateurs de biodiversité : flore spontanée, coléoptères et oiseaux des bordures de champs ; lombriciens (vers de terre) des sols cultivés.



Dans chaque région, les données d'observation sont collectées par des partenaires agricoles et naturalistes, selon des méthodologies et protocoles communs, contenus dans un vade mecum actualisé chaque année. Ces actions sont supervisées par les services chargés de la protection des végétaux (DRAAF-SRAL). Les variables explicatives collectées (80 environ, sur le paysage, les espèces bio-indicatrices et les pratiques agricoles, dont les traitements phytosanitaires) sont ensuite vérifiées, validées et agrégées dans une base de données centralisée pour permettre des analyses statistiques et une interprétation fiable des résultats.

Grandes cultures
Maraîchage
Vigne

Réseau national de surveillance biologique du territoire (SBT) dans le domaine végétal

Vade-mecum de l'observateur en biovigilance

Suivi des effets non intentionnels des pratiques phytosanitaires sur des indicateurs de biodiversité en milieux agricoles

L'importance de la standardisation des prélèvements :

Ces données sont d'autant plus utilisables et fiables que les protocoles sont standardisés et que les observateurs respectent scrupuleusement les instructions. En effet, une source phénotypique des données peut provenir de l'espèce ou du matériel. Si elle est trop importante, les données récoltées ne nous apprendront rien car il y aura trop de « bruit » et les différents facteurs, étudiés ne mesureront pas comme significatifs. C'est pourquoi nous insistons beaucoup sur ce point : faire les prélèvements aux dates indiquées, dans les bonnes conditions, avec le matériel adapté (même manque de matériel et utilisation dès le premier jour pour toutes les régions, par exemple) et de faire les gestes au plus près de ce qui a été indiqué lors des formations.

L'importance de la standardisation de la description des paysages, des bordures et des pratiques de gestion :

De même que pour les données biologiques, la standardisation de la description de l'environnement des sites de prélèvement est essentielle pour une bonne interprétation des données. Les formulaires fournis visent à assurer cette standardisation. De plus, l'utilisation d'une base de données spatialisée (par exemple, Corine Land Cover) permet d'affiner la description paysagère autour des sites d'observation par rapport au caractère subjectif de l'affectation du paysage par un observateur dans une des catégories prédéfinies. La constitution d'un atlas cartographique national permettant de caractériser les paysages des 500 parcelles de manière plus objective et complète, constituerait un complément utile aux bases de données en cours de constitution sur les données biologiques et les pratiques de gestion.

Le réseau de biovigilance métropolitain comprend 500 parcelles fixes pluriannuelles de référence.

Les observateurs utilisent un vade mecum contenant les méthodologies et protocoles d'observation.

Méthodologie, protocoles et indicateurs biologiques

L'observation des équilibres biologiques au sein des agrosystèmes est fondamentale en agroécologie et en agriculture intégrée. Elle est également indispensable en biovigilance. Outre les études réalisées dans un premier temps pour chaque taxon, en relation avec les caractéristiques paysagères, les systèmes de culture

et les pratiques agricoles, la biovigilance a pour objectif final d'étendre cette analyse aux liens trophiques entre les espèces animales et végétales, et de considérer également les connexions et interactions entre les zones cultivées (incluant les pratiques agricoles), les bords de champs et l'environnement. Cette approche multivariée sera corrélée aux traitements phytosanitaires pour vérifier dans quelle mesure certaines interventions auraient un impact significatif sur des indicateurs de biodiversité en milieux agricoles.



Relevés floristiques de bordures de champs lors de formations en biovigilance



Prélèvement de coléoptères en bordure de vigne à l'aide d'un filet fauchoir



Tri des lombriciens (vers de terre) collectés en bordure de champ

Principaux résultats obtenus en 2014

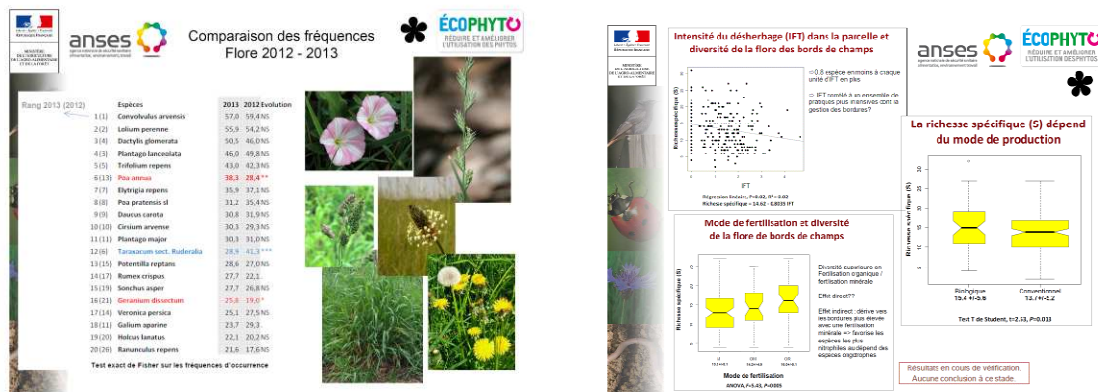
Le dispositif de biovigilance a été mis en œuvre en régions conformément aux instructions nationales. Outre l'investissement important de tous les acteurs, il faut souligner une harmonisation progressive des niveaux de compétence des observateurs, notamment grâce aux formations dispensées sur le terrain par les partenaires scientifiques du réseau : Muséum national d'histoire naturelle (oiseaux, insectes), Université de Rennes 1 (vers de terre), ANSES-Laboratoire de santé des végétaux (flore sauvage).

Les données régionales collectées de novembre 2013 à janvier 2014 ont été vérifiées et validées lors du premier semestre 2014 au niveau national. Toutes les informations incomplètes ou erronées ont été corrigées, afin de permettre la réalisation d'analyses de situation (état des lieux des suivis) et d'études approfondies (études statistiques) les plus fiables possibles.

Les résultats obtenus en 2014 sur la base des données 2013 sont à considérer comme des informations en cours de vérification. Ils ne peuvent être généralisés et devront être confirmés dans les années à venir.

La flore

En 2013, l'observation des bordures de champs en biovigilance a généré 8 237 observations floristiques (une observation = un taxon dans une bordure à une date donnée), soit une hausse de 20% par rapport à 2012. Cette augmentation s'explique par l'intégration de la Corse dans le dispositif et l'extension de la liste des espèces focales (150 au total) et probablement une attention plus fine portée en conséquence par les observateurs. Au cours de l'été et de l'automne 2014, une première analyse des données ainsi qu'une validation des données exhaustives ont été effectuées.



Un total de 461 taxons (déterminé au moins au rang de l'espèce) a été observé sur 490 bordures de parcelles. Parmi les 150 espèces de la liste focale, 144 espèces ont été identifiées ce qui confirme *a posteriori* la justesse des « cibles » choisies. 23 espèces sont communes et présentes dans plus de 20% des bordures : les deux plus fréquentes, observées dans plus de la moitié des parcelles, restent le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*, 56%, 274 bordures) et le ray-grass anglais (*Lolium perenne*, 56%, 272 bordures). Suivent de près, 5 espèces également très communes (entre 38 et 48% de fréquence) : le dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*), le plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*), le trèfle rampant (*Trifolium repens*), le pissenlit (*Taraxacum sect. Ruderalia*) et le pâturin annuel (*Poa annua*). 44 espèces ont une fréquence comprise entre 5 et 20%. Seules deux espèces de ce groupe à fréquence intermédiaire n'appartiennent pas à la liste focale : une ronce (*Rubus fruticosus* agr., 5.9%) et la pâquerette (*Bellis perennis*, 5.5%). Enfin, 394 espèces, dont 79 de la liste focale, sont des espèces assez rares à rares, observées dans moins de 5% des bordures. En moyenne, 16 espèces sont recensées par bordure, dont 13 de la liste focale et 3 espèces supplémentaires. Un maximum de 45 espèces a été recensé dans une bordure en Corse.

En raison de l'hétérogénéité des connaissances botaniques et de l'utilisation variable de la liste exhaustive suivant les régions, les analyses suivantes se concentrent uniquement sur la liste focale.

La diversité des bordures comme indicateur de l'intensité des pratiques agricoles ?

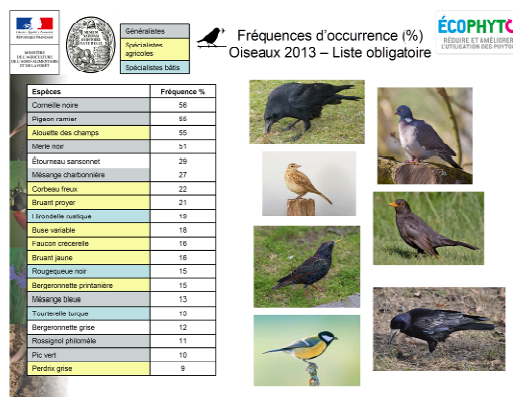
La richesse de la flore des bordures n'est pas dépendante de la « tête de rotation » (blé, maïs, salades, vignes), ni du type de culture de la campagne en cours. Logiquement, le mode de travail du sol qui concerne l'intérieur de la parcelle, n'a pas non plus de répercussions sur la diversité de la flore des bordures (Test de Kruskal-Wallis, $H=2.03$, $P=0.36$). En revanche, une flore légèrement plus riche est observée dans les bordures des parcelles conduite en mode biologique (15.4 +/- 5.6) comparées aux parcelles conduites en mode conventionnel (13.7 +/- 5.2) avec 1.7 espèces supplémentaires en moyenne (Test T de Student, $t=2.53$, $P=0.013$). Une corrélation négative est également trouvée entre l'IFT herbicide et la diversité de la flore des bordures (Test de Spearman, $\rho=-0.21$, $P<0.001$). Il n'est pas possible d'affirmer que le lien s'explique par un effet direct des traitements sur la flore des bordures. En revanche, il est très probable que l'indice de fréquence de traitement (IFT) et le mode de production soient des variables corrélées à un ensemble d'autres variables (surface de la parcelle, gestion de la bordure, maintien d'éléments paysagers en bordures, etc.), qui

ensemble, influencent la diversité floristique des bordures. La corrélation négative détectée entre la diversité des bordures et la surface de la parcelle (Test de Spearman, $\rho = -0.10$, $P = 0.033$) va dans ce sens.

Les Oiseaux

Depuis 2013, la liste d'espèces focales d'oiseaux à observer est fixée à 28 espèces, soit une quinzaine d'espèces par zone biogéographique, afin de couvrir l'ensemble du territoire métropolitain, dont la Corse grâce à une sélection d'espèces particulières.

De plus, la surveillance de l'avifaune concerne désormais toutes les régions métropolitaines, contrairement à 2012 où seules 15 régions avaient appliqué le protocole. On peut donc considérer la campagne 2013 comme le point zéro du réseau de biovigilance vis-à-vis des communautés d'oiseaux.



Les spécialistes et généralistes se partagent les milieux agricoles

Parmi les oiseaux les plus fréquemment observés en 2013 figurent des espèces communes des habitats agricoles, comme l'alouette des champs, le corbeau freux, le bruant proyer, la buse variable, le faucon crécerelle, le bruant jaune, la bergeronnette printanière ou encore la perdrix grise. Ces spécialistes des milieux agricoles sont inféodés aux cultures, c'est à dire qu'ils nichent et s'alimentent essentiellement dans cet habitat, dont les populations françaises dépendent. Certains nichent au sein des parcelles, alors que d'autres utilisent les bordures et les haies environnantes. Ces espèces recherchent leur nourriture en périphérie ou à l'intérieur des parcelles. Leur fréquentation peut changer au cours de la saison, suivant la disponibilité en ressources alimentaires. Par exemple, une parcelle de colza en fleur serait davantage fréquentée par des insectivores de milieux buissonnants (telle que la fauvette grisette), que pendant la période de croissance végétative.

D'autres espèces fréquemment observées par le réseau de biovigilance sont généralistes. C'est le cas de la corneille noire, du pigeon ramier, du merle noir ou de la mésange charbonnière. Ces espèces fréquentent aussi bien le milieu urbain, que les boisements ou les jardins. Elles sont moins dépendantes du milieu agricole pour leur survie que les espèces spécialistes.

L'influence du paysage et des habitats

La structure de la végétation et de l'habitat influe sur la présence et la détection des oiseaux. Selon la hauteur, la densité des cultures ou le pourcentage de sol nu, des espèces différentes peuvent préférer les parcelles pour nicher ou s'y alimenter. L'utilisation du milieu diffère également selon leur activité : reproduction, nourrissage des jeunes, halte migratoire, hivernage. La hauteur et la densité de la végétation varient également au cours de la saison de reproduction (quand se déroulent les comptages en biovigilance) et la fréquentation des parcelles peut en être affectée. La présence de structures naturelles, la superficie des parcelles ou l'homogénéité des cultures peuvent avoir un impact sur la composition en espèces et l'abondance d'oiseaux. Les haies, bosquets, fosses ou rangées d'arbres fournissent des sites d'alimentation ou de nidification pour certaines espèces, alors que d'autres, comme l'alouette des champs préfèrent des milieux très ouverts de préférence sans boisements ni haies.

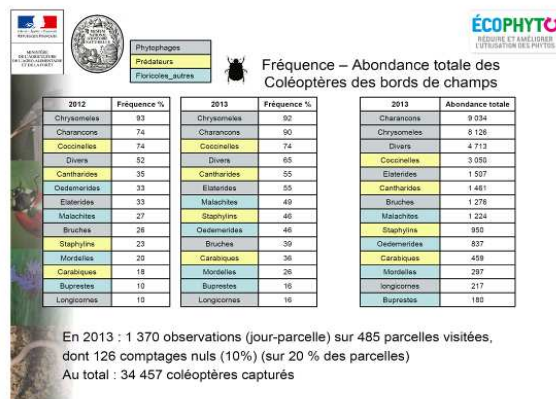
Les pratiques agricoles sont également importantes

Les pratiques agricoles (agriculture biologique vs agriculture conventionnelle) peuvent impacter la composition et l'abondance des communautés de la flore et de la faune en général. En étant haut placés dans la chaîne alimentaire, les oiseaux constituent un indicateur intéressant sur « l'état de santé » des milieux. La nature et les caractéristiques du sol sont des facteurs potentiels qui influent sur l'avifaune. L'abondance et la productivité des oiseaux insectivores seraient associées positivement à un sol riche en matière organique. Par ailleurs, les communautés d'oiseaux, très mobiles dans le milieu agricole, sont fortement liées au paysage et sont ainsi des indicateurs globalisant du paysage alentours et des interactions entre le climat, le paysage et les pratiques agricoles ou de gestion. De fait, le suivi des oiseaux en biovigilance doit être vu comme un taxon englobant à la fois le paysage, le système d'exploitation et les ressources (flore et invertébrés) présentes localement. L'analyse des données oiseaux prend ces éléments en considération.

Sur le plan statistique, les données de 2013 n'ont pas permis de détecter de différence significative dans l'abondance des oiseaux entre les différentes cultures ou pratiques. Il faudra donc attendre les prochaines campagnes et davantage de données, afin de rendre compte de l'influence de ces variables sur les communautés d'oiseaux.

Les coléoptères

L'année 2013 a permis de consolider la maîtrise du protocole d'observation des coléoptères des bords de champs, notamment grâce à une meilleure utilisation du filet fauchoir et de l'aspirateur à bouche pour collecter les insectes, ainsi que du classement des spécimens capturés en 15 groupes morphotypiques.



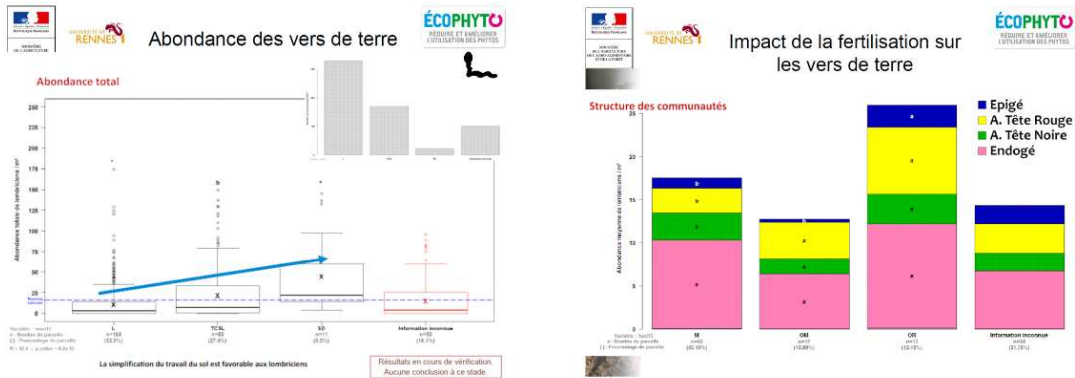
Les trois groupes les plus fréquemment observés et les plus abondants sont les chrysomèles, les charançons et les coccinelles. Les deux premiers groupes recèlent des phytophages, dont plusieurs espèces sont des ravageurs de cultures. En revanche, le troisième groupe rassemble surtout des prédateurs généralistes, auxiliaires des cultures pour la plupart des espèces.

Contrairement aux oiseaux qui sont très dépendants de la typologie du paysage, les coléoptères semblent être davantage influencés par la nature de la bordure, la flore qui la compose, la gestion de cette bande herbeuse et les pratiques agricoles mises en œuvre dans les parcelles adjacentes.

Les études statistiques réalisées en 2014 n'ont pas permis de mettre en évidence des tendances ou des effets significatifs pour la campagne 2013. Il conviendra de collecter au moins une année supplémentaire de données, voire davantage, pour affiner l'étude de l'effet des pratiques agricoles sur l'abondance et la richesse spécifique des coléoptères, corrélées aux facteurs météorologiques, au mode de gestion des bordures, ainsi que d'autres variables explicatives, et produire des résultats exploitables à l'appui d'analyses multivariées.

Les vers de terre

Les abondances des communautés lombriciennes sont favorisées par la désintensification du travail du sol, ce qui est en adéquation avec la littérature. Le non-travail du sol (SD) se distingue significativement, des deux autres modalités, par une abondance significativement supérieure. Tous les groupes fonctionnels, exceptés les épi-anéciques (têtes rouges), sont affectés négativement de manière significative par un travail du sol, ce qui n'est pas confirmé par la littérature (graphique non présenté ici).



Le petit graphique, en haut à droite de la figure présentée ci-dessus, met en évidence une très nette augmentation moyenne de la richesse spécifique mesurée au laboratoire de l'Université de Rennes 1 ; de 2 à 8 taxons en SD. Ces résultats complémentaires soulignent une assurance biologique plus importante pour les pratiques agricoles sans travail du sol. Cependant, il est important de noter que de nombreuses variables ne sont pas renseignées pour toutes les parcelles. Recueillir et compléter ces données manquantes, pour toutes les parcelles, seront donc des prochaines étapes importantes. Ces données, associées à une analyse agro-pédologique classique, permettront de réaliser des études statistiques plus poussées, notamment multifactorielles.

Valorisations régionales du réseau de biovigilance

Les données collectées sur les 500 parcelles du réseau de biovigilance sont analysées au niveau national, mais chaque région s'attache à restituer aux partenaires locaux les principaux résultats issus de leur travail. Ce retour légitime d'informations est indispensable au maintien de la dynamique du réseau.

Extraits de restitutions et valorisations régionales de suivis des ENI en biovigilance

Perspectives de développement

Les analyses statistiques complexes envisagées en biovigilance nécessitent l'implication de biostatisticiens en agroécologie, en lien avec les scientifiques du Comité de surveillance biologique du territoire (agronomes, écologues, biologistes, botanistes, écotoxicologues...). C'est pourquoi, à partir de

2015, une cellule d'analyse des données devrait être mise en place sous l'égide de la DGAL et le pilotage de l'institut national de la recherche agronomique (INRA).

Par ailleurs, pour pouvoir évaluer l'influence des pratiques agricoles sur la biodiversité des parcelles cultivées et bordures, ce qui constitue l'objectif principal du dispositif actuel de biovigilance, il faut être capable, dans un contexte biogéographique donné, de séparer la part de cette l'influence que l'on peut attribuer au paysage seul, aux pratiques seules et à leur interaction. Cela demande une description pluri-échelles du paysage autour de chacune des 500 parcelles suivies. Un projet d'études de l'INRA de Toulouse a été préparé en 2014 en vue d'une réalisation en 2015.

Enfin, en application de la loi n°2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, les résultats obtenus en biovigilance pourraient enrichir le nouveau dispositif de phytopharmacovigilance sur le volet relatif aux effets non intentionnels des pratiques phytosanitaires sur la biodiversité en milieux agricoles.

Conformément au Code rural et de la pêche maritime (art. L.253-8-1), la phytopharmacovigilance (PPV) doit permettre d'assurer la surveillance des effets indésirables des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur l'homme, les animaux d'élevage (dont l'abeille domestique), les plantes cultivées, la biodiversité, la faune sauvage, l'eau et le sol, la qualité de l'air et les aliments, ainsi que l'apparition de résistances à ces produits. Il reposera sur les informations produites par les réseaux de surveillance et/ou vigilance existants. Sa mise en œuvre est confiée à l'Anses.

LA SANTÉ DES FORÊTS : DISPOSITIF DE SURVEILLANCE ET PERSPECTIVES APRÈS 25 ANS D'ACTIVITÉ SANITAIRE

par Jean-Luc Flot¹

RÉSUMÉ

Le Département de la santé des forêts est un service du ministère en charge de l'agriculture, créé le 1^{er} janvier 1989, avec une double mission surveillance phytosanitaire des forêts (constitution d'une mémoire des événements phytosanitaires) et de diagnostics et de conseils de gestion des problèmes phytosanitaires à l'intention des propriétaires et des gestionnaires des forêts.

Ces missions sont mises en œuvres en s'appuyant sur un réseau de 220 correspondants-observateurs, personnels de terrain du Centre national de la propriété forestière, de l'Office national des forêts et de l'administration, et en étroite collaboration avec l'IGN, l'ANSES et la recherche (notamment l'INRA).

La stratégie de surveillance révisée au 1^{er} janvier 2007 distingue trois modalités, la veille sanitaire, la surveillance du territoire et les suivis spécifiques, qui sont présentées en détail.

Pour ce qui concerne l'avenir de cette surveillance, il est particulièrement important de continuer à disposer d'un réseau d'observateurs de terrain motivés et bien formés et de compléter cette observation à l'aide de techniques modernes en plein développement dans les domaines de la télédétection, de la génomique, du piégeage d'insectes et de spores, et du traitement des données.

SUMMARY

Forest Health Department is a department of the ministry in charge of agriculture, established on 1st January 1989 with a dual mission of phytosanitary survey of forests (constitution of a memory of phytosanitary events) and diagnostics and advice for management of phytosanitary problems for owners and forest managers.

These missions are performed by relying on a network of 220 field observers, field staffs of the National Forest Property Centre, of the National Forestry Office and of Administration, and in close collaboration with IGN, ANSES and research (including INRA).

The monitoring strategy, revised on 1 January 2007, distinguishes three modalities, health monitoring, surveillance of the territory and specific monitoring, which are detailed.

Regarding the future of this survey, it is especially important to further have a network of field observers motivated and well trained and to complement their observations using modern techniques under development in the fields of remote sensing, genomics, insects and spores trapping, and data processing.

¹ Chef du département de la santé des forêts, DGAL-SDQPV Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt

INTRODUCTION

Un besoin important en matière de diagnostic et de gestion sanitaire en forêt a émergé à la fin des années 1960, suite à l'intensification de la sylviculture, aux importantes plantations réalisées dans le cadre du Fonds forestier national (FFN) et à la réorganisation des services forestiers, création de l'Office national des Forêts (ONF) et des Centres régionaux de la Propriété forestière (CRPF).

Un premier dispositif a été mis en place en 1972, avec la création de la Division phytosanitaire du Centre d'étude du machinisme agricole et forestier (Cemagref, devenu depuis l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'agriculture et l'environnement Irstea) et la définition d'un dispositif de surveillance sanitaire national reposant sur les services régionaux en charge de la forêt, et l'ensemble des propriétaires et gestionnaires forestiers.

Des événements sanitaires successifs de grande ampleur (sécheresse de 1976, dépérissement des chênes de Tronçais, cochenille du hêtre en Normandie, puis dépérissements forestiers attribués aux pluies acides ...) ont montré la nécessité d'un dispositif plus élaboré de diagnostic sanitaire et de suivi sanitaire continu des forêts.

C'est dans ce contexte qu'a été créée, au 1^{er} janvier 1989, le Département de la santé des forêts (DSF), service du Ministère en charge de l'agriculture, rattaché à la Direction de l'espace rural et de la forêt (DERF), devenue en 2003 Direction générale de la forêt et des affaires rurales (DGFAR).

Dans le cadre de la Révision générale des politiques publiques (RGPP), le DSF a été transféré le 2 juillet 2008 à la Sous direction de la qualité et de la protection des végétaux de la Direction générale de l'alimentation (SDQPV/DGAL) puis les échelons interrégionaux du DSF ont été rattachés aux Directions régionales de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DRAAF) qui les hébergeaient, sous forme d'une mission interrégionale confiée à 5 DRAAF.

1 - Organisation et missions

Le dispositif est composé :

- du Département de la santé des forêts et d'experts (6 ingénieurs et une secrétaire),
- de 5 Pôles interrégionaux de la santé des forêts (5 ingénieurs, 8 techniciens et 5 secrétaires),
- et d'un réseau de 220 correspondants-observateurs, personnels de terrain de l'ONF, du Centre national de la propriété forestière (CNPF) et de l'administration, qui consacrent 20 à 50 jours par an à l'activité sanitaire.

Il a deux missions :

- une mission de diagnostics et de conseils de gestion des problèmes phytosanitaires à l'intention des propriétaires et des gestionnaires forestiers,
- et une mission de surveillance phytosanitaire des forêts et de suivi de l'impact des changements climatiques sur l'état sanitaire des peuplements forestiers,
- et assure la diffusion d'information et de formations dans le domaine de la santé des forêts.

Ces missions sont exercées dans le cadre de multiples collaborations et partenariats avec :

- le Centre national de la propriété forestière (CNPF) et l'ONF,

- le Laboratoire de la santé des végétaux (LSV) de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), qui réalise notamment la grande majorité des analyses mycologiques,
- l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) qui réalise des observations sanitaires sur ses placettes d'inventaire forestier, héberge et gère les bases de données du DSF, et contribue à l'analyse des données,
- l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), et notamment le Département écologie des forêts, prairies et milieux aquatiques (EFPA) qui héberge 3 ingénieurs du DSF, collabore à de multiples dispositifs et intervient dans le cadre de conventions d'étude,
- ainsi qu'avec différents organismes de recherche tels qu'Irstea, l'Université d'Orléans, l'Université libre de Bruxelles

2 - Stratégie de surveillance de la santé des forêts

La stratégie de surveillance a été révisée au 1^{er} janvier 2007, avec l'objectif prioritaire de mieux prendre en compte les risques potentiels liés aux changements globaux : changements climatiques, acidification, eutrophisation et tassements de sols, introduction d'espèces invasives.

La surveillance est mise en œuvre sous forme de 3 stratégies différenciées : la veille sanitaire, la surveillance du territoire et les suivis spécifiques, répondant à des questions définies et disposant d'outils particuliers.

La **veille sanitaire** correspond au signalement de tout dégât, symptôme alarmant ou indice de présence d'un problème phytosanitaire qui ne fait pas l'objet d'un suivi spécifique. La fiche de signalement est simple (cf figure 1), elle comprend une localisation précise, avec un relevé GPS, une description des symptômes et un diagnostic. Si le diagnostic est incertain, des échantillons sont prélevés pour analyses de laboratoire. La fiche est transmise rapidement au pôle interrégional (saisie internet) pour permettre de mettre en œuvre des investigations complémentaires éventuelles.

La **surveillance du territoire** revêt deux aspects : la surveillance d'organismes invasifs (dont les organismes réglementés, dans le cadre des plans de surveillance mis en œuvre par la SDQPV) et la surveillance d'essences introduites. L'objectif est la détection de phénomènes rares (avant qu'ils ne se soient répandus). Les enquêtes sont programmées annuellement, avec un protocole de prospection adapté à chaque organisme. Des échantillons sont systématiquement prélevés pour confirmer les suspicions. La fiche d'observation (cf. figure 2) est renseignée et saisie, que la prospection soit positive ou non.

Les **suivis spécifiques** sont envisagés chaque fois qu'un problème sanitaire relativement répandu soulève des questions particulières en termes de répartition géographique, de facteurs déterminants, d'impact, d'évolution inter annuelle ... Ces suivis font appel à une large palette d'outils : réseau systématique de suivi des dommages forestiers, observations de l'inventaire forestiers, enquêtes, enquêtes, placettes permanentes ou semi-permanentes, massifs test ou suivi des récoltes.

En raison de leur structure spatiale agrégative, beaucoup de problèmes sanitaires sont très mal (voire pas du tout) pris en compte par des dispositifs systématiques. Il est donc nécessaire de conserver une part importante de prospection orientée.

3 - Perspectives

Il est particulièrement important de continuer à disposer d'un réseau de correspondants-observateurs de terrain motivés et bien formés. Le réseau est conforté par les services que les correspondants-observateurs apportent en interne à leurs organismes en matière de diagnostic et de conseils de gestions des problèmes sanitaires mais, pour pallier un certain manque de disponibilité, il est nécessaire de guider, de compléter et d'exploiter au mieux leurs observations à l'aide d'outils techniques modernes (en développement rapide actuellement).

3-1 Télédétection

La télédétection a été utilisée ponctuellement à maintes reprises par le DSF au cours des 25 dernières années mais cette ressource devrait être plus largement utilisée à l'avenir grâce à la grande amélioration de la qualité des images et à la baisse concomitante des coûts, que ce soit pour les images satellitales ou pour les photographies aériennes (notamment par ULM ou drones).

Deux utilisations sont envisagées et étudiées :

- la détection d'anomalies qui feront ensuite l'objet d'observation de terrain,
- et la détermination de l'extension spatiale de phénomènes observés ponctuellement sur le terrain.

Il est difficile de visualiser les phénomènes sanitaires à évolution lente sur les images satellitales. Les images multitemporelles, telles que celles que vont fournir les satellites Sentinel-2, suscitent de grands espoirs.

3-2 Piégeage, identification moléculaire, génomique

Les observations des correspondants-observateurs portent pour l'essentiel sur des dommages et les agents responsables sont identifiés soit sur le terrain soit au laboratoire. L'identification directe et le prélèvement d'échantillons pertinents demandent une solide formation.

Des piégeages d'organismes nuisibles, insectes ou spores de champignons, sont en cours d'expérimentation. Ils présentent l'intérêt de ne pas nécessiter une longue formation des opérateurs de terrain concernés, et donc de pouvoir être confiée à des collaborateurs occasionnels.

Si les spores de pathogènes peuvent dès maintenant être détectées par des techniques moléculaires, les insectes doivent encore être identifiés visuellement ce qui limite les possibilités d'extension de piégeages entomologiques. Le *barcoding* devrait permettre prochainement d'exploiter plus facilement les bols de piégeage, dès que les référentiels espèces seront suffisamment exhaustifs, surtout si l'analyse peut être conduite directement à partir d'un broyat des insectes collectés.

Dans un avenir plus lointain, les techniques de métagénomique pourraient faciliter le diagnostic des dommages observés et la surveillance des organismes introduits et des maladies émergentes.

3-3 Analyse des données

Toutes les données correspondant aux observations réalisées depuis 1989 sont stockées en une base de données Postgrésq (+Postgis), hébergée par l'IGN qui a développé les applications de saisie internet des dispositifs généraux. Les dispositifs particuliers sont saisis avec des outils développés en interne au DSF. Des outils sont développés pour l'utilisation et la visualisation des observations, notamment cartographique, mais ils ne sont actuellement accessibles qu'aux pôles interrégionaux santé des forêts et aux correspondants-observateurs.

Le rythme actuel d'acquisition est de l'ordre de 10 000 observations par an, avec des données et des dispositifs d'observation souvent complexes.

Les données sont communiquées aux organismes qui en font la demande et signent une charte d'utilisation. De ce fait, elles sont très largement utilisées par la recherche mais il reste beaucoup à faire pour les exploiter au mieux. Des progrès sont attendus en matière de techniques d'analyse de données, notamment en épidémiologie et en géostatistique...

Remerciements à l'ensemble des acteurs qui collaborent au dispositif de surveillance de la santé des forêts, et tout particulièrement aux correspondants-observateurs

Compléments bibliographiques

Toutes les publications du DSF sont accessibles sur le site internet du ministère
(lien : <http://agriculture.gouv.fr/sante-des-forets>)

LA SURVEILLANCE DES EFFETS NON INTENTIONNELS DES PRATIQUES AGRICOLES : ENJEUX MÉTHODOLOGIQUES ET RÉFLEXION EUROPÉENNE

par Antoine Messéan¹

RÉSUMÉ

Le dispositif réglementaire européen pour l'évaluation sanitaire et environnementale des OGM a prévu la mise en place d'un dispositif de surveillance des effets directs et indirects qui se décompose en deux volets :

- la surveillance spécifique qui porte sur les risques potentiels identifiés lors de l'évaluation *ex-ante* ; dans ce cas, des hypothèses permettant d'orienter les protocoles de biovigilance, comme l'apparition de résistance chez les insectes ou les adventices ;
- la surveillance générale qui porte sur les effets non intentionnels non identifiés durant l'évaluation initiale ; par définition, il n'y a pas d'hypothèse a priori pour orienter les éléments de l'environnement qui doivent être suivis.

Compte tenu de l'absence d'hypothèse a priori et du fait que les pratiques et systèmes agricoles évoluent en permanence, il est difficile de différencier l'effet d'une nouvelle technologie de ceux du reste des pratiques agricoles. Il apparaît ainsi nécessaire de mettre en place un système plus large de surveillance de l'impact des pratiques agricoles. Au niveau européen, une réflexion s'est engagée afin d'évaluer dans quelle mesure les données collectées par les innombrables observatoires environnementaux, tant au plan national qu'europpéen, peuvent être mises en relation avec l'évolution des systèmes et pratiques agricoles pour faciliter la détection des effets non intentionnels liés à une innovation spécifique (OGM, produits phytosanitaires, etc).

Les enjeux méthodologiques et les contraintes organisationnelles d'un tel dispositif sont illustrés et discutés dans la présentation.

ABSTRACT

The EU framework for the risk assessment of Genetically Modified Plants includes the implementation of a Post-Market Environmental Monitoring plan, which consists of :

- *Case-Specific Monitoring (CSM), whose objective is to verify assumptions about those environmental risks that have been identified during the initial risk assessment : in this case, the CSM is therefore hypothesis-driven, such as the evolution of resistance of target organisms in insect-resistant crops ;*
- *General Surveillance (GS), whose objective is to detect possible unintended effects that were not foreseen during the risk assessment and that would arise after cultivation ; in this case, there is no hypothesis to test.*

CSM has been successfully implemented for insect-resistant maize such as MON810. Further improvement can be gained by taking advantage of predictive models that make it possible to move from a qualitative risk assessment to a more quantitative risk assessment and help set up optimal post-market environmental monitoring plans. GS is more challenging. Without hypotheses and given that agroecosystems continuously evolve, it is challenging to decipher the specific effect of one technology from those of the components of the agroecosystem that change anytime.

According to GS, farmer questionnaires have been implemented in the context of GMOs but they lack of relevance to assess possible large-scale ecological effects. At the European level, EFSA has recommended

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

to make better use of existing environmental surveillance networks to detect significant adverse trends in the environment and to relate them to the characteristics of the agroecosystems.

Methodological challenges for such an approach and possible solutions are discussed in the presentation.

Introduction

La mondialisation des échanges, les réformes successives de la Politique Agricole Commune, l'émergence de nouveaux acteurs dans la sphère de l'agriculture, les exigences croissantes de la société sur les produits et les façons de les produire et le poids accru de la réglementation, se sont traduits par une remise en cause progressive des modèles de production agricole conventionnels et des processus d'innovation qui y étaient associés. Il en découle des interrogations sur la nature des innovations techniques et organisationnelles à développer ainsi que sur les nouveaux critères à respecter en termes de développement durable.

En matière de procédure réglementaire d'évaluation des innovations techniques proposées aux agriculteurs, la réponse ne peut se limiter à la simple prise en compte de nouveaux critères environnementaux et/ou sanitaires dans les dispositifs d'évaluation conventionnels. En effet, toute innovation ou changement de pratiques agricoles engendre des modifications plus ou moins importantes dans le fonctionnement et la dynamique d'évolution des écosystèmes. En raison de l'interdépendance entre opérations agronomiques, des interactions à l'échelle des paysages et du fait que les autres composantes de l'agroécosystème (systèmes de culture, pratiques, etc) bougent en même temps, l'impact d'une innovation n'est généralement pas réductible à un effet direct et circonscrit.

Or, le dispositif d'évaluation réglementaire a, jusqu'à récemment, été limité à une évaluation des effets directs (effet « efficacité/innocuité » d'une matière active, performances variétales) dans des conditions expérimentales (parcelles expérimentales, une saison de culture) ne permettant pas d'appréhender toutes les interactions liées à l'agroécosystème. La faible capacité de prévision écologique des impacts des innovations a notamment contribué à la discordance qui est apparue entre l'opinion publique et les communautés scientifiques et techniques investies dans les biotechnologies végétales, et à une méfiance croissante vis-à-vis de l'innovation en agriculture sous toutes ses formes ainsi que des processus de décision publique.

Dans ce contexte, outre l'amélioration des modalités d'évaluation *ex-ante* des impacts des innovations avant leur mise sur le marché par une meilleure prise en compte des effets systémiques, s'est progressivement mise en place une évaluation *ex-post*, au travers d'une surveillance après mise sur le marché, permettant de « tester » les innovations dans des conditions réelles.

Ainsi, le dispositif réglementaire européen pour l'évaluation sanitaire et environnementale des OGM a prévu la mise en place d'un dispositif de surveillance des effets directs et indirects (EC, 2001) qui se décompose en deux volets :

- la surveillance spécifique qui porte sur les risques potentiels identifiés lors de l'évaluation initiale et qui vise à) : « confirmer toute hypothèse émise lors de l'évaluation des risques pour l'environnement, en ce qui concerne l'apparition et l'impact d'effets néfastes potentiels de l'OGM ou de son utilisation»; dans ce cas, des hypothèses permettant d'orienter les protocoles de surveillance spécifique, comme l'apparition de résistance chez les insectes ou les adventices ;
- la surveillance générale qui a pour objet « d'identifier l'apparition d'effets néfastes de l'OGM ou de son utilisation sur la santé humaine ou l'environnement qui n'ont pas été anticipés dans l'évaluation des risques pour l'environnement. » ; par définition, il n'y a pas d'hypothèse a priori pour orienter les éléments de l'environnement qui doivent être suivis.

Si les modalités de mise en œuvre diffèrent, le principe d'assurer un suivi des effets non intentionnels se généralise, notamment en ce qui concerne les produits phytopharmaceutiques dans le cadre de la mise en place d'une surveillance biologique du territoire.

Comme cette approche est mise en place depuis plusieurs années pour le déploiement des cultures transgéniques, nous pouvons en tirer des enseignements méthodologiques utiles pour sa généralisation.

La surveillance spécifique : l'exemple du maïs MON810 résistant à la pyrale

Le maïs MON810 exprime la toxine Cry1Ab qui permet au maïs de résister aux attaques de certains lépidoptères comme la pyrale (*Ostrinia nubibalis*) et la sésamie (*Sesamia nonagrioides*). Dès le développement de cette technologie aux Etats-Unis, le risque d'apparition de résistances chez les insectes cibles a été identifié et, bien qu'il ne s'agisse pas en soi d'un risque environnemental, des plans de gestion de la résistance ont été mis en place (d'abord par l'EPA³¹ aux Etats-Unis et repris en Europe par la suite).

Afin de prévenir l'apparition de résistance, il est mis en œuvre une stratégie « haute-dose/refuge » qui combine:

- un niveau d'expression de la toxine suffisant pour contrôler les insectes hémizygotés porteurs du gène de résistance ;
- des zones refuges permettant de préserver un habitat suffisant pour les individus sensibles à la toxine.

Cette stratégie de gestion, qui avait été validée *a priori* à l'aide de modèles, est accompagnée d'une surveillance spécifique destinée à vérifier que cette stratégie est effectivement efficace sur le terrain. Cette surveillance spécifique consiste à prélever des insectes cibles (stade larvaire le plus souvent) dans les zones refuge et à tester leur résistance à la toxine Cry1Ab. Ces suivis, conduits depuis près de vingt ans tant aux Etats-Unis qu'en Europe, n'ont pas mis en évidence d'émergence de résistance jusqu'à présent, validant ainsi *a posteriori* la stratégie « haute dose/ refuge ».

Pour autant, la puissance des tests étant limitée, il semble possible et souhaitable d'affiner le dispositif de surveillance spécifique de manière à mieux cibler les situations « à surveiller ». En effet, il semble peu utile d'aller collecter des larves de pyrale dans des régions où la proportion de MON810 est faible, la pression de sélection étant insuffisante pour induire une quelconque évolution de la résistance. En revanche, l'échantillonnage pourrait se concentrer dans des régions agricoles de très forte adoption comme l'Aragon en Espagne, pour valider la stratégie « haute dose/refuge » ou garantir qu'une éventuelle augmentation de la résistance sera détectée avant qu'elle n'atteigne des seuils préjudiciables (EFSA, 2014a).

Outre la gestion de la résistance des organismes cibles de la toxine Cry1Ab, il est nécessaire de vérifier si les populations d'autres lépidoptères, qui ne sont pas nuisibles pour la culture de maïs et qui peuvent pour certains d'entre-eux être protégés, sont susceptibles d'être affectées par la culture de MON810. En effet, bien d'autres lépidoptères dits « non-cibles », sont plus ou moins sensibles à la toxine Cry1Ab et peuvent être exposés au travers de la dispersion spatiale du pollen même s'ils se trouvent éloignés des cultures de maïs. Malgré la faiblesse des références sur ces impacts, des modèles prédictifs (Perry *et al.*, 2010, 2012) ont été développés et permettent d'estimer un risque de mortalité de ces populations en prenant en compte non seulement le niveau de sensibilité spécifique à chaque lépidoptère mais aussi les caractéristiques dans les agroécosystèmes dans lequel MON810 est cultivé (densité de maïs, proportion de maïs exprimant la toxine, nature des habitats, conditions climatiques).

L'enjeu est ici de passer d'une évaluation qualitative du risque (en moyenne, le risque est considéré très faible ou très fort) à une évaluation quantitative du risque permettant de cibler les situations (pays, régions, agroécosystèmes) où des populations de papillons peuvent être affectées. Une telle évolution de l'approche du risque permet de faciliter les prises de décision par les gestionnaires locaux mais également d'adapter les dispositifs de surveillance afin de respecter un principe de proportionnalité : concentrer les

³¹ US Environmental Protection Agency.

suivis, et les rendre ainsi plus puissants, en les ciblant dans les situations où le risque est a priori le plus élevé.

Les modèles prédictifs jouent ici un rôle essentiel dans l'articulation existante entre l'évaluation du risque et la gestion du risque. Cette approche, promue par l'AESA³² depuis plusieurs années, est malheureusement peu mise en œuvre en Europe dans un contexte où les décisions autour des OGM restent gouvernées par d'autres considérations que la gestion effective des risques éventuels. Néanmoins ce cadre de réflexion est applicable à d'autres types d'innovation.

Surveillance générale : un véritable challenge

Dans le cadre de la surveillance générale, il s'agit de pouvoir détecter des effets possibles sur l'environnement qui ne sont *a priori* pas directement liés à la modification apportée à la plante et qui n'ont pas été détectés lors de l'évaluation initiale. Cela peut concerner :

- des effets qui ne s'expriment que lors du déploiement à grande échelle et dans le temps, notamment en raison des interactions avec les autres composantes de l'agroécosystème
- d'effets indirects liés aux modifications de l'agroécosystème induites par le développement de la nouvelle technologie ;
- d'effets qui ne s'exprimaient pas dans les conditions initiales d'évaluation mais qui apparaîtraient du fait de l'évolution des conditions environnementales des agroécosystèmes, comme le changement climatique.

Ces considérations sont très générales et ne concernent pas seulement le cas particulier des OGM pris en exemple ici.

Comment identifier l'effet spécifique d'une pratique particulière alors qu'il n'y a, par définition, pas d'hypothèse à tester et que les agroécosystèmes évoluent en permanence avec des changements continus de pratiques, de systèmes de culture ou d'usage des terres qui, eux-mêmes, constituent des perturbations *a priori* plus importantes que le remplacement d'une pratique sur une culture donnée (remplacement d'un maïs conventionnel par un maïs tolérant à la pyrale) ?

Dans le cas du MON810 en Europe, la stratégie de surveillance générale appliquée à l'heure actuelle est fondée sur 3 piliers :

- La mise en œuvre de questionnaires renseignés par des agriculteurs qui cultivent le MON810 et comparant de façon qualitative les performances du maïs MON810 avec celles du maïs conventionnel : ces questionnaires permettent aussi de faire état de problèmes inattendus rencontrés ; compte tenu du nombre, ces questionnaires font l'objet d'une analyse statistique ; toutefois, si ces questionnaires sont adaptés à la détection d'effets agronomiques auxquels les agriculteurs sont sensibles, ils restent de peu de valeur pour des impacts environnementaux plus larges comme la biodiversité;
- La revue bibliographique des articles scientifiques publiés chaque année à propos du MON810 ou de la toxine Cry1Ab : elle permet d'actualiser l'état des connaissances et de consolider ou non l'évaluation initiale du risque ;
- L'exploitation des réseaux de surveillance environnementale qui pourraient aider à repérer des changements environnementaux dans les régions de culture du MON810 ; compte-tenu de l'hétérogénéité de ces réseaux, des difficultés d'accès aux données et du manque de méthodologie pour relier un changement d'impact environnemental avec une pratique particulière, ce pilier n'est actuellement pas exploité.

³² Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire/EFSA *European Food Safety Authority*

Les rapports de surveillance produits chaque année sur le MON810 font régulièrement l'objet d'avis scientifiques de l'AESA qui formulent des recommandations en ce qui concerne la méthodologie employée.

De façon générale, compte-tenu que l'introduction d'un OGM (ou de n'importe quelle autre pratique nouvelle) n'est qu'une pratique parmi toutes celles qui changent en permanence, il est illusoire de vouloir relier directement cette pratique à des changements environnementaux globaux.

Dans ses lignes directrices sur la surveillance environnementale après mise sur le marché (EFSA, 2011), l'AESA a suggéré l'approche suivante:

- Relever dans le temps, au travers des réseaux de surveillance environnementale pré-existant, un certain nombre d'indicateurs environnementaux à l'échelle des agroécosystèmes ;
- Détecter, au-delà des variations interannuelles, des changements significatifs sur ces indicateurs ;
- Analyser dans quelle mesure ces changements de valeurs d'indicateurs sont susceptibles de créer des dommages irréversibles ou sont compatibles avec les objectifs de protection environnementale (« *protection goals* ») établis par les directives européennes et/ou les Etats-membres ;
- Analyser dans quelle mesure les caractéristiques des systèmes et pratiques agricoles et leur évolution peuvent expliquer les changements observés et déterminer si cet effet est lié à une technique particulière (introduction d'OGM ou utilisation de produits phytosanitaires).

Ce renversement de perspective (suivre des indicateurs environnementaux et, en cas d'effets adverses, analyser ce qui cause l'effet) fait sens dans un contexte de surveillance générale pour laquelle il n'y a *a priori* pas d'effet identifié de la pratique introduite (ceux qui le sont sont gérés par la surveillance spécifique) et donc aucune hypothèse de travail. Ces lignes directrices préconisent donc:

- une surveillance spécifique, organisée autour d'une pratique particulière, ici un OGM donné, et qui vérifie les hypothèses de l'évaluation initiale en prenant en compte le contexte de l'agroécosystème ;
- une surveillance générale, centrée sur l'agroécosystème dans son ensemble et ses impacts environnementaux, et non sur telle ou telle composante dans un premier temps.

La mise en œuvre pratique de cette surveillance générale pourrait prendre la forme suivante :

- Identifier un ensemble de réseaux de surveillance environnementale permettant d'estimer un série d'indicateurs environnementaux (eau, sol, air, biodiversité) et organiser la mutualisation de leurs données ;
- Analyser leurs données et repérer des changements préjudiciables à l'atteinte des objectifs de protection environnementale ;
- Caractériser, en parallèle, le climat, les écosystèmes, les systèmes de culture et les pratiques agricoles et leur évolution ;
- Identifier les pratiques susceptibles d'expliquer les changements environnementaux observés (recherche d'hypothèse) ;
- Mettre en place une surveillance spécifique pour confirmer l'hypothèse émise.

Ce cadre général a été proposé par la Commission Européenne aux Etats-membres mais il semble que ces derniers soient assez réticents pour l'instant à s'engager dans cette voie qui suppose une implication forte de leur part, une certaine harmonisation des dispositifs de suivi environnemental et probablement, un investissement financier significatif. Par ailleurs, l'absence de définition précise des objectifs de protection environnementale à garantir dans chaque pays ou région constitue un obstacle majeur. Enfin, il subsiste de nombreux challenges méthodologiques autour de la faisabilité d'exploiter les réseaux de surveillance environnementale existants et la mise en relation entre pratiques agricoles et impacts globaux. Ces interrogations ont récemment fait l'objet d'un avis de l'AESA (EFSA, 2014b) qui, tout en relevant les obstacles à l'utilisation des réseaux existants (hétérogénéité, incomplétude, accessibilité aux données, méthodologies d'exploitation), souligne l'existence de réseaux adaptés à un tel exercice (comme celui sur le suivi des papillons) et encourage les Etats-membres à s'engager dans la mutualisation des réseaux et

développement des méthodologies appropriées. Malgré ces difficultés, l'évaluation des innovations évolue et s'inscrit peu-à-peu dans un continuum articulant : (1) une évaluation *a priori* renforcée, adossée sur des études expérimentales et un recours accru à la modélisation prédictive ; (2) une évaluation *a posteriori* à part entière permettant d'évaluer les nouvelles pratiques dans leurs conditions réelles d'usage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) European Commission, 2001. – Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC - Commission Declaration
- (2) EFSA Panel on Genetically Modified Organisms (GMO), 2011. – Scientific Opinion providing guidance on the Post-Market Environmental Monitoring (PMEM) of genetically modified plants. EFSA Journal 2011;9(8):2316, 40 pp. doi:10.2903/j.efsa.2011.2316
- (3) EFSA GMO Panel (EFSA Panel on Genetically Modified Organisms), 2012. – Scientific Opinion updating the risk assessment conclusions and risk management recommendations on the genetically modified insect resistant maize MON 810. EFSA Journal 2012;10(12):3017, 98 pp. doi:10.2903/j.efsa.2012.3017
- (4) EFSA GMO Panel (EFSA Panel on Genetically Modified Organisms), 2014a. – Scientific Opinion on the annual post-market environmental monitoring (PMEM) report from Monsanto Europe S.A. on the cultivation of genetically modified maize MON 810 in 2012. EFSA Journal 2014;12(6):3704, 29 pp. doi:10.2903/j.efsa.2014.3704
- (5) EFSA GMO Panel (EFSA Panel on Genetically Modified Organisms), 2014b. – Scientific Opinion on the use of existing environmental surveillance networks to support the post-market environmental monitoring of genetically modified plants. EFSA Journal 2014;12(11):3883, 24 pp. doi:10.2903/j.efsa.2014.3883
- (6) PERRY JN, DEVOS Y, ARPAIA S, BARTSCH D, GATHMANN A, HAILS RS, KISS J, LHEUREUX K, MANACHINI B, MESTDAGH S, NEEMANN G, ORTEGO F, SCHIEMANN J AND SWEET JB, 2010. – A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to Bt-maize pollen expressing Cry1Ab within Europe. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 277, 1417-1425.
- (7) PERRY JN, DEVOS Y, ARPAIA S, BARTSCH D, EHLERT C, GATHMANN A, HAILS RS, HENDRIKSEN NB, KISS J, MESSEAN A, MESTDAGH S, NEEMANN G, NUTI M, SWEET JB and TEBBE CC, 2012. – Estimating the effects of Cry1F Bt-maize pollen on non-target Lepidoptera using a mathematical model of exposure. Journal of Applied Ecology 49, 29-37.

LA SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DU TERRITOIRE ET LA BIOVIGILANCE AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE : GÉRER LES RESSOURCES ET FAVORISER L'INNOVATION

par Agnès **Ricroch**¹

Différentes agences sont en charge de la biosurveillance : le Département américain de l'Agriculture (*USDA Department of Agriculture*) avec ses Services de Conservation des Ressources Naturelles (*NRCS Natural Resources Conservation Service*), de Recherche agricole (*ARS Agricultural Research Service*), de Recherche économique (*ERS Economic Research Service*) et d'Inspection Sanitaire Animale et Végétale (*APHIS Animal and Plant Health Inspection Service*), l'Agence de Protection de l'Environnement (*EPA Environmental Protection Agency*) et l'Administration de l'Alimentation et des Médicaments (*FDA Food and Drug Administration*). Ainsi, pour gérer l'évolution de la résistance à des herbicides d'une manière optimale pour les agriculteurs, avec la *Weed Science Society of America*, les entreprises surveillant l'évolution des adventices forment les agriculteurs et installent des plans de rémédiation (rotations...) et rapportent à l'EPA. La même démarche d'acteurs est envisagée pour gérer l'évolution de la résistance d'insectes et de champignons. Le Service de recherche économique, *USDA Economic Research Service* (ERS), synthétise les informations sur les pratiques de cultures conduites sur le terrain pour les principaux produits grâce aux enquêtes annuelles sur la gestion des ressources agricoles (*ARMS, Agricultural Resource Management Survey*). Ces enquêtes nationales sont menées au niveau du champ (5 000 champs) et au niveau des exploitations (30 000 exploitations). L'Agence de Protection de l'Environnement (*EPA Environmental Protection Agency*) réglemente les pesticides pour s'assurer qu'ils sont sans danger pour la consommation humaine et animale et qu'ils ne constituent pas un préjudice à l'environnement, s'assure que toutes les nouvelles variétés transgéniques ne posent pas de risque phytosanitaire aux autres plantes. Elle joue un rôle dans la réglementation de la sécurité des aliments transgéniques. Enfin, l'Administration de l'Alimentation et des Médicaments, *Food and Drug Administration* (FDA), réglemente en collaboration avec l'USDA et l'EPA.

Pour la gestion des pêcheries, notamment d'Alaska, gérer les stocks de poissons sauvages pour assurer des pêches durables implique une surveillance. Différents acteurs, dont des coopérations entre des industriels et des scientifiques, recueillent et analysent les données de biosurveillance, présentées ensuite au Congrès. Le Département du Commerce est en charge de ce secteur. Les pêcheries de saumon sont gérées par le département d'Alaska de pêche et de chasse (*ADFG Department of Fish & Game*) qui est responsable de la conservation et la gestion. Le Conseil des Pêches est responsable de la politique et des allocations (*Board of Fisheries* d'Alaska). Les mesures de conservation concernent l'entrée limitée pour les permis de pêche, chaque remontée de saumon dans une rivière étant gérée comme une unité. Le colin et les poissons de fonds sont gérés par les autorités fédérales. Le Service National des Pêches Marines est responsable de la conservation et de la gestion (*NMFS National Marine Fisheries Service* aussi appelé *NOAA Fisheries*). Le Conseil de Gestion des Pêcheries du Pacifique est responsable de la politique et de l'allocation (*NPFMC North Pacific Fishery Management Council*). La gestion des ressources halieutiques est précautionneuse : les scientifiques mesurent la biomasse. Des limites de prises annuelles sont très strictes et 41 zones marines sont protégées, les engins de pêche sont interdits dans certaines zones, et des programmes sont mis en place pour réduire les prises accessoires. L'Agence fédérale responsable de la gestion des pêches aux États-Unis est

¹ Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Maître de conférences hors-classe à AgroParisTech. Adjunct Professor, Pennsylvania State University, USA.

tenue de présenter chaque année au Congrès des États-Unis un rapport documenté sur l'état de santé et le volume des stocks de poissons et crustacés. Le Congrès peut voter alors un soutien financier pour restaurer des stocks ou adopter une loi sur la conservation d'une espèce.

Après l'annonce en 2008 d'une cellule bactérienne au génome complètement synthétique, la Commission présidentielle américaine de bioéthique, instance auprès du Président Obama, crée la Commission de coordination des politiques inter-agences pour les technologies émergentes (ETIPC *Emerging Technologies Interagency Policy Coordination Committee*). La *vigilance prudente* est une méthode d'évaluation continue des risques comme des opportunités, des dommages et des bénéfices potentiels de la Biologie de Synthèse qui est une extension du génie génétique issue de disciplines diverses. Selon la Commission, de nombreuses agences de surveillance existantes contrôlent le champ de la Biologie de Synthèse, à mesure qu'il se développe : *Environmental Protection Agency* (EPA) (industrie chimique), *Food and Drug Administration* (FDA) (alimentation, médicaments et dispositifs médicaux), *Department of Agriculture* (USDA) (cultures et alimentation animale) et *Department of Homeland Security* (DHS) (bio-sûreté).

La biosurveillance peut être organisée au niveau des États entre des professionnels et des scientifiques, ou l'organisation peut être nationale. Durabilité et productivité sont compatibles grâce à une gestion scientifique basée sur la biosurveillance.

CONCLUSION

par Marie-Laure **Desprez-Loustau**¹

Comme rappelé par Catherine **Regnaut-Roger**, la biovigilance s'inscrit dans une démarche de surveillance des risques biologiques initiée dès le début du 20^{ème} siècle. Le terme nouveau de biovigilance traduit un élargissement du périmètre de la surveillance, mais aussi un changement de perspective, voire de paradigme: il ne s'agit plus seulement de gérer les risques liés aux organismes nuisibles exotiques introduits mais plus généralement de considérer tous les risques, identifiés ou non, liés à l'innovation en matière de pratiques agricoles (OGM, produits sanitaires, etc.). Ainsi la biovigilance s'inscrit dans la perspective globale d'une prise de conscience de l'empreinte des activités humaines sur le fonctionnement des écosystèmes, et par suite sur la santé et le bien-être humain. D'où la nécessité de considérer la durabilité des systèmes de production, pour conjuguer productivité (répondre aux besoins des populations actuelles) et préservation de la biodiversité et fonctions écologiques (comme assurance pour le futur).

Pour mettre en œuvre cette surveillance et biovigilance, les dispositifs actuellement mis en place en France pour le domaine agricole et forestier, présentés par Jérôme **Jullien** et Jean-Luc **Flot** (DGAL-SDQPV, MAAF), même s'ils sont assez différents, présentent des caractéristiques communes: organisation en réseau (pour couvrir une large échelle spatiale), observateurs formés et motivés, protocoles standardisés et bases de données (pour assurer des estimations quantitatives, analysables, évaluer des changements), mobilisation de différents types d'acteurs, du terrain à la recherche en passant par les pouvoirs publics.

Le cadre réglementaire est une composante importante de la surveillance et de la biovigilance en France et en Europe, qui sont encadrées par des lois. Ainsi, Antoine **Messéan** nous a présenté le dispositif réglementaire européen pour l'évaluation sanitaire et environnementale des OGM. Cet aspect réglementaire est aussi présent en Amérique du Nord mais Agnès **Ricroh** dans plusieurs exemples développés pour les risques liés aux pesticides ou la gestion des pêcheries insiste également sur les fortes coopérations entre industriels et scientifiques.

Ainsi, alors que la biovigilance, par son aspect réglementaire et la mise en avant de risques associés à l'innovation, pourrait être perçue comme un principe d'empêchement, l'objectif est d'en faire un outil de "gestion précautionneuse", basée sur la connaissance, préservant des intérêts présents et futurs, particuliers et généraux, conciliant productivité et durabilité. Par les défis qui leur sont posés (détecter l'inattendu, faire la part de différents facteurs de changement dans des systèmes complexes) la surveillance et la bio-vigilance se doivent d'intégrer en continu de nouveaux concepts et outils (diagnostic moléculaire, télédétection, bio statistiques...) et sont ainsi de formidables opportunités d'une meilleure connaissance des écosystèmes. Les données qui s'accumulent sont encore largement à exploiter.

Pour le futur, dans un contexte de rythme soutenu des innovations et changements globaux, le maintien voire l'augmentation de l'efficacité de la surveillance et de la biovigilance (non seulement pour détecter mais aussi comme aide à la gestion), ne pourront passer que par la poursuite des améliorations techniques mais aussi de la gouvernance et de l'organisation des acteurs: évolution des cadres réglementaires, subsidiarité, implication du public....

¹ Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France. Associate Editor, Forest pathology, INRA, UMR Biogeco, 69, route d'Arcachon, Pierroton, 33610 Cestas.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°2.

Note de synthèse

par Catherine **Regnault-Roger**, Agnès **Ricroch**, Marie Laure **Desprez-Loustau**

Devenue une préoccupation dans plusieurs pays, la surveillance biologique du territoire et la biovigilance sont l'objet de plusieurs démarches. Tandis qu'en 2014, le département de la Santé des forêts de la DGAL fête ses 25 ans de surveillance sanitaire des forêts, la loi du 25 juin 2008 a défini une surveillance biologique de tout le territoire qui s'inscrit dans une démarche d'identifier et de suivre l'apparition éventuelle d'effets non intentionnels sur les écosystèmes et les organismes vivants provoqués par les pratiques agricoles prises au sens large. A cet effet, a été créé un Comité de surveillance biologique du territoire (CSBT) et des actions ont été engagées au sein de plusieurs réseaux. Cette démarche n'est pas seulement hexagonale, elle est également nord-américaine et une réflexion est en cours au niveau européen.

L'objectif de la séance qui s'est déroulée le 20 mai à l'Académie fut d'examiner quels outils de cette surveillance (réseaux, formation des observateurs de terrain, choix d'indicateurs) étaient mis en œuvre et quel était le bilan des actions engagées sur le territoire national, leur lien avec le cadre européen et d'effectuer une comparaison avec l'expérience nord-américaine.

Dans une introduction, Catherine **Regnault-Roger** a rappelé l'évolution de la biosurveillance en France qui fut historiquement un dispositif de gestion des risques liés aux organismes nuisibles de quarantaine, censés être absents du territoire national. Ce cadre a évolué dans les années 1970-1980 vers la mise en œuvre de procédures de gestion d'un risque identifié. Ainsi la Loi d'orientation agricole du 9 juillet 1999 distingue la surveillance biologique du territoire appliquée aux organismes nuisibles et celle des OGM qui serait réalisée par un Comité de biovigilance. Mais il semblerait que la loi du 25 juin 2008 ait modifié ces contours en définissant les prérogatives du Haut Conseil des Biotechnologies et du Comité de surveillance biologique du territoire. C'est pourquoi il est utile de demander aux experts du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (MAAF), ce qu'il en est.

Jérôme **Jullien**, expert référent national en Surveillance biologique du territoire dans le domaine végétal, (DGAL-SDQP, MAAF) précise ce qu'est la biovigilance actuellement. C'est un système officiel de veille relatif aux effets non intentionnels (ENI) des pratiques agricoles sur l'environnement, encadré par la loi (art. L251-1 du code rural et de la pêche maritime). Il est piloté par la DGAI-SQDPV depuis 2012. Dans un premier temps, son champ d'investigation a été limité volontairement aux pratiques phytosanitaires sur des espèces indicatrices de biodiversité en milieux agricoles métropolitains. Financé par le plan Ecophyto, il forme un réseau de 500 parcelles fixes pluriannuelles cultivées en blé tendre d'hiver, maïs, salades (têtes de rotation) ou vigne, et conduites en agriculture conventionnelle (80%) ou biologique (20%). Les études portent sur l'abondance, la richesse spécifique et les dynamiques de population d'indicateurs de biodiversité : flore spontanée, coléoptères et oiseaux des bordures de champs ; lombriciens des sols cultivés. Dans chaque région, les données d'observation sont collectées par des partenaires agricoles et naturalistes, selon des méthodologies et protocoles harmonisés, contenus dans un *Vademecum*. Elles sont ensuite vérifiées, validées et agrégées dans une base de données centralisée pour permettre des analyses statistiques et une interprétation fiable des résultats. Les services chargés de la protection des végétaux (DRAAF-SRAL) supervisent les réseaux régionaux. Les informations font l'objet d'une synthèse dans le rapport annuel en surveillance biologique du territoire du Gouvernement au Parlement.

Jean-Luc **Flot**, Chef du Département de la santé des forêts (DSF) présente l'historique de la surveillance des forêts qui a abouti à la création du DSF le 1er janvier 1989 actuellement rattaché à la

DGAL-SDQPV, MAAF. Le DSF a pour mission la surveillance phytosanitaire des forêts (constitution d'une mémoire des événements phytosanitaires), en particulier le suivi de l'impact des changements climatiques (et autres changements globaux) et assure également une mission de diagnostics et de conseils en gestion des problèmes phytosanitaires à l'intention des propriétaires et des gestionnaires des forêts.

Le DSF comprend 25 personnes, à Paris et dans 5 pôles régionaux et s'appuie sur un réseau de 220 correspondants-observateurs, forestiers de terrain de la forêt publique et privée. Il entretient des collaborations étroites avec l'IGN, l'ANSES et la recherche (notamment l'INRA). La stratégie de surveillance révisée au 1er janvier 2007 distingue trois modalités, la veille sanitaire, la surveillance du territoire (organismes invasifs dont organismes de quarantaine) et les suivis spécifiques. Les données sont stockées dans une base unique, permettant notamment des sorties cartographiques, et utilisable par les chercheurs. Le DSF communique les résultats via le site internet du Ministère et différentes publications. J.L. **Flot** indique que, pour l'avenir de cette surveillance, il est important de continuer à disposer d'un réseau d'observateurs de terrain motivés et bien formés, de compléter les observations à l'aide de techniques modernes en particulier dans les domaines de la télédétection, de la génomique, du piégeage d'insectes et de spores, et de poursuivre les développements pour le traitement statistique des données.

Antoine **Messéan** présente le dispositif réglementaire européen pour l'évaluation sanitaire et environnementale des OGM qui s'articule sur une surveillance spécifique portant sur les risques potentiels prévisibles et une surveillance générale portant sur les effets non intentionnels non prévisibles c'est-à-dire non identifiés durant l'évaluation initiale, sans hypothèse a priori pour orienter les éléments de l'environnement qui doivent être suivis. Il souligne combien il est difficile, dans ce contexte, de différencier l'effet d'une nouvelle technologie de ceux du reste des pratiques agricoles. Aussi au niveau de l'EFSA, une réflexion s'est engagée afin de mettre en regard les données collectées par les innombrables observatoires environnementaux nationaux ou européens et l'évolution des systèmes et pratiques agricoles. Le but est d'identifier si la détection des effets non intentionnels pourraient être liés à une innovation (OGM, produits phytopharmaceutiques). L'auteur a illustré son propos à partir de l'exemple du maïs Bt MON 810, la seule culture d'OGM actuellement cultivée dans l'UE.

Agnès **Ricroch** présente la surveillance biologique du territoire et la biovigilance aux États-Unis d'Amérique à travers deux exemples (une grande culture végétale et des ressources halieutiques). Elle conclut avec la démarche de vigilance prudente de la biologie de synthèse. Ces exemples illustrent la démarche américaine qui permet de gérer les ressources et de favoriser l'innovation. La biosurveillance peut être organisée au niveau des Etats, entre professionnels et scientifiques, ou l'organisation peut être fédérale. Durabilité et productivité sont compatibles grâce à cette gestion scientifique de la biosurveillance. Différentes agences sont en charge de la biosurveillance : le Département américain de l'Agriculture (USDA) avec ses Services de Conservation des Ressources Naturelles (NRCS), de Recherche agricole (ARS), de Recherche économique (ERS) et d'Inspection Sanitaire Animale et Végétale (APHIS), l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) et l'Administration de l'Alimentation et des Médicaments (FDA). Le Service de recherche économique (ERS) synthétise les informations sur les pratiques de cultures grâce aux enquêtes annuelles agricoles (ARMS) ciblant 5 000 champs et 30 000 exploitations. L'EPA réglemente les pesticides pour s'assurer qu'ils sont sans danger et s'assure que toutes les nouvelles variétés transgéniques ne posent pas de risque phytosanitaire aux autres plantes. La FDA réglemente en collaboration avec l'USDA et l'EPA. Assurer des pêches durables notamment d'Alaska implique une surveillance par différents acteurs, des industriels et des scientifiques recueillant et analysant les données de biosurveillance présentées ensuite chaque année au Congrès qui peut voter alors un soutien financier pour restaurer des stocks ou adopter une loi sur la conservation d'une espèce. La gestion est suivie par les scientifiques.

Après l'annonce en 2008 d'une cellule bactérienne au génome complètement synthétique, la Commission présidentielle américaine de bioéthique a créé la Commission de coordination des politiques inter-agences pour les technologies émergentes (ETIPC). La vigilance prudente est une méthode d'évaluation continue des risques comme des opportunités, des dommages et des bénéfices potentiels de la biologie de

synthèse, extension du génie génétique, issues de disciplines déjà connues. Les nombreuses agences de surveillance existantes contrôlent le champ de la biologie de synthèse à mesure qu'il se développe.

Marie-Laure **Desprez-Loustau** conclut la séance en soulignant que l'épidémiologie-surveillance et la biovigilance, tout en s'inscrivant dans une continuité de gestion des risques phytosanitaires, correspondent à une nouvelle perspective et à un changement d'échelle. On assiste en effet à un élargissement des risques pris en compte, depuis l'arrivée des organismes nuisibles à l'origine de la surveillance sanitaire (et toujours pris en compte, avec l'accélération et l'intensification des échanges liés à la globalisation), à l'effet des pratiques agricoles et innovations (OGM) ainsi qu'aux changements globaux (changement climatique). Une autre inflexion remarquable, soulignée par J. **Jullien**, J-L. **Flot** et A. **Messéan**, est de se mettre en situation de caractériser des impacts non identifiés *a priori*. Pour mettre en œuvre ces programmes de surveillance, la mise en place de réseaux nationaux, voire continentaux, de bases de données standardisées et centralisées ainsi que la mobilisation de différents types d'acteurs, du terrain à la recherche en passant par les pouvoirs publics, sont une nécessité. Les exemples développés par A. **Ricroch** pour l'Amérique du Nord montrent que la biovigilance peut et doit être un outil permettant de conjuguer productivité et durabilité. Dans cet objectif, un enjeu crucial est d'améliorer l'efficacité de cette surveillance afin de guider les décisions politiques et la gestion, dans un contexte de rythme soutenu, des innovations et des changements globaux.

LES ANIMAUX DANS LA GRANDE GUERRE

Journée d'étude de la
Société d'Ethnozootechnie et l'Association pour l'Etude de l'Histoire de l'Agriculture
organisée avec le concours de l'Académie d'Agriculture de France

09h30-16h00

Résumés

Alain Boissy, Comportement et réactions des animaux en situation de fort stress.

Alain Boissy est chercheur à l'INRA. Ses travaux de recherche portent, entre autres, sur l'appréciation objective du bien-être animal, en particulier l'animal d'élevage.

Claude Milhaud : 14-18 : un désastre hippotechnique et vétérinaire.

Les chevaux ont été mobilisés par centaines de milliers dans l'armée française pendant la Grande Guerre, en ayant recours au cheptel militaire au démarrage du conflit, à la réquisition et à des achats à l'étranger. Les pertes durant le conflit sont estimées à plus d'un million d'animaux et représentent environ les deux-tiers des effectifs. Les causes des nombreuses pertes sont discutées à la lumière des conditions d'élevage sur le terrain.

Claude Milhaud est vétérinaire.

Frédéric Adam et Séverine Braguier : Fouille de chevaux allemands de la première guerre mondiale à Chaillon dans la Meuse, France.

Lors de la fouille archéologique, INRAP, d'un site du Bas-Moyen-Age, à Chaillon (Meuse), plusieurs chevaux datés de la Première Guerre mondiale ont été retrouvés, dont cinq ont pu être intégralement fouillés et étudiés sur le terrain, puis en laboratoire. D'après les documents d'archives et iconographiques, Chaillon, pendant la Grande Guerre se situait dans la zone des opérations du III^e corps d'Armée bavaroise. Le village en 1914 n'est pas situé dans les zones de combats, mais là où se trouvait une activité particulière, celle d'installations sanitaires. A partir du 21 septembre 1914, un Feldlazarett-hôpital de campagne est installé pour regrouper les blessés et réaliser les chirurgies d'urgence. Etant donné que les bombardements français sur le village sont quotidiens, l'hôpital fut déplacé fin 1914 et remplacé par des cantonnements. Les cinq chevaux correspondent à des animaux utilisés soit pour tirer les ambulances soit pour les charriots de matériels. Il peut également s'agir de chevaux de monte (médecins militaires, officiers d'administration...).

Séverine Braguier, docteur en Archéozoologie, est chargée de recherche à l'INRAP, Metz ; Frédéric Adam est anthropologue, spécialiste des conflits contemporains (UMR 7268 ADES) et chargé de recherche à l'INRAP, Metz.

Jean-Noël Passal : Usages de la chèvre dans les armées de la Grande Guerre.

En temps de paix, en Europe, la chèvre fait majoritairement partie de la basse-cour et donc de l'économie féminine. En temps de guerre et plus particulièrement lors de celle de 14-18, quels sont les usages de la gent caprine – vivante ou morte - passée du côté masculin ? L'usage symbolique du bouc est ambivalent : positif comme mascotte institutionnelle de régiments canadiens ou britanniques, ou négatif pour personnifier l'ennemi, le "Boche". Mais la multiplication des chèvres adoptées comme mascottes occasionnelles, et ce dans toutes les armées, dépasse le symbolique. La chèvre permet ainsi aux soldats de renouer avec le vivant, avec les animaux de leur ferme, avec le monde familial et féminin, avec la paix ; une présence de substitution au sens réel et métaphorique. La deuxième partie de l'étude est consacrée à un phénomène relevant du pittoresque et de l'exceptionnel : l'importation de dizaines de milliers de chèvres afin de subvenir à la nourriture "rituelle" des troupes anglo-indiennes ou "hindoues", tout comme les troupes "indigènes".

Jean-Noël Passal est paysan et ethnozoologue.

Olivier Putelat : L'alimentation carnée des combattants français et allemands en Alsace, vue au travers de l'archéozoologie.

Plusieurs fouilles réalisées par le PAIR au cours de ces dernières années ont permis d'appréhender les relations homme-animal au sein des forces armées en Alsace durant la Première Guerre mondiale. M. Landolt a conduit les fouilles de deux sites situés dans les lignes allemandes : dans le Bas-Rhin, en 2008, à Geispolsheim « Schwobenfeld », et dans le Haut-Rhin, en 2007 et 2011, à Aspach-Carspach « Thalmatten ». Durant l'année 2013, A. Bolly a dirigé la fouille d'un camp militaire français à Burnhaupt-le-Haut « Kurzallmend - Einnehmersberg, Kleinweiheracker - Vorwald et Heiden » (Haut-Rhin). En 2014, il a mené une opération de diagnostic dans les fortifications du « Harmanwillerkopf » (le Vieil Armand), à Wattwiller dans les Vosges alsaciennes (Haut-Rhin). Le matériel osseux livré par ces quatre sites représente un total d'environ 2800 restes. L'étude des restes animaux a concerné principalement l'alimentation des troupes allemandes et françaises. Les assemblages osseux ont dans un premier temps été traités sans parti-pris, de la même façon que s'ils nous provenaient de périodes plus anciennes, moins dotées en sources écrites. Puis, nous avons comparé nos observations sur l'alimentation des soldats des deux camps. Ce n'est qu'après ce travail que nous avons confronté nos résultats avec les sources historiques sur la Grande Guerre : des manuels militaires rédigés avant et durant ce conflit, des témoignages, des sources iconographiques et des ouvrages plus récents, fondés non plus sur le cadre théorique immédiatement antérieur au conflit, mais sur le quotidien de la guerre. Par ailleurs, nous avons été amenés à étudier les restes de plusieurs squelettes animaux, enfouis durant le conflit, un squelette de chèvre à Aspach-Carspach et deux squelettes de mulets à Wattwiller.

Olivier Putelat, doctorant de l'université Paris 1, est archéozoologue au Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhénan (Pair), à Sélestat.

Étienne Verrier et Denis Laloë : Les animaux convoqués dans la propagande de guerre : dessins de presse, affiches et cartes postales en 1914-1918.

Les représentations animales et l'animalisation constituent un procédé très ancien, auquel la propagande de guerre a eu fréquemment recours. On a rassemblé, sous forme électronique, 3510 documents publiés durant la Grande Guerre et où au moins un animal est représenté : dessins de presse (72%), cartes postales (17%), affiches (10%) et autres (1%). Ces documents proviennent de la plupart des pays belligérants, la France et l'Allemagne étant de loin les plus représentés, avec 40% chacun, ainsi que de quelques pays neutres. On a analysé ces documents en fonction de l'intention que l'on peut prêter à leur auteur d'y avoir inclus des animaux. Avec environ la moitié des documents concernés, le procédé d'animalisation, qui consiste à représenter un pays, un peuple ou un responsable politique par un animal, constitue le motif majeur du recours à un animal dans un dessin. L'analyse statistique de ces animalisations permet de souligner le poids des emblèmes nationaux ou autres symboles usuels, et de mettre en lumière certains archétypes péjoratifs associés aux principaux pays. Les animaux interviennent également dans la propagande comme symboles autres (la colombe de la paix, ...), pour glorifier les soldats de son camp ou ridiculiser ses ennemis, ou comme illustration de leurs fonctions utilitaires.

Etienne Verrier est enseignant-chercheur à AgroParisTech et Denis Laloë est chercheur à l'INRA. Tous deux sont membres de la même unité et de la même équipe de recherche dont les thématiques portent, entre autres, sur l'analyse et la gestion de la diversité génétique des populations animales. Etienne Verrier développe en outre des réflexions sur les relations entre les hommes et les animaux, et Denis Laloë est un spécialiste de biostatistique et de représentation spatiale des données.

Laurence Olivier-Messonnier : La Grande Guerre au miroir de l'animalité : chiens et oiseaux dans la littérature de jeunesse de 14-18

La dérive idéologique prise par l'anthropomorphisme pendant la Grande Guerre est manifeste dans les productions à destination des plus jeunes : albums, apologues, mémoires, poèmes, B.D. et récits mettent à l'honneur chiens et oiseaux à travers des patronymes et une iconographie symboliques. Les animaux ne perdent pas pour autant leur vertu identificatoires et cognitives. Les chiens Hindenburg, Flambeau et Totoche n'ont rien à envier aux volatiles tels les coqs, pigeons, oies, aigles et cigognes emblématiques des belligérants. Les créateurs Pinchon et Caumery, Rabier, Chenu, Carlègle, Foy, Schaller-Mouillot... rivalisent d'ingéniosité pour lier situation politique et iconotexte. L'étude proposée repose sur une analyse simultanée de l'axiologie et de l'herméneutique du texte et de l'image sans oublier les propensions satiriques originelles de la fable et du roman comique issus du *Roman de Renart*. Le contexte belliqueux y ajoute une volonté d'édification que le souci du rire franc de l'anthropomorphisme animalier avait fait quelque peu oublier. Quel rôle canidés et volatiles jouent-ils *de facto* dans l'inflexion patriotique ou nationaliste prise par la littérature juvénile ? Comment sont-ils mis en scène ? Si la visée didactique de la fable persiste, les indéniables orientations propagandistes se lisent aussi à la lumière d'une interprétation déridée ou bloyenne.

*Laurence Olivier-Messonnier est agrégée de lettres, docteur en littérature, chercheur associé au CELIS de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand II. Elle a notamment publié *Guerre et littérature de jeunesse 1913-1919*, L'Harmattan, 2012, et *Enfants de troupe(s). Les descendants du Tambour d'Arcole*, L'Harmattan, 2013.*

Alain Romestaing, La Grande Guerre des écrivains : "C'est fait d'hommes et de bêtes..."

Jean Giono fait partie des écrivains qui ont été le plus longtemps exposés au feu (1915-1918), et dans les batailles les plus terribles. C'est également l'un des écrivains majeurs les plus intéressants pour la question animale. Son œuvre – et avant tout *Le Grand Troupeau* et *Refus d'obéissance* – peut donc légitimement servir de fil directeur à une réflexion plus générale sur les représentations du rapport des humains et des bêtes en 14-18. Si l'on a beaucoup souligné la fraternité entre *poilus* de toutes espèces dont la littérature française se fait l'écho – de Barbusse à Dorgelès en passant notamment par Genevoix et Colette – il n'empêche que la domestication garde son ambiguïté, avec plus de relief encore par temps de guerre : empathie et cruauté, instrumentalisation et reconnaissance de la subjectivité animale, fraternisation et rivalité. On analysera donc l'emmêlement des espèces dans le chaos du conflit, mais aussi les efforts pour refuser le nivellement de la Grande Boucherie.

Alain Romestaing est maître de conférences en littérature française (Paris Descartes) et responsable à Paris 3 du programme ANR : « Animots : animaux et animalité dans la littérature de langue française (xx^e-xxi^e siècles) ». Auteur de Jean Giono. Le corps à l'œuvre, Champion, 2009, il a également dirigé deux ouvrages sur cet auteur. Il a publié à l'automne 2014 Mondes ruraux, Monde animaux, EUD, 2014, et, avec Alain Schaffner, Animaux d'écritures : le lien et l'abîme, Garnier, 2014.

Éric Baratay, Conclusion : au croisement du réel et du fictif, les biographies animales

Les nombreuses biographies d'animaux en guerre, écrites pendant ou après la première guerre mondiale dans les divers pays engagés, font converger dans ce genre littéraire particulier des animaux réels et d'autres fictifs, des faits réels et des inventions, des approches anthropocentrées et d'autres anthropomorphiques, sans que ces caractéristiques soient associées d'une manière évidente, *logique* : une biographie fictive peut dire beaucoup des bêtes, une réelle peut n'évoquer que l'homme compagnon, etc. Elles montrent de complexes assemblages entre des vécus et des représentations.

Éric Baratay, professeur d'histoire contemporaine à l'université de Lyon, étudie l'histoire des animaux ; il a dernièrement publié Le Point de vue animal, une autre version de l'histoire, Seuil, 2012, et Bêtes des tranchées, des vécus oubliés, Cnrs Éditions, 2013.

LA LOI SUR LA BIODIVERSITÉ : CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS

Un débat contradictoire à l'Académie d'agriculture de France – La loi sur la biodiversité : contraintes et opportunités

La biodiversité (contraction de l'expression anglaise *biological diversity*, c'est-à-dire *diversité biologique*) est par nature dynamique et évolutive (trajectoires écologiques). L'agriculture a largement contribué, sur le plan historique, à faire évoluer le contexte écologique en France et continuera à jouer un rôle majeur dans le futur. L'esprit de la loi sur la biodiversité est, selon les interprétations, tourné vers la conservation, tendant à figer des situations qui devraient être évolutives, ou à l'inverse résolument dynamique, pointant de nouveaux enjeux sociaux avec la solidarité écologique. La législation s'appuie sur des normes, ce qui cadre mal avec des systèmes dynamiques et adaptatifs. Aussi la loi prévoit des négociations autour de ces normes. Est-ce une loi liberticide qui va accroître les charges pesant sur les agriculteurs au nom de représentations idéologiques de la nature ? Va-t-elle rendre impossible, ou difficile, tout changement d'usage des terres ? Ou va-t-elle donner une importance sociale rehaussée aux agriculteurs ? L'Académie doit faire entendre son point de vue !

LA LOI « BIODIVERSITÉ » : DE NOUVEAUX HORIZONS POUR L'AGRICULTURE ?

par Denis Couvet¹

Les concepts de biodiversité et service écosystémique introduits par la loi fondent une vision fonctionnelle et dynamique du vivant, de ses interdépendances avec les humains, de ses valeurs à la fois alimentaire, fonctionnelle, culturelle et intrinsèque. La notion de solidarité écologique, d'intérêt évident dans les bassins-versants, exprime les implications sociales. La loi répond à la nécessité d'avoir une politique générale de la biodiversité. De par les interactions écologiques, on ne peut seulement gérer au cas par cas les dizaines de milliers d'espèces présentes sur un territoire donné, leurs interactions avec les millions d'espèces présentes sur la planète. La notion de biodiversité ordinaire (par ex. Couvet et Vandeveld 2014), en complément de la biodiversité symbolique ou remarquable, aide à envisager la biodiversité dans ses dimensions dynamiques, social et écologique. Face au déclin de groupes entiers d'espèces, oiseaux agricoles, insectes, pollinisateurs, coraux, ... (cf. Dirzo *et al.* 2014), la prolifération d'autres groupes, algues vertes, méduses, grands herbivores..., un enjeu est de fournir aux politiques publiques les moyens d'infléchir les dynamiques jugées défavorables. Des thèmes essentiels pour cet objectif sont donc abordés; accès et préservation des ressources génétiques, des écosystèmes, des espèces et des paysages. Pour l'agriculture, les notions de solidarité écologique et de service écosystémique offrent de nouvelles opportunités. En effet, elle est la première garante de la préservation de services écosystémiques qui concernent

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur du Département écologie et gestion de la biodiversité MNHN.

l'ensemble des acteurs - ruraux et urbains- : qualité de l'eau et de l'air, atténuation des phénomènes météorologiques extrêmes (crues...), régulation du climat, locale et globale... En favorisant le mode contractuel, la loi ouvre la possibilité de construction de divers instruments économiques, d'incitations. Les paiements pour services environnementaux ont conduit dans d'autres pays à la fois à une amélioration de la qualité de l'eau et du revenu des agriculteurs (Zheng *et al.* 2013), une mise en oeuvre du principe de solidarité écologique, de partage des avantages de la préservation de la biodiversité entre ruraux et citadins.

Les avantages sociaux d'une plus grande préservation de la biodiversité seraient majeurs (par ex. Bateman *et al.* 2013). Ils justifieraient une loi plus ambitieuse, plus incitative, pour les acteurs parvenant à mieux combiner les différentes valeurs, alimentaire, fonctionnelle, culturelle et intrinsèque de la biodiversité; par exemple finançant des transitions vers des modes de production mobilisant plus les services écosystémiques, la solidarité écologique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BATEMAN I. J., HARWOOD A. R., MACE G. M., WATSON R. T., ABSON D. J., ANDREWS B. and TERMANSEN M., 2013. – Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom. *Science* **341**, 45-50.
- (2) COUVET D, VANDEVELDE JC. 2014. – Biodiversité ordinaire: des enjeux écologiques au consensus social. In Casetta E, Delord J, eds. *La biodiversité en question: enjeux philosophiques, éthiques et scientifique*, Editions Matériologiques, pp. 183-208.
- (3) DIRZO R, YOUNG HS, GALETTI M, CEBALLOS G, ISAAC NJ, COLLEN B. 2014. – Defaunation in the Anthropocene. *Science* **345**, 401-406.
- (4) ZHENG H, ROBINSON BE, LIANG YC, POLASKY S, MA DC, WANG FC, DAILY GC. 2013. – Benefits, costs, and livelihood implications of a regional payment for ecosystem service program. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **110**, 16681-16686

LA LOI EST IDÉOLOGIQUE ET LIBERTICIDE

par Christian Lévêque¹

Tout est question de paradigme. Ou bien on pense que l'homme est un intrus dans la nature et qu'il détruit une biodiversité supposée universelle et immuable. Ou bien on pense que la nature, en Europe tout au moins, est le produit d'une longue coévolution entre processus naturels et activités humaines. Dans le premier cas on parle de biodiversité assiégée, mise en danger d'extinction, avec des dérives telles que la « sixième extinction » qui relève d'une argumentation à la limite de la fraude scientifique. Dans le second cas, on considère que la biodiversité est une co-production homme/nature, résultant de l'utilisation des ressources naturelles. Auquel cas elle est liée à des usages qui peuvent changer au cours du temps. Les ONG conservationnistes ont largement répandu l'idée fautive que l'homme ne fait que détruire la biodiversité. L'homme européen a créé les milieux ruraux que nous considérons comme « la nature » à préserver, en diversifiant les habitats, en les enrichissant en espèces. Les exemples sont nombreux, de la Camargue aux étangs de Sologne, de la forêt des landes aux bocages. Il a aussi détruit d'autres milieux et certaines espèces, il n'y a aucun doute là-dessus, notamment les espèces et les milieux qui représentaient des dangers pour sa santé (zones humides par exemple) et celles des animaux domestiques et des plantes cultivées. Par contre, il y a chez

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

les conservationnistes une omerta complète sur le fait que les zones humides sont des réacteurs de maladies parasitaires dans les pays tropicaux, ainsi que des émetteurs de méthane !

La diversité biologique est le produit du changement, pas du statu quo. Si l'idée que la diversité biologique est dynamique commence à s'imposer, on en reste encore trop souvent à l'idée qu'il y a un équilibre de la nature. Or, la biodiversité a une histoire qui s'inscrit sur des trajectoires spatiales et temporelle, mais le futur n'est pas la reproduction du passé. Le contexte change, des espèces apparaissent alors que d'autres disparaissent... Penser la protection de la diversité biologique en voulant maintenir celle qui existe aujourd'hui est un peu paradoxal car cela amène à pratiquer des interventions dont l'objectif est de maintenir des systèmes écologiques dans un état passé... c'est-à-dire anthropisé ... !

Un autre aspect, lié à la dynamique temporelle, est l'absence quasi généralisée de prospective en matière de conservation. Le changement fait peur et n'est pas facilement accepté, ce qui peut expliquer la réticence à envisager l'avenir. Si la mer monte, ce n'est pas une catastrophe écologique, mais une catastrophe économique. Si le climat change et que les précipitations diminuent (cf. programme Explore 2070) qu'en est-il du devenir des zones humides que l'on protège actuellement ? Faudra-t-il les maintenir en eau à tout prix ?

Enfin l'OPA des économistes sur la biodiversité avec les notions de services écosystémiques est un cul de sac. D'une part on ne sait pas caractériser et encore moins quantifier la notion de service, en dehors du sempiternel exemple de la pollinisation ! D'autre part mettre des valeurs monétaires sur ces services relève d'un exercice de haute voltige sur le plan méthodologique. Certes les assurances ont besoin de mettre un prix sur les dommages... mais le citoyen ne raisonne pas sur ces bases. Il attribue de valeurs éthiques, esthétiques, émotionnelles à la diversité biologique, des valeurs qui n'ont pas de prix... !

Toute la question est de savoir sur quels paradigmes la loi se fonde ? A priori, elle donne l'impression que ce sont les tenants d'une nature « naturelle » qui vont imposer un statu quo et empêcher tout nouvel aménagement. Pourrait-on encore construire les barrages réservoirs de la forêt d'Orient (dont le lac de Der, haut lieu de naturalité) dans le contexte actuel ? Peu probable, voir Sivens ! Donc, au nom de la naturalité, devons-nous préserver les pratiques et les systèmes agraires d'autrefois ? C'est en redonnant aux citoyens du plaisir et de l'émotion dans l'observation de la nature, dans son usage et dans sa mise en scène, que l'on renouera les liens, pas en élaborant des lois punitives et liberticides !



PROJET DE LOI BIODIVERSITÉ : DES LIBERTÉS INDIVIDUELLES DEVENUES COLLECTIVES, EXPRESSION D'UNE MÉCANIQUE JURIDIQUE VIEILLE DE 40 ANS (AU MOINS)¹

par Carol **Hernandez-Zakine**²

RÉSUMÉ

Le projet de loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages adopté en première lecture à l'Assemblée nationale le 24 mars 2015 et bientôt en première lecture au Sénat³ s'inscrit dans une parfaite continuité avec l'ensemble des textes adoptés depuis 1976 dans le domaine de la nature. En effet, ce projet de loi consacre une politique partagée depuis presque 40 ans par les gouvernements successifs en France : **une politique qui consiste à porter atteinte aux libertés individuelles** comme la liberté d'entreprendre ou la liberté de propriété, première des libertés selon la Déclaration de l'homme et du citoyen de 1789, **au profit d'un intérêt collectif celui de l'humanité et des générations futures.**

Notons que ce basculement de l'individuel au collectif doit être mis en perspective avec un mouvement international en faveur d'une Déclaration Universelle des Droits de la Terre qui est un appel énonçant des principes fondamentaux et universels ayant vocation de :

- Faire reconnaître mondialement des droits à la Terre et à tous les êtres vivants qui la peuplent, comme le fondement d'une culture du respect, indispensable au développement durable et commun de l'humanité et de la terre.
- Fédérer tous les habitants de la Terre autour d'un intérêt commun et universel: la Terre est vivante, elle est notre maison commune et nous devons la respecter pour le bien de tous et des générations futures.

Une Déclaration des droits de l'humanité pour préserver la planète est en préparation au niveau national pour être prononcée par le président de la République à l'occasion de la conférence sur le climat en 2015⁴. **Après les droits de l'homme en 1789 ceux de la planète en 2015.** Il ne faut pas s'y tromper : aujourd'hui la réflexion sur le droit à l'environnement rejoint complètement la réflexion sur les droits de l'homme⁵ comme pour le principe de non régression du droit (V. ci-après).

¹ Article présenté le 27 mai 2015 à l'Académie d'agriculture, lors d'une séance consacrée à « *La loi sur la biodiversité : contraintes et opportunités* ».

² Docteur en Droit, Responsable du droit de l'agroécologie – In Vivo AgroSolutions.

³ <http://www.senat.fr/leg/pj14-359.pdf>

⁴ Lors de ses vœux, François Hollande a affirmé vouloir une « déclaration sur les droits de l'humanité pour préserver la planète » à l'occasion de la Conférence climat 2015.

⁵ Avis sur le développement, l'environnement et les droits de l'homme, Commission nationale consultative des droits de l'homme, Assemblée plénière, 16 avril 2015, JORF 24 mai 2015.

L'intervention n'a pas pour objet de se prononcer pour ou contre la biodiversité. La question ne se pose pas : la biodiversité est un intérêt digne de préoccupation. Le propos est d'expliquer une mécanique juridique qui se met en place, mécanique portée par des évolutions internationales et européennes depuis des années et qui trouvent dans le projet de loi biodiversité à la fois une confirmation et un renforcement. Cette mécanique juridique est la conséquence de choix politiques plus ou moins assumés, plus ou moins explicites et partagés. La question se pose donc aujourd'hui de faire un choix politique éclairé et partagé en toute connaissance de cause sur la façon de s'intéresser à la biodiversité.

Plan

La première partie de cette présentation portera sur le contenu du projet de loi au regard de la thématique des libertés individuelles.

La seconde partie consistera à montrer l'historique et le fonctionnement de cette mécanique juridique qui nous fait basculer de l'individuel, au collectif et comment, ce faisant, nous acceptons de nouvelles limites à l'autonomie individuelle.

En conclusion, je présenterai quelques pistes de réflexion pour que les individus, acteurs économiques agricoles, puissent faire partie de cette société du 21ème qui se construit et qui doit se construire avec eux.

Contenu du projet de loi

Le projet de loi biodiversité a comme objet d'enrichir l'article premier du code de l'environnement, l'article L. 110 – 1 :

1. En ajoutant de nouveaux éléments au patrimoine commun de la nation comme la biodiversité et ses services écosystémiques, les êtres vivants (dont les animaux appropriés et les hommes⁶), les sols⁷. Avec les sols, nous touchons au stade ultime de l'appropriation collective. Les obligations réelles environnementales sont les outils de l'expression collective du patrimoine et ce faisant montrent à quel point ce droit de l'environnement peut être innovant. **Notons que depuis la loi sur la nature de 1976, les espaces, ressources et milieux naturels font partie du patrimoine commun de la nation ;**
2. En ajoutant de nouveaux intérêts à l'intérêt général environnemental consacré déjà en 1976 : la gestion des éléments du patrimoine commun, la préservation de leur capacité à évoluer et la sauvegarde des services qu'ils fournissent sont déclarés d'intérêt général.
3. En validant un nouveau principe de droit de l'environnement : **la solidarité écologique**. C'est l'idée du capital qui serait transmis d'une génération à une autre et que chaque génération doit préserver pour une autre. Ce qui suppose l'idée d'une responsabilité qu'aurait une génération à l'égard de ses héritiers. La première génération étant engagée par rapport à la seconde. En mettant explicitement au niveau de principe le **triptyque ERC au regard de la seule biodiversité⁸ en le rattachant au principe de prévention**. En créant le **principe de complémentarité entre l'environnement et l'agriculture et la sylviculture** qui reconnaît les « *activités agricoles et forestières comme vecteurs d'interactions écosystémiques permettant la préservation des continuités et fonctionnalités écologiques* ». Ce principe résulte d'une mobilisation forte du monde rural pour faire reconnaître la

⁶ « D'un point de vue philosophique, l'insertion de cette notion d'être vivants est d'une grande importance », <http://www.arnaudgossement.com/archive/2014/08/10/projet-de-loi-biodiversite-le-parlement-debat-des-principes-fondamentaux-d.html> Reste à en comprendre l'importance et les conséquences juridiques ...

⁷ La rédaction de l'article 1^{er} al. 6 se veut rassurante en précisant « *les processus biologiques, les sols et la géodiversité concourent à la constitution de ce patrimoine* ». Le verbe « concourir » pourrait suggérer que les sols pourraient se dégager de l'emprise du patrimoine commun. Rien n'est moins certain et il est très vraisemblable que ces éléments secondaires du patrimoine commun soient affectés comme les éléments principaux par des considérations liées à l'intérêt général environnemental et l'intérêt des générations futures.

⁸ « *Ce principe implique d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, en dernier lieu, de compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées et réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées.* »

valeur positive des interventions humaines sur la biodiversité, en particulier concernant les prairies. En arrière-plan, se jouait la reconnaissance des services environnementaux⁹. Ce principe pourrait avoir l'effet inverse de celui qui a motivé son écriture et son soutien par le monde agricole : il pourrait juste être le socle de contraintes réglementaires supplémentaires si on en croit les débats qui ont accompagné son adoption, sans que l'on sache mieux quel est le contenu de ce principe. En effet, cette complémentarité est source de responsabilité accrue pour l'agriculture au regard de la biodiversité et de ses services.

Le principe de la complémentarité entre agriculture et environnement résulte de toute une série d'amendements, tous refusés par la commission du développement durable en particulier les amendements 322, 429 et 347. Ces amendements avaient pour objet de mettre en avant le fait que la nature n'est pas naturelle au sens où l'homme ne l'aurait jamais modifiée. Bien au contraire notre nature est le résultat d'une interaction continue avec les activités humaines qui n'ont pas eu que des effets négatifs sur son évolution. Nombre d'amendements ont mis l'accent sur le rôle des prairies et des éleveurs dans le développement de la biodiversité. L'amendement n° 428 souhaitait que les prairies figurent aux côtés des paysages et des sites à l'article L. 110-1 du code de l'environnement¹⁰. Au final, c'est donc l'amendement 644 qui a été accepté par la commission du développement durable de l'assemblée nationale. L'intérêt de cet amendement pour ses rédacteurs est de mettre en avant les interactions positives entre l'agriculture et la nature. La ministre de l'écologie a accepté cet amendement pour des raisons très différentes : « *Mme la ministre. Avis favorable à cet amendement, pas forcément pour les raisons ayant suscité son dépôt, mais parce qu'il aura pour effet d'inviter le monde agricole à réfléchir à ses pratiques et à faire en sorte de les rendre conformes à la protection de l'environnement. L'agriculture biologique et la réflexion sur la diminution de l'usage des produits phytosanitaires et des pesticides vont s'en trouver encouragées. Même si les agriculteurs ont déjà fait des efforts considérables dans ce domaine, le fait de reconnaître la complémentarité entre l'environnement et l'agriculture incitera encore davantage la profession à se remettre en cause, surtout dans ses pratiques les plus intensives, et à engager une réflexion collective sur l'avenir de notre planète. (Applaudissements)* ». Ce principe pourrait ainsi légitimer les exigences réglementaires environnementales à l'égard des agriculteurs. Les débats en première lecture à l'Assemblée nationale confirment cette vision d'une certaine agriculture dont la complémentarité serait acceptée. « *Surtout, bien qu'un certain type d'agriculture – principalement, bien sûr, l'agriculture biologique – puisse avoir un rôle favorable dans la préservation de la biodiversité, reconnaître à l'ensemble de l'agriculture ce même rôle bénéfique était vraiment un non-sens, comme je l'ai déjà dit dans ma déclaration liminaire.* » rappelle Mme L. Abeille.

⁹ « II.1.3. Option 3 : élargissement aux services environnementaux : Il pourrait être introduit dans le droit la notion de services environnementaux et leur reconnaissance. Les services environnementaux correspondent aux services générés par une activité anthropique sur un écosystème et qui bénéficient à d'autres acteurs. Les services environnementaux ont fait l'objet de nombreux travaux universitaires et de prise en compte dans des expériences de protection de la biodiversité⁵. La question de la reconnaissance particulière de ces services pose cependant la question de leur valorisation économique. Or les analyses menées jusqu'à présent conduisent à devoir adopter une démarche prudente, au cas par cas, compte-tenu de la complexité des cycles biologiques concernés et de la difficulté à estimer les services rendus et à bien identifier ce qui doit être la « norme » de protection de l'environnement et l'additionnalité du service environnemental rendu par rapport à la pratique normée. La rédaction proposée est donc plus prudente en soulignant l'importance de la conservation des services éco systémiques, à la base de services environnementaux. », Rapport n° 2064, fait au nom de la commission du Développement durable et de l'aménagement du territoire sur le projet de loi relatif à la biodiversité (n° 1847), par Mme Geneviève GAILLARD.

p. 16 <http://www.assembleenationale.fr/14/pdf/projets/pl1847-ei.pdf>

¹⁰ Motivation : « *Les services environnementaux rendus par les prairies sont largement reconnus : préservation de la biodiversité mais aussi des paysages, de la qualité de l'eau, des sols, stockage de carbone, etc. Aussi, il paraît logique que ces infrastructures agro-écologiques fassent, au même titre que les espaces, ressources et milieux naturels, sites et paysages, l'objet d'une reconnaissance particulière dans le Code de l'environnement. Reconnaître l'intérêt de protéger, mettre en valeur et entretenir les prairies contribue, en outre, à valoriser le rôle des éleveurs, qui façonnent et entretiennent près de 15 millions d'hectares de surfaces fourragères dont 13 millions d'hectares de prairies et parcours montagnaux, soit environ 30% du territoire national.* »

4. Et en projetant d'en adopter un nouveau prochainement suite à un rapport du gouvernement au parlement dans un délai de deux ans¹¹: **la non régression du droit de l'environnement**. La théorie des droits de l'homme se fondant sur le progrès constant des droits protégés impliquant la non régression, il doit en être de même pour le droit de l'environnement. Dans ces conditions, les lois une fois adoptées seraient immuables et « éternelles ». Ce principe mettrait un terme au principe des lois amendables et abrogeables dès lors que l'environnement serait concerné. Les lois seraient mises sous cloche et la seule solution serait d'aller toujours au-delà de ce que la loi précédente à décider. L'effet cliquet serait perpétuel et la simplification des textes rejetée dès lors qu'elle serait considérée comme permettant une protection moins forte de l'environnement¹². Notons que ce principe revient déjà dans la bouche de la ministre en charge de l'écologie et de ses services comme un principe acquis car mis en avant dans le cadre du processus de modernisation du droit de l'environnement¹³ et partagé par le gouvernement¹³. « *Ségolène ROYAL est très attachée au respect des principes de modernisation du droit de l'environnement qui irriguent ces travaux : non-régression, efficacité et proportionnalité, sécurité juridique, effectivité.* »¹⁴.

L'ensemble de la démarche juridique suivie par le projet de loi biodiversité est motivée par la satisfaction des intérêts des générations futures.

Il faut bien comprendre que l'article L. 110 – 1 du code de l'environnement est un **article fondateur** du droit de l'environnement. Il énonce les principes de ce droit : principe de prévention, de précaution, pollueur/payeur, participation du public, développement durable. Ces principes structurent le droit de l'environnement. En effet, conformément à la jurisprudence du Conseil d'Etat, ces principes n'ont pas de portée juridique directe, mais ils doivent être mis en œuvre par des lois, des règlements ultérieurs qui généreront de la jurisprudence et de la doctrine¹⁵.

En outre, ces principes s'intègrent dans les autres branches de droit. Les principes de droit de l'environnement n'ont pas vocation à demeurer dans le droit de l'environnement et à alimenter les réglementations environnementales, la jurisprudence environnementale et la doctrine environnementale. Cette force d'intégration est d'autant plus forte aujourd'hui qu'ils relèvent depuis 2005 de la constitution française. Ils appartiennent à la **Charte de l'environnement qui consacre une liberté publique de 3^{ème} génération le droit de l'homme à l'environnement**.

¹¹ - L'amendement CD 534 de Mme Abeille, M Baupin et Lambert (écologiste) rejeté par la commission du développement durable de l'Assemblée nationale proposait de rédiger le principe de non régression en ces termes : « 7° *Le principe de non régression en matière d'environnement selon lequel les dispositions législatives et réglementaires nécessaires pour protéger l'environnement et la biodiversité ne doivent pas entraîner un recul dans le niveau de protection déjà atteint.* »

¹² « *La non régression en droit de l'environnement* » Bruylant, 2012.

¹³ Cette affirmation est contestée « *Il convient de préciser tout d'abord que si la réunion des Etats généraux de la modernisation du droit de l'environnement a en effet permis d'échanger sur le principe de non-régression, aucune décision n'a pas été prise ou actée. La médiocre "feuille de route" à laquelle j'ai refusé d'être associé n'a, à mon sens, aucune légitimité et ne saurait fonder un processus de décision public. Elle ne fait au demeurant pas état du principe de non régression mais d'un simple "principe de progrès" sans contenu ni portée. Par ailleurs, l'argument tendant à opposer à ce principe le risque du contentieux est très discutable.* », Arnaud Gossement, « *Projet de loi Biodiversité : le Parlement débat des principes fondamentaux du droit de l'environnement* », <http://www.arnaudgossement.com/archive/2014/08/10/projet-de-loi-biodiversite-le-parlement-debat-des-principes-fondamentaux-d.html>

¹³ « *Mme la ministre. Comme vous l'avez souligné, le Gouvernement, lors du débat sur la modernisation du droit de l'environnement, a montré qu'il partage la philosophie de l'amendement.* » (Amendement n° CD 534 note 4 ci-dessus).

¹⁴ Communiqué de presse Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Ministère du Logement, de l'Égalité des Territoires et de la Ruralité Paris, le vendredi 3 avril 2015 : « *Ségolène Royal et Sylvia Pinel reçoivent des propositions pour accélérer les procédures d'aménagement et moderniser le droit de l'environnement* »

¹⁵ Conformément à une jurisprudence du Conseil d'Etat en date du 26 juin 2013, N° 360466 Communes de Roquefère, Labastide – Espabairénque et Mas Cabardès. Les principes énoncés à l'article L. 110-1 du code de l'environnement n'entraînent pas de conséquences juridiques directes. Les lois doivent définir la portée de ces principes et ce faisant organisent une construction et une structuration particulières du droit de l'environnement, et ceci depuis son origine.

Ces principes ont été conçus dès leur adoption par la loi Barnier de 1995 comme autant de valeurs destinées à guider toutes les politiques dans un basculement philosophique, éthique et conceptuel.

Aujourd'hui encore, la ministre en charge de l'écologie parle bien de « valeurs » quand elle présente le projet de loi biodiversité à l'Assemblée nationale : « Le concept de biodiversité, dit-on, est complexe. Aussi ce projet de loi s'appuie-t-il sur des valeurs que je veux comprises par tous, du chercheur le plus éminent au citoyen. [...] La première grande valeur est la solidarité écologique, fondée sur la prise en compte des écosystèmes et des innombrables services vitaux qu'ils nous rendent dans des domaines aussi variés que l'agriculture et la régénération des sols, la régulation climatique et la protection de nos littoraux, la qualité de l'air et de l'eau, la pollinisation, les médicaments et bien d'autres choses encore. À cette occasion, je vous annonce le lancement d'un plan national d'action pour les abeilles et les pollinisateurs sauvages, qui jouent un rôle stratégique dans la chaîne du vivant et pour notre agriculture. [...] La deuxième valeur est le principe « éviter, réduire, compenser », qui met l'accent sur l'action préventive et sur la notion de valeur écologique » D'où l'idée que « ce projet de loi relatif à la biodiversité a pour ambition de protéger et de valoriser nos richesses naturelles. Il permet une nouvelle alliance entre l'homme et la nature. »¹⁶.

Le langage religieux qui est adopté montre bien comment l'homme afin de se sauver lui-même doit faire une alliance avec la nature, avec Mère nature, Gaïa, et atteindre ainsi la rédemption. En effet, « Tissu vivant de notre planète, dont l'homo sapiens n'est qu'un fil, la biodiversité nous fournit des biens irremplaçables », « Parce que la biodiversité constitue notre unique potentiel d'évolution, son érosion, liée aux activités humaines, met en danger notre propre avenir. » explique Mme S. Royal devant la commission du développement durable de l'Assemblée nationale¹⁷. Nous sommes dans un contexte « d'Éthique de la terre ». Les principes de l'éthique de la Terre¹⁸ qui consacre les interrelations et la solidarité de destin entre l'homme et la nature.

La posture de la ministre en charge de l'environnement ne doit pas surprendre car elle est le résultat d'un processus entamé il y a déjà quelques années maintenant.

Histoire et fonctionnement d'une mécanique juridique¹⁹

Depuis les années 1990, c'est la peur qui explique la construction du droit de l'environnement. Peur de la pollution généralisée, peur des perturbateurs endocriniens, des néonicotinoides, peur du changement climatique, peur de la 6^{ème} extinction de la biodiversité (« Nous le savons, nous vivons la sixième crise d'extinction des espèces. » Ségolène Royal devant l'Assemblée nationale 16 mars 2015²⁰), peur en réalité de la disparition de l'espèce humaine elle-même. Cette peur viscérale de l'avenir a conduit le droit international, le droit européen, comme le droit national à agir et à réagir en fonction des risques à venir certains ou pas²¹. La finalité de la démarche n'est plus la réparation mais la prévention absolue des dommages. Le principe ERC affiché désormais comme un principe du droit de l'environnement « doit viser un objectif d'absence de perte nette, voire tendre vers un gain de biodiversité ; » Ce principe participe ainsi à cet objectif d'atteinte zéro à la biodiversité.

Ces risques pour l'avenir participent à la redéfinition d'une nouvelle responsabilité marquée par l'élargissement de la personne, au sens de sujet de droit. En effet, existe une responsabilité pour l'avenir : nous devons aujourd'hui préserver les ressources naturelles pour les générations futures qui deviennent des titulaires de droits mais aussi de patrimoine. Et parce que les risques encourus sont communs à l'humanité, la responsabilité doit être également commune, collective. Nous allons voir qu'en raison de cette responsabilité future, nous opérons un retour en arrière juridique.

¹⁶ <http://www.assemblee-nationale.fr/14/cri/2014-2015/20150180.asp#P478287>

¹⁷ <http://www.assemblee-nationale.fr/14/rapports/r2064.asp>

¹⁸ J. BAIRD CALLICOT, « Éthique de la terre », Wildproject Domaine sauvage, 2010.

¹⁹ Pour une analyse pertinente et indispensable de ce sujet, lire « Les grandes notions du droit privé », J. ROCHFELD, Thémis, Droit, PUF, 2014.

²⁰ <http://www.assemblee-nationale.fr/14/cri/2014-2015/20150180.asp#P478287>

²¹ « Le projet de loi biodiversité ne tombe pas du ciel », Paysans, Juin 2015, à paraître.

En effet, **depuis 1992**, et la reconnaissance au niveau international, à Rio, du développement durable, il nous faut conserver les ressources naturelles pour les transmettre aux générations futures afin de leur permettre de satisfaire leurs propres besoins : il existe alors une solidarité transgénérationnelle dont la solidarité écologique est une expression parfaite. : « Elle se situe également dans le droit fil des réflexions ayant abouti à la rédaction de la Stratégie nationale pour la biodiversité, qui l'a introduite dans son objectif 13. Elle a été définie à cette occasion comme « l'étroite interdépendance des êtres vivants, entre eux, avec les milieux naturels ou aménagés de deux espaces géographiques contigus ou non. Elle désigne à la fois la « **communauté de destin** » entre les hommes et leur environnement et la volonté d'influencer de manière positive les différentes composantes de cette communauté ». Cette solidarité s'inspire également de la solidarité intra-bassins affirmée dans le domaine de l'eau, entre territoire amont et aval, et justifie pleinement son introduction à un niveau supérieur du code de l'environnement. »²²

Cette **solidarité de destins**, cet « **altruisme élargi** »²³, suppose que le **propriétaire de ces ressources est au service des générations futures**. La vocation environnementale de ces ressources qui peuvent être des biens meubles ou immeubles l'emporte sur la vocation privée, économique de ces biens. Depuis 1976, il existe des biens privés dits « d'intérêt général environnemental ». Cette finalité supérieure à l'intérêt privé justifie que l'autonomie des propriétaires soit limitée par des servitudes (réserves, parcs nationaux, périmètres de captage d'eau potable, zones humides stratégiques pour la protection de l'eau), des mesures de police (zones soumises à des contraintes environnementales et futures zones de protection de la biodiversité dans le projet de loi biodiversité, zones vulnérables mais aussi les règles de polices spéciales relevant de la loi sur l'eau, des installations classées pour la protection de l'environnement) , voire des expropriations. Les obligations réelles environnementales étant un savant mélange entre obligations pesant sur le fonds et sur la personne du propriétaire. L'Etat en tant que gardien de l'intérêt général environnemental et du patrimoine commun de la nation va restreindre l'autonomie des personnes, des propriétaires et de leurs locataires. Il va décider des usages acceptables que l'on peut faire de sa propriété, mais aussi de ses biens. Aujourd'hui, le projet de loi biodiversité franchit un nouveau cap dans la « patrimonialisation » des biens privés en insérant la biodiversité, les êtres vivants et les sols dans le patrimoine commun. Cette intégration autorise juridiquement des limitations au droit de propriété.

Si en 1804 le code civil a consacré les valeurs de la révolution française et l'autonomie des personnes face à l'Etat, si en 1804 le code civil a pensé individuel pour sortir l'individu du collectif médiéval et féodal, le droit de l'environnement depuis bientôt 40 ans, tout gouvernement confondu, consacre une valeur collective de la propriété et fait replonger l'individu dans le bien commun. Nous repartons dans le domaine utile et le domaine éminent chers aux juristes médiévaux.

La Déclaration des droits de l'homme a été écrite dans un contexte particulier qui est celui de la Révolution française : une époque qui entérine les évolutions des siècles passés concernant notamment l'organisation des terres. Celle-ci basée sur la distinction entre domaine éminent et domaine utile²⁴ se caractérise par une usure continue du domaine éminent en faveur du domaine utile²⁵. La révolution française, puis le code civil symbolise la victoire du propriétaire, de l'individu libre, face aux seigneurs. L'Etat, sous couvert de patrimoine commun, apparaissant comme le seigneur d'autrefois, est perçu comme une entrave forte à la liberté. Quand l'article 544 du code civil déclare « *La propriété est le droit de jouir et disposer des*

²² Rapport n° 2064, fait au nom de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire sur le projet de loi relatif à la biodiversité (n° 1847) par Mme Geneviève GAILLARD, <http://www.assemblee-nationale.fr/14/rapports/r2064.asp>

²³ « La solidarité écologique, ce lien qui nous oblige », R. MATHEVET, Actes Sud, 2012.

²⁴ La propriété n'appartient pas à un seul. Le domaine éminent ou direct appartient au Seigneur. Le domaine utile appartient au vassal ou au censitaire. Le domaine utile n'a pas cessé de grignoter le domaine éminent en faveur des innombrables bourgeois et paysans qui en ayant le domaine utile de leurs censives (tenures roturières à charge de cens qui dépendent d'un seigneur) se trouvent dans la situation du propriétaire d'aujourd'hui, FR. Olivier-Martin, *Histoire du droit français, des origines à la révolution*, éd. du CNRS, 1992, p. 642s.

²⁵ « La révolution a aboli le régime féodal, la décomposition du domaine, en domaine éminent et domaine utile. La présence du domaine éminent entravait l'exercice des droits du propriétaire utile : c'est la propriété utile que le code civil proclame absolue, déliée du domaine éminent », J. Carbonnier, « Droit civil, les biens », *op. cit.*, p. 126.

choses de la manière la plus absolue, pourvu qu'on n'en fasse pas un usage prohibé par les lois ou par les règlements. », il s'inscrit également dans le sens de l'histoire du début du 19^{ème} siècle. Il consacre la propriété des biens nationaux, les préservant de toute revendication ultérieure de la part des anciens propriétaires. De manière « la plus absolue », assurait aux propriétaires du moment la jouissance de leur bien « sans être inquiétés »²⁶. Mais le droit de propriété dès l'origine est encadré par les lois et les règlements, par les intérêts généraux que décident de préserver les sociétés successives.

En consacrant dès 1976, la préservation de l'environnement comme étant d'intérêt général, la loi a ouvert la brèche pour une « socialisation de la propriété » pour l'accomplissement « d'une fonction sociale de la propriété » : Léon Duguit l'affirmait : « *Le propriétaire a le devoir et partant le pouvoir d'employer sa chose à la satisfaction des besoins d'une collectivité nationale toute entière* »²⁷. L'environnement, et la consécration du « droit à l'environnement » avec l'adoption de la Charte de l'environnement en 2005, participe complètement à ce mouvement. Le droit de l'environnement est alors l'expression d'un droit de limite qui s'exprime contre les propriétaires mais aussi leurs locataires. La proposition d'ORE (obligations réelles environnementales) à l'article 33 du projet de loi est un très bel exemple de ces enjeux juridiques actuels.

Art. L. 132-3. – Il est permis aux propriétaires de biens immobiliers de contracter avec une collectivité publique, un établissement public ou une personne morale de droit privé agissant pour la protection de l'environnement en vue de faire naître à leur charge, ainsi qu'à la charge des propriétaires successifs du bien, les obligations réelles que bon leur semble, dès lors que de telles obligations ont pour finalité le maintien, la conservation, la gestion ou la restauration d'éléments de la biodiversité ou de fonctions écologiques dans un espace naturel, agricole ou forestier. La durée des obligations et les possibilités de résiliation doivent figurer dans le contrat conclu entre les parties. Le propriétaire qui a consenti un bail sur son fonds ne peut, à peine de nullité absolue, accepter de telles obligations réelles environnementales qu'avec l'accord préalable et écrit du preneur. »

Conclusion : un équilibre à trouver entre collectif et individu

Toute inclusion des biens privés dans la sphère du patrimoine commun est ressentie comme autant d'atteinte à la sphère d'autonomie des personnes. D'où les fortes tensions qui surgissent autour de ces sujets. Mais tensions aussi qui apparaissent dans la construction du droit. En effet, la question aujourd'hui est bien celle de l'équilibre qu'il convient de trouver entre les propriétaires et l'Etat/la collectivité, entre les générations présentes et les générations futures. Comment en effet, concilier cette exigence de générations futures titulaires de droit et de patrimoines, patrimoines qu'elles laisseraient en usage aux propriétaires actuels ? Comment hériter du futur d'une propriété que l'on souhaite exploiter aujourd'hui et léguer demain à ses enfants ?

La question vous l'avez compris est politique : quelle liberté voulons nous dans un contexte environnemental donné ? Pour répondre à cette question il faut se poser la question de savoir comment établir un équilibre entre le socle réglementaire et l'expression individuelle ? Entre l'expression collective et l'expression individuelle ?

Il convient de partir d'un certain nombre de constats et de questions juridiques :

²⁶ « La révolution a nationalisé les propriétés de l'Eglise et des émigrés ; et elle les a vendues comme biens nationaux à une foule d'acquéreurs, destinés à devenir les soutiens du nouvel ordre politique. On sait combien cette question des biens nationaux a pesé sur les événements et sur les opinions pendant tout le premier tiers du XIX^{ème} siècle. L'art. 544 prend les propriétés telles qu'il les trouve au sortir de la révolution ; ce sont les propriétés actuelles qu'il consacre, sans permettre d'en rechercher les sources, ce qui a une immense portée en 1804. « De la manière la plus absolue » cela signifiait pour les acquéreurs de biens nationaux, « sans être inquiétés » et l'article 544 devait être leur titre contre les revendications des anciens propriétaires. Seul l'oubli du passé a pu faire juger réactionnaire ce texte qui reste toujours disponible pour couvrir les nécessaires spoliations de l'histoire », *op. cit.*

²⁷ Léon Duguit, Traité de Droit constitutionnel. 2e édition. Tome III. La théorie générale de l'État, 1921.

1. La construction juridique actuelle entérinée et amplifiée par le projet de loi biodiversité met parfaitement en lumière la **question de la conciliation ou non entre le droit public et le droit privé, entre intérêt général et intérêt individuel.**

- a. Le droit public étant l'ensemble de règles marquées par la satisfaction de l'intérêt général.
- b. Le droit privé étant l'ensemble de règles marquées par la satisfaction des intérêts particuliers dans le cadre d'un intérêt général bien défini.
- c. Il s'avère que quand l'intérêt général prend trop le pas sur les intérêts particuliers, apparaissent lors des déséquilibres forts et les atteintes aux libertés individuelles pourront être disproportionnées par rapport aux objectifs à atteindre.

2. La construction réglementaire des activités économiques privées aujourd'hui laisse une place « surveillée », encadrée des activités privées et des libertés individuelles qui vont avec. Ainsi peut-on encore aujourd'hui par exemple conclure des contrats de droit privé dans le domaine environnemental ? La question est « oui » mais ces contrats seront des contrats « administrés » car dépendant de cahiers des charges types, de guides méthodologiques élaborés par l'administration (comme cela est d'ores et déjà prévu par le ministère en charge de l'écologie pour les ORE), d'un encadrement administratif fort. Ce constat est perceptible aussi dans le cadre des clauses environnementales incluses dans les baux soumis au statut du fermage. Il sera encore plus évident dans le cadre des futures ORE.

3. Enfin, si intérêt collectif il y a, acceptons l'idée que les acteurs économiques privés ne deviennent pas des « fonctionnaires » mais des partenaires de l'intérêt général environnemental. Ce qui suppose que ce partenariat mérite une rémunération pour **service environnemental rendu**, un partenariat qui mérite une fiscalité adaptée pour s'intégrer dans les stratégies des entreprises pour atteindre la durabilité. Cette approche via les services environnementaux²⁸ permettra de reconnaître que les acteurs économiques en général et les producteurs en particulier, qu'ils soient propriétaires ou locataires, produisent de la biodiversité. C'est **la valeur d'usage de la biodiversité qui serait ainsi consacrée.**

En conclusion, notons que s'il est symptomatique de notre époque de mettre en avant les lois, les règles comme facteurs essentiels de protection de la biodiversité²⁹, il est aujourd'hui urgent et nécessaire de repositionner l'individu, *homo economicus*, dans un contexte d'intérêt général environnemental. Le droit privé est un bon vecteur de repositionnement de l'individu dans la chaîne de l'intérêt général. Un droit privé qui devra irriguer l'ensemble des filières agricoles en lien avec leurs partenaires intéressés et créer une chaîne de contrats. En effet, l'enjeu de la biodiversité est collectif et doit être résolu en collectif sur les territoires pour produire une biodiversité culturelle.

Il serait bon également que les filières agricoles regardent du côté du code rural et de son article 1^{er} qui énonce aujourd'hui des « objectifs de la politique en faveur de l'agriculture, de l'alimentation et de la pêche maritime » et qui sont autant de principes directeurs sur lesquels pourraient s'appuyer les filières agricoles.

²⁸ « Paiements pour Services Environnementaux (PSE) en agriculture », Carole Hernandez Zakine, février 2015, <http://www.safagriddes.com/publication/paiements-pour-services-environnementaux-pse-en-agriculture-contractualiser-pour-produire-de-lenvironnement-et-augmenter-ses-revenus/>

²⁹ « Pour préserver la nature, il faut des règles, des normes, des lois, de l'éducation, de la démocratie vivante, des travaux scientifiques. »,

Certes est affirmée l'agroécologie³⁰ mais également l'obligation de permettre « *l'accès à une alimentation sûre, saine, diversifiée, de bonne qualité et en quantité suffisante, produite dans des conditions économiquement et socialement acceptables par tous, favorisant l'emploi, la protection de l'environnement et des paysages et contribuant à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changement climatique* ».

Autant de principes en devenir, exprimant l'ambition d'une agriculture passée à la moulinette du 21^{ème} siècle naissant, des principes propres au droit rural, un droit rural qui doit décidément opérer sa transition juridique.

La bataille agricole se gagnera aussi en montant au front juridique.

³⁰ Carole Hernandez – Zakine : « *Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt : l'agroécologie comme nouveau modèle agricole* », Droit de l'environnement, n°230, janvier, 2015.

AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE EN BRETAGNE : FORCES, FAIBLESSES, MARGES DE MANŒUVRE ET STRATÉGIES D'AVENIR

INTRODUCTION

par Jean-Claude **Guesdon**¹

La région Bretagne est tantôt admirée, crainte, enviée ou critiquée par les acteurs et observateurs étrangers à cette région. Son modèle de développement sans être étranger à celui qui a prévalu dans le reste de l'Hexagone, a revêtu il est vrai quelques aspects particuliers : le développement des productions intensives, en particulier celui des productions animales y a été particulièrement prononcé créant ou maintenant des emplois dans l'agriculture, mais aussi en amont comme en aval, et un tissu dense de petites et moyennes entreprises. Ce mode de développement a aussi connu de nombreuses crises et a engendré un certain nombre de nuisances.

La forte capacité de réaction des acteurs de ces filières face en particulier aux dégradations des marchés et au renforcement des réglementations environnementales pour ne parler que de ces contraintes administratives, a bien souvent créé la surprise et l'énervement, voire l'incompréhension de nos concitoyens. L'épisode de l'automne 2013 marqué par de puissantes et violentes manifestations de rue, identifiées comme étant organisées par le mouvement des « bonnets rouges », appuyées sur un contexte de fermeture de quelques entreprises de ce secteur (abattoirs de porcs et de volailles), de dégradation du marché et des revenus agricoles dans les filières animales, et par la menace d'une nouvelle contrainte fiscale (la fameuse écotaxe), a ramené sous les feux de la rampe cette région impétueuse et « son système agroalimentaire productiviste ». S'agit-il d'un système en crise, de la faillite « d'un modèle », ou d'une crise de croissance, et quelles sont les stratégies d'avenir possible ?

Pour aller plus loin dans l'analyse de ce qui s'est passé ces dernières décennies et pour tenter de dégager ce qui pourrait correspondre à une ou à des stratégies porteuses d'avenir, nous allons bénéficier de trois compétences et de trois diagnostics liés à trois approches complémentaires :

- Jean Paul **Simier**, agroéconomiste directeur de l'agriculture et de l'agroalimentaire à Bretagne Développement Innovation, agence économique de la région Bretagne, nous présentera sa vision économique, appuyée par sa grande connaissance des structures régionale, qu'il s'agisse des structures professionnelles de filières ou des structures politiques régionales.

- L'évolution de l'agriculture et de son environnement, les enjeux pour demain et les stratégies porteuses d'avenir perçues par un grand groupe coopératif implanté au cœur même du Grand ouest agricole français : Hubert **Garaud**, président du groupe Terréna, agriculteur en Loire Atlantique, nous présentera son analyse du contexte et la façon dont un grand groupe coopératif implanté au cœur même de ce Grand Ouest envisage l'avenir et comment il participe à la mise en œuvre des choix stratégiques qui lui semblent porteurs d'avenir.

- Yves **Trégaro**, agroéconomiste, expert des productions animales, chef d'unité à FranceAgrimer s'attachera à mettre en perspective ce qui lui semble correspondre aux atouts/handicaps de l'agroalimentaire du Grand Ouest, dans le contexte concurrentiel européen et mondial. Il dégagera lui aussi ce qui lui semble pouvoir correspondre à une stratégie d'avenir pour ce grand bassin de productions animales.

La conclusion sera assurée par Jean Louis **Rastoin** membre de l'Académie d'agriculture.

¹ Correspondant de l'Académie d'agriculture de France. Chef de département honoraire « économie » à l'Institut de l'Élevage.

AGROALIMENTAIRE EN BRETAGNE CRISE SUBIE OU MUTATION ACCÉLÉRÉE

par Jean Paul **Simier**¹

Depuis 4 ans, la Bretagne est secouée par des difficultés récurrentes dans l'agroalimentaire qui est son premier secteur économique et industriel. Cela fait l'objet de beaucoup de commentaires et d'articles de presse. Certains y voient la fin d'un modèle spécifique, voire régional. D'autres entrevoient plutôt une mutation en cours, assurément douloureuse et complexe, mais une réelle adaptation à une mondialisation qui avance vite. C'est la thèse que je développerai.

Il n'y a pas de crises à proprement parlé d'un agroalimentaire breton, mais d'abord une crise de notre système productif français, dans un monde économique qui s'est ouvert très vite. Bien analyser ce qui touche l'agroalimentaire breton et tenter d'y trouver des solutions d'avenir, c'est aussi envisager, modestement, des voies de solutions à la crise du système industriel français. D'autant plus que si certaines entreprises ou filières agroalimentaires sont en difficulté, l'ensemble agroalimentaire de Bretagne reste puissant et résilient, tout n'est pas en crise, loin de là. Beaucoup d'entreprises continuent à investir et sont la base du rebond.

L'agroalimentaire de Bretagne est un secteur massif (20 milliards € par an, 70.000 salariés, 4 milliards d'exportation..) et surtout très diversifié : lait, viandes, œufs, légumes frais et transformés, produits de la mer, charcuterie, traiteurs et plats cuisinés, biscuiterie-boulangerie-pâtisserie, snacking et sandwichs, ingrédients alimentaires et arômes....Ainsi l'agroalimentaire breton compte plus d'une dizaine de filières alimentaires identifiées, qui vont du produit standard à la bio en passant par des circuits-courts. Nous sommes bien loin des seuls secteurs du poulet export congelé, du lait ou du porc, créés dans les années 1960. Les secteurs en crise (notamment viandes) sont ces secteurs bien spécifiques, largement adossés à la production agricole, encore trop faiblement transformateurs des produits vendus. La crise ne touche pas trop les secteurs des produits plus élaborés, de seconde et troisième transformation, dont on parle moins: traiteurs, sandwichs, PAI..., apparus dans les années 1990, comme une seconde ou troisième générations de l'agroalimentaire breton. Cette masse et cette diversité de l'agroalimentaire font sa force, sa capacité d'adaptation et de rebond. Si on ajoute à cela la densité de la recherche et développement du secteur (laboratoires, centres techniques, plateforme expérimentales...), l'importance de l'agrofourniture et des équipementiers de l'agroalimentaire breton (environ 1.000 entreprises), le maillage logistique, nous avons finalement en Bretagne, un « cluster géant » agroalimentaire, assez unique en Europe. La Bretagne est ainsi une région leader de l'agroalimentaire français, observée, critiquée, mais aussi enviée !

La résilience de l'agroalimentaire est forte : des secteurs peuvent mourir, mais d'autres peuvent naître ! Beaucoup d'entreprises agroalimentaires bretonnes n'existaient pas en 1990 ou étaient minuscules et sont aujourd'hui des relais de croissance qui suppléent les entreprises à la fin de leur cycle. Ainsi les investissements restent élevés : près de 500 millions € chaque année, dont on ne parle quasiment jamais, puisqu'on insiste surtout sur les entreprises en difficulté. Investissements réalisés par des actionnaires régionaux, coopératifs ou privés, mais aussi par des étrangers, ce qui démontre l'attractivité de l'industrie agroalimentaire bretonne.

Cette force existe alors qu'ont été engagés depuis plus de 20 ans des efforts considérables en matière de développement durable et de transition écologique, trop peu médiatisés : pollution par les nitrates en baisse, reconstitution du bocage, recyclage des déchets, économie d'énergie et de matières premières dans les

¹ Directeur de l'agriculture et de l'agroalimentaire à Bretagne Développement Innovation (BDI) agence économique de la Région Bretagne à Rennes.

Résumé extrait d'un article paru dans « Paysans » N°349-Janvier-Février 2015.

IAA, lancement de la méthanisation. Des efforts considérables ont été également faits par les entreprises agroalimentaires bretonnes en matière d'innovation, marketing, logistique, nutrition-santé.... Ces efforts doivent être poursuivis et intensifiés.

L'agroalimentaire en Bretagne est un pan important de notre industrie nationale française. Sa crise mais aussi ses possibles mutations positives sont un test en grandeur nature, de la capacité d'adapter notre industrie française à la nouvelle donne de l'économie mondiale.

ATOUPS ET HANDICAPS DE L'AGROALIMENTAIRE DES PRODUCTIONS ANIMALES DU GRAND OUEST DANS LE CONTEXTE CONCURRENTIEL EUROPEEN ET MONDIAL

par Yves **Trégaro**¹

Ces derniers mois, la presse s'est fait écho de dépôts de bilan, de fermetures d'entreprises, de reprises partielles d'activité d'entreprises dans le secteur de l'agroalimentaire du Grand Ouest : AIM, Doux, GAD, Marine Harvest, Tilly-Sabco, TDI-Le Clézio pour ne citer que les plus importantes, portant en tout sur plus de 4 000 emplois. Les secteurs de l'abattage-découpe et de la transformation de poisson ont été particulièrement affectés. L'agroalimentaire de l'Ouest est-il dans une mauvaise passe ou en cours de mutation ?

Les difficultés que rencontre le secteur des productions animales est en réalité la conséquence de situations différentes, mais concomitantes :

- Volailles : la moitié de la production bretonne et 20 % de la production ligérienne de poulet étaient en 2012 encore destinés à l'exportation de poulet entier congelé vers le Proche et Moyen-Orient (240.000 tonnes). Depuis les années 1960 et jusqu'en juillet 2013, la filière grand export a bénéficié, sans discontinuité, d'aides à l'exportation, les restitutions. Ces dernières représentaient, en 2012, encore environ 20 % du coût de production sortie-abattoir. La suspension des restitutions et la force de l'euro par rapport au dollar a mis à mal les deux entreprises encore présentes sur ce segment Doux et Tilly-Sabco. En ce qui concerne la filière dinde, elle a souffert de la montée de puissance de la production de dindes lourdes en Allemagne, qui était jusqu'à une période récente importatrice en provenance de France.
- Porc : après avoir progressé entre 1994 et 2008, la production porcine dans le Grand Ouest a reculé depuis. Entre 2008 et 2014, le nombre de porcs abattus a diminué de 1,6 million, soit 8 % des abattages. Les causes de ce recul sont multiples : les contraintes environnementales en élevage, le coût de la main-d'œuvre plus élevé en France qu'en Allemagne dans les abattoirs, un déficit de valorisation des pièces, les relations difficiles avec les GMS... Alors que les industriels allemands ont pu compter sur une croissance des volumes abattus pour « écraser » les charges de structure et de relations équilibrées avec les GMS, les abatteurs français ont dû faire face à la situation inverse, grevant leurs charges fixes. Cette surcapacité d'abattage s'est traduite par le dépôt de bilan des deux abattoirs Gad à Lampaul-Guimiliau (29) et Josselin (56), et plus récemment celui d'AIM à Sainte-Cécile dans la Manche.
- Conserve de poisson et saurisserie : depuis maintenant plusieurs décennies, le nombre d'entreprises de conserves de poisson décroît, il n'en subsiste, aujourd'hui, dans l'Ouest plus que 13, elles étaient

¹ FranceAgriMer (yves.tregaro@franceagrimer.fr)

encore 18 en 1994 et 56 en 1974. La diminution de la ressource et la concurrence des conserveries de Côte d'Ivoire, du Maroc et du Portugal en sont les deux principales causes. L'industrie bretonne du saumon fumé souffre de la concurrence de la Pologne, pays où la production a fortement progressé au cours des dernières années.

Les restructurations en cours (fusion, acquisition, fermeture d'entreprise) sont la conséquence d'une évolution du contexte économique environnant et d'une prise de conscience par un certain nombre d'acteurs de l'industrie agroalimentaire probablement tardive de ces changements. Deux faits marquants sont intervenus au cours de ces vingt dernières années, d'une part, la signature des accords du GATT le 1^{er} avril 1994 à Marrakech, d'autre part, la réduction progressive de la protection des secteurs agricole et agroalimentaire européens (découplage et verdissement des aides PAC, démantèlement des restitutions, sortie des quotas laitiers, signature d'accords bilatéraux,...). Plusieurs Etats Membres, notamment du nord de l'Europe (Allemagne, Danemark, Pays-Bas), ont pris, dans les années 1990, la mesure des évolutions en cours, notamment au niveau mondial et européen.

Au niveau international, le commerce s'est très rapidement structuré autour de pièces désossées voire de muscles (faux-filet ou entrecôte pour le bœuf, travers ou longe pour le porc, filet de dinde ou de poulet pour la volaille, filet pour le poisson) dans le secteur des viandes, de composants (beurre, poudre de lait écrémé, poudre de lactosérum, caséines,...) dans le secteur laitier. Dans l'Union européenne, les échanges ont, jusqu'à une période plus récente, porté sur des produits bruts (carcasse, lait vrac, crème, beurre, poudre) mais, ils ont évolué depuis à l'image du commerce international, modifiant plus ou moins fortement les stratégies commerciales des entreprises. D'une part, les clients, la GMS, la RHF, les importateurs y ont contribué en ne s'approvisionnant qu'en matières premières dont ils ont besoin (nature, quantité). D'autre part, face à la commercialisation de produits bruts ne permettant qu'une très faible marge, les industriels ont recherché la création de valeur en allant plus loin dans l'élaboration des produits. Dans le secteur de la viande, les abatteurs danois, espagnols, néerlandais et plus récemment allemands ont investi dans des ateliers de découpe, la découpe primaire pouvant dans certains cas être automatisée. Dans le secteur des produits laitiers, les laiteries ont bénéficié des avancées technologiques de séparation des composants du lait ou du lactosérum, via l'ultrafiltration, la nanofiltration et la microfiltration. En ce qui concerne, le secteur de la pêche, le commerce de poissons entiers reste conséquent même si les échanges de filets progressent (10 % des importations européennes de saumon en provenance de Norvège).

Simultanément, du fait d'une concentration des industriels de la 2^{ème} transformation, des enseignes de la grande distribution et des importateurs, l'industrie de 1^{ère} transformation également restructurée tant dans le secteur de la viande que celui des produits laitiers, notamment dans la perspective d'une présence plus forte des acteurs européens sur les marchés internationaux après la fin des quotas laitiers, le 1^{er} avril 2015. Les deux premiers groupes porcins européens, Danish Crown et Tönnies Fleisch ont respectivement traité 22,0 millions et 14,9 millions de porcs en 2014 ; les premiers opérateurs français ont une taille beaucoup plus modeste (Cooperl : 4,9 millions de porcs en 2014, Bigard : 4,6, Intermarché : 2,8). De même, les grands groupes laitiers, parmi les quelques deux français, traitent pour la plupart plus de 4 milliards de litres de lait par an (Lactalis : 14,6 milliards de litres ; Arla Foods/Danemark : 13,4 ; DMK/Allemagne : 6,7 ; Friesland Campina/Pays-Bas : 9,5 ; Sodiaal/France : 4,6).

Cependant, certains secteurs industriels de l'agroalimentaire du Grand Ouest sont dynamiques et connaissent une croissance forte. Il s'agit surtout d'entreprises tournées vers l'innovation, les produits à fort taux d'élaboration et/ou de transformation comme, Guyader, Henaff, Houdebine, Le Duff, Lactalis, LDC... Leurs investissements se traduisent par des recrutements significatifs. De fournisseur de matières premières, de commodités, de produits basiques (carcasse de porc, poulet entier congelé, beurre, poudre de lait, emmental,...), issus de la production agricole locale, ces entreprises deviennent assembleur de matières premières et proposent des produits à fort niveau de service (prêts à cuire ou à consommer, innovation technologique,...) à destination du commerce de détail mais aussi de la restauration hors foyer (RHF). L'agroalimentaire de l'Ouest dispose d'atouts majeurs favorables à un rebond :

- un secteur agroalimentaire dense avec structures de recherches fondamentales et appliquées,
- certaines entreprises tournées vers la production et la commercialisation de produits élaborés à forte valeur ajoutée mettant en valeur un savoir-faire,
- un bassin de production agricole performant (coût de production comparable à ceux d'autres producteurs européens) aux productions diversifiées,
- un bassin agroalimentaire qui dispose d'atouts géographiques et logistiques pour commercer (importations de produits bruts, exportations de produits à forte valeur ajoutée).

CONCLUSION

par Jean-Louis **Rastoin**¹

Je voudrais, en prémisses à ma conclusion, citer l'un de nos éminents confrères, tout à fait légitime compte tenu du thème de notre séance. Il s'agit du professeur Louis **Malassis**, né en 1918 dans une ferme du bourg de St-Hilaire-des-Landes, qui raconte l'histoire de trois générations de paysans bretons dans son ouvrage : La longue marche des paysans français, paru chez Fayard en 2001.

Louis Malassis y dit ceci :

« C'est bien une grande révolution qu'a accompli la génération de paysans qui, entre 1945 et 1975, ont transformé les régions françaises, et particulièrement la Bretagne...une révolution technique et agraire qui n'aurait pu aboutir sans un changement radical des mentalités. Une révolution qui transforme la vie quotidienne à la ferme, libérant les paysans de servitudes pesantes... leur apportant dignité et améliorant leurs conditions matérielles de vie... Mais la longue marche des paysans n'est jamais achevée et leurs héritiers doivent à leur tour faire face à une nouvelle crise agricole. ».

C'est donc dans une perspective historique longue qu'il faut considérer la crise actuelle du modèle agroindustriel, en Bretagne, mais aussi dans les autres régions de France, d'Europe et du monde.

Jean-Claude **Guesdon**, Jean-Paul **Simier**, Yves **Trégaro** et Hubert **Garaud** ont justement rappelé l'importance du système alimentaire breton et parfaitement campé les fondamentaux de la crise.

Je reviendrai, dans cette conclusion, sur 3 points :

- Le poids socio-économique de ce système alimentaire qui dépasse les simples secteurs agricoles et des IAA
- Le diagnostic de la crise
- Une esquisse de scénario de sortie de crise

Poids du système alimentaire en Bretagne

Nos conférenciers ont évoqué l'importance de l'agriculture, avec, en Bretagne, 4,5% de l'emploi régional contre 2,5% pour la moyenne française et 2,7% du PIB contre 1,4% et celle des IAA avec 5,2% de l'emploi contre 2,1% et 3,5% du PIB contre 1,5%. Il s'agit donc, pour la Bretagne, d'un poids double de celui de la moyenne nationale.

Il faut cependant agréger à ces données, celles des secteurs amont, aval et périphérique de l'agriculture : l'agrofourmiture et l'agroéquipement, l'industrie de l'emballage, les circuits commerciaux et la restauration,

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Professeur émérite à Montpellier SupAgro.

Courriel : jean-louis.rastoin@supagro.fr

C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°2.

la logistique, les services aux entreprises tels que les organismes de financement, la communication, la formation, la R&D, le conseil, etc. En effet, c'est sur le socle du complexe formé de l'agriculture et des IAA, et grâce à leurs puissants effets d'entraînement, que se greffent de multiples activités porteuses de développement économique et d'emplois.

Pour connaître le poids réel de ce système alimentaire, il faut par ailleurs intégrer à l'IAA le vaste secteur de l'artisanat agroalimentaire. Malheureusement, l'appareil statistique français, s'il le permet au plan national, reste incomplet au plan régional, comme en témoigne l'excellent, et néanmoins lacunaire, opuscule « Tableaux de l'agriculture bretonne » édité en 2015 par la DRAAF-Bretagne à partir des données d'Agreste.

En travaillant sur les bases de données de l'Insee, il est possible d'estimer, en 2012, à 6 780 établissements et un peu plus de 95 000 le nombre total d'emplois de la « sphère agroalimentaire » bretonne qui inclue les IAA stricto sensu, y compris la tranche de 0 à 19 salariés ne faisant pas partie du champ de l'enquête annuelle d'entreprises, soit 58 500 emplois, le commerce de gros de produits agricoles et agroalimentaires, soit 14 700 emplois, et l'artisanat alimentaire, soit 21 900 emplois.

Si l'on extrapole à la Bretagne les estimations faites pour la France 1, le système alimentaire breton « générerait » plus de 350 000 emplois, soit le quart de l'emploi régional total. Ce poids considérable impose de considérer comme prioritaire le système alimentaire dans toute stratégie économique régionale.

Le diagnostic de la crise

La crise du système alimentaire breton (qui est aussi celle du système alimentaire français) frappe de plein fouet le segment, largement dominant, que l'on pourrait qualifier d'agro-industriel et qui se caractérise, comme son nom l'indique, par une standardisation des produits, une spécialisation, une concentration et une financiarisation des entreprises, une globalisation des marchés. La crise épargne relativement un autre segment, minoritaire, que nous appelons « système alimentaire territorialisé » (SAT), qui sera présenté dans une ébauche de scénario de sortie de crise.

Les causes de la crise agro-industrielle sont multiples et interdépendantes. On peut les ramener à 4 :

En premier lieu, comme l'a montré Yves **Trégaro**, l'élargissement des marchés (UE à l'Est et mondialisation) et l'intensification de la concurrence internationale qui a conduit à la recherche d'économies d'échelle par la constitution de métafirmes et d'usines géantes. Dans cette course au gigantisme, la Bretagne a été distancée par les groupes allemands et scandinaves en Europe et des pays émergents (le numéro 1 mondial de l'industrie de la viande est aujourd'hui le Brésilien JBS) et s'est donc trouvée en surcapacité industrielle. La France a été desservie en Europe par des politiques sociales et fiscales non harmonisées.

En second lieu, le choix de stratégies trop dépendantes de l'économie administrée des filières animales (pilotage par les subventions européennes dans les productions animales : bovins viande, volailles, lait). La fin des incitations monétaires de la PAC dans le soutien aux marchés a rompu le fragile équilibre financier de nombreuses entreprises (l'exposé de Jean-Paul **Simier** l'a bien montré).

En troisième lieu l'évolution des marchés agroalimentaires vers des produits plus élaborés alors que souvent la Bretagne est restée sur des produits de première ou deuxième transformation.

Enfin, l'impact environnemental négatif de l'agriculture et des IAA a induit des blocages techniques, des surcoûts et des modifications de comportement des consommateurs.

Esquisse de scénarios de sortie de crise

Après une longue période de stagnation caractérisée par une pauvreté rurale de masse, la révolution éducative, technique et organisationnelle des 30 glorieuses a permis une modernisation de l'agriculture bretonne marquée par une hausse considérable de la productivité du travail et de la terre qui est allée de pair avec l'essor des IAA. Aujourd'hui, la Bretagne est de loin la 1^{re} région agroalimentaire de France.

Cependant le début du XXI^e siècle (avec plus de précision, l'année de la crise financière de 2008) marque une rupture de tendance avec une remise en cause de l'économie de marché généralisée qui se manifeste d'abord dans la société civile et chez les consommateurs des pays à haut revenu, dont la France. La contestation porte sur le modèle de consommation industriel et urbain, sur les externalités négatives environnementales et sociales du modèle de production, sur la répartition de la valeur créée, sur le mode de gouvernance politique et managérial.

Cette crise polysémique est profonde, car structurelle et non pas conjoncturelle. Elle touchera aussi les pays émergents, lorsqu'ils aborderont la fin de leurs 30 Glorieuses, ce qui devrait être le cas de la Chine dans les années à venir.

Le concept de sortie de crise, quelle que soit aujourd'hui l'école de pensée, s'appelle le développement durable pour les citoyens, la RSE (responsabilité sociétale des entreprises), pour les acteurs économiques. Pour le système alimentaire, l'objectif de durabilité est de réduire les nuisances en termes de santé, de ressources naturelles et d'atténuer les inégalités économiques et sociales, d'améliorer la gouvernance publique et privée. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'investir massivement dans l'innovation technologique et managériale (agro-écologie, énergies renouvelables, numérique) comme l'a montré le président de Terrena, Hubert Garaud.

Deux « trajectoires stratégiques d'entreprises » sont, dans ce contexte, possibles. Elles ont été décrites par Michaël **Porter** de l'université Harvard dans son ouvrage fondateur, l'avantage concurrentiel, publié en 1985 et toujours d'actualité.

La première, caractéristique de l'économie de marché globalisée, est une stratégie de domination par les coûts qui suppose une très grande taille pour réaliser les investissements matériels et immatériels nécessaires. Une poignée de groupes français, peut-être un ou deux groupes du Grand Ouest sont en mesure de faire ce choix stratégique, mais ils sont tous menacés par leurs concurrents américains ou asiatiques disposants de marchés domestiques de très grand poids démographique.

La trajectoire alternative est, au contraire, une stratégie de différenciation par les ressources naturelles (terroirs), technologiques (savoir-faire), organisationnelles (filières et territoires), culturelles (patrimoine culinaire). On pourrait aujourd'hui ajouter l'éthique de production et de consommation (transparence, équité, solidarité). Le concept de système alimentaire territorialisé (SAT) ² fondé sur des réseaux ou clusters associant, dans un espace de proximité, agriculture familiale, TPE, PME et ETI agroalimentaires, circuits courts de commercialisation (incluant l'exportation), s'inscrit dans une telle configuration stratégique.

M. **Porter** préconise un positionnement stratégique clair sur l'une des deux formules et parle « d'enlisement de la voie médiane » qui s'apparente au syndrome de Buridan.

Il me semble, à travers le bilan présenté par les conférenciers de cette séance, que la Bretagne possède les atouts pour développer une stratégie de différenciation ou de « distinction » de type SAT ²: un panier diversifié de produits de haute qualité, un tissu dense d'entreprises agricoles et agroalimentaires, un dispositif performant d'innovation et de formation, et surtout, un esprit entrepreneurial. Les principaux obstacles à lever se regroupent en deux catégories. La première tient au « consentement à payer » du consommateur : dans ce domaine, les choses évoluent comme en témoigne l'essor des produits bios, l'engouement pour l'origine locale, avec une réactivité des acteurs du commerce de détail et des SAT. La seconde catégorie relève de l'individualisme propre aux petites structures et donc aux difficultés de mutualisation des ressources et compétences et de cohésion entre acteurs. Un peu partout en France, et notamment en Bretagne, la « conscience territoriale » devrait permettre de les surmonter.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) RASTOIN J.L., GHERSI G., 2010. – Le système alimentaire mondial : concepts et méthodes, analyses et dynamiques, éd. Quae, Paris : 581 p.
- (2) IEP Paris, Chaire UNESCO en alimentations du monde, Montpellier SupAgro, Association des Régions de France, 2015. – Systèmes alimentaires territorialisés : 100 initiatives locales pour une alimentation responsable et durable, (4), Journal Résolis, Paris <http://resolis.org/journal>

TRAME VERTE, TRAME BLEUE QUELS RÉSEAUX ÉCOLOGIQUES POUR DEMAIN ?

Cette séance prolonge celle du 27 mai dernier consacrée à une controverse sur la biodiversité. Elle analyse les fondements scientifiques et les modalités de mise en œuvre de la politique publique de la trame verte et bleue prévue par la loi du 3 août 2009. Cette trame, composée de réservoirs de biodiversité et de réseaux écologiques, est un des outils de conservation, de restauration et de création des continuités écologiques sur le territoire national.

INTRODUCTION

par Henri Décamps¹

Résumé : l'introduction évoque les bases scientifiques de l'écologie du paysage et de l'établissement de la trame verte et bleue en insistant sur les notions de connexions écologiques, perçues et organisées.

Summary : the introduction addresses the scientific evidence of landscape ecology and ecological networks, prioritizing the ideas of ecological, perceived and organized connections.

La Trame verte et bleue forme un réseau de continuités, soit terrestres (c'est la composante verte de la trame), soit aquatiques (c'est sa composante bleue). Ce réseau comprend des « réservoirs de biodiversité », connectés entre eux par des corridors appelés « corridors écologiques ». Chaque réservoir de biodiversité est un espace susceptible d'abriter des populations végétales ou animales d'où certains individus peuvent rejoindre d'autres réservoirs en empruntant les corridors écologiques.

En fait, la trame verte et bleue constitue un outil d'aménagement du territoire : d'abord un outil pour la conservation des espaces et des espèces ; ensuite un outil pour enrayer la perte de biodiversité et maintenir ses capacités d'évolution ; enfin un outil prenant en compte les activités humaines sur les territoires.

On comprend donc que nous ayons souhaité consacrer une séance de l'Académie d'agriculture de France à ce thème, d'autant plus que la trame verte et bleue présente une propriété essentielle, me semble-t-il, dans le cadre des travaux de notre compagnie. Cette propriété essentielle est de faire entrer en résonance trois types de connexions que j'appellerai : connexions *écologiques*, connexions *perçues* et connexions *organisées*.

D'abord les *connexions écologiques*. Elles sont souvent illustrées par l'histoire des campagnols à pattes blanches de la campagne canadienne. Ces campagnols vivent dans des bosquets de un à quelques hectares disséminés dans les cultures aux environs de Toronto. Chaque hiver, les populations de campagnols à pattes blanches sont décimées par le froid, au point de disparaître de certains bosquets. Or, les chercheurs canadiens ont montré que ces disparitions sont d'autant plus fréquentes que ces bosquets sont isolés, mal reliés entre eux. Ils ont également montré que, une fois l'hiver passé, des campagnols rescapés empruntent les haies pour circuler entre les bosquets, éventuellement pour les repeupler.

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Membre de l'Académie des Sciences. Directeur de recherche émérite au CNRS.

Il faut bien voir, au-delà de cet exemple, que les connexions écologiques sont des outils entre les mains des gestionnaires de la nature. Au Canada, les haies aident les campagnols à survivre aux hivers rigoureux ; en France, les haies sont préconisées pour abriter les belettes et les fouines comme moyens de lutte contre la prolifération d'un autre campagnol. Les connexions écologiques peuvent par ailleurs permettre aux jacinthes d'eau et autres espèces invasives de se répandre le long des rivières, et aux parasitoses de se transmettre à travers les territoires. Cependant, une étude menée en Finlande a récemment révélé que plus les populations de plantain étaient connectées entre elles, et moins elles étaient contaminées par l'oïdium, en raison d'une plus grande résistance acquise par les populations connectées, plus souvent en contact avec ce champignon.

Bref, les corridors écologiques ont leurs avantages et leurs limites ; ils ont leurs incertitudes qui incitent à la prudence dans l'extrapolation des observations hors de leurs conditions d'origine, et à d'autres échelles de temps et d'espace.

Ce qui amène au deuxième type de connexion : les *connexions perçues*. D'une manière générale, les connexions immédiatement perçues par le public sont de nature structurelle : des continuités topographiques, hydrologiques ou végétales, qui facilitent les déplacements des espèces. Moins évidentes sont les connexions de nature fonctionnelle, qui prennent en compte les préférences des organismes pour tel ou tel habitat ou leur capacité de dispersion dans un paysage donné.

Comme l'a noté Philippe **Clergeau**, un corridor convenant à un type d'espèces ne permet pas de décrire les flux écologiques pour toutes les espèces d'une région donnée. A l'évidence, un hérisson, un renard et un loup ne perçoivent pas les connexions écologiques d'un paysage de la même manière, ne serait-ce que parce qu'ils évoluent à des échelles spatiales distinctes. Et que dire des connexions perçues par des insectes en comparaison de celles perçues par des oiseaux, des lynx ou des chevreuils ?

Mais alors, sur quel dénominateur commun repose l'idée d'une trame verte et bleue ? En réalité, l'idée de trame verte et bleue repose sur deux évidences scientifiques robustes et démontrées : 1) la fragmentation actuelle des habitats naturels conduit à l'existence de petites populations à haut risque d'extinctions, pour des raisons démographiques, génétiques et stochastiques, 2) connecter de tels fragments confère à ces petites populations une structure en métapopulations, avec davantage de chances de durer.

Sur cette base, la perception des connexions par les scientifiques évolue au fur et à mesure que progressent les connaissances sur la persistance des espèces, sur leur comportement, sur leur structuration en communautés. La perception des connexions par les scientifiques évolue également en fonction de la prise en compte des changements climatiques auxquels sont confrontés les systèmes écologiques. Elle évolue enfin avec l'incorporation des activités humaines dans l'organisation et la gestion des connectivités au sein des paysages.

Nous en arrivons au troisième type de connexion, celui des *connexions organisées*. Les exemples de connexions organisées par l'Homme vont des passes à poissons, parfois étonnantes de technicité, jusqu'aux crapauducs et autres passages souterrains ou aériens permettant aux animaux sauvages de traverser les grandes voies de circulation.

La trame verte et bleue marque une nouvelle étape par rapport à ces exemples, d'abord par son ampleur. Il s'agit en effet d'aider la flore et la faune à faire face aux changements globaux, particulièrement de nature climatique : quels caractères climatiques prendre en compte pour organiser des connexions appropriées en telle ou telle région ? Comment organiser ces connexions en présence de changements rapides de conditions environnementales ? Comment intégrer les connexions naturelles telles que les rivières et leurs vallées dans une organisation d'ensemble ?

La trame verte et bleue marque aussi une nouvelle étape par son souci de cohérence : cohérence avec les autres actions d'aménagement du territoire ; cohérence entre les connexions écologiques, perçues et organisées ; cohérence entre les pays, à commencer par ceux de l'Union européenne. Dans cette perspective, l'organisation des connexions comporte sans aucun doute des coûts d'acquisition, de construction, de maintenance, de surveillance. Mais ces coûts sont justifiés par des avantages souvent insuffisamment pris en compte en matière de gestion durable des territoires : biodiversité, services écosystémiques, qualité de vie et même opportunités d'emploi.

Car la trame verte et bleue correspond à une recherche, à toujours renouveler, d'organisation cohérente des territoires – des territoires dont elle nous rappelle finalement la vraie nature : ce sont des biens communs. La menace d'une « tragédie » planerait donc sur les territoires, comme sur tout bien commun, si on en croit la fameuse théorie de Hardin. La trame verte et bleue apparaît comme un moyen, parmi d'autres, de conjurer cette tragédie grâce aux résonances entre les connexions *écologiques, perçues et organisées*.

Les trois exposés de cette séance s'inscrivent dans cette perspective :

D'abord, Philippe **Clergeau** dressera un bilan des enjeux de la trame verte et bleue.

Ensuite, Fabienne **Allag-Dhuisme** abordera la question des politiques publiques de trames vertes et bleues.

Enfin, Pierre-Marie **Tricaud** traitera la question des rapports entre urbanisme, écologie et paysage.

En conclusion, Pierre **Donadieu** proposera des recommandations pour une mise en œuvre dynamique de la trame verte et bleue.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) DÉCAMPS H. et DÉCAMPS O., 2004. – *Au printemps des paysages*. Buchet-Chastel, Paris.
- (2) DÉCAMPS H. et DÉCAMPS O., 2007. – Organisation de l'espace et processus écologiques. *Economie Rurale* (297-298) : 49-64.
- (3) DÉCAMPS H., 2009. – Ecologues et paysagistes : agir ensemble sous de nouveaux climats. *Les Carnets du Paysage* 18 : 13-27.
- (4) DÉCAMPS H., 2014. – L'appropriation des espaces inondables : leçons d'une histoire de crises récurrentes : 49-71. *Riparia* <http://reuredc.uca.es/index.php/sig/index>

LES ENJEUX DES TRAMES VERTES ET BLEUES

par Philippe Clergeau¹

Résumé : le texte souligne les origines naturalistes des enjeux des trames vertes et bleues mais aussi la prise en compte fondamentale des différents acteurs du territoire pour une pérennité des fonctionnements. Les services écosystémiques sont des leviers forts pour une mise en œuvre, tout particulièrement en milieu urbain.

Summary : the text underlines the naturalist origins of the green and blue network goals, but also the strong need to consider the different actors of the territory in order to a sustainable functioning. The ecosystemic services are good means to motivate implementation, especially in urban area.

Dans le contexte décrit en introduction par Henri Décamps (rôle de l'organisation écologique au niveau du paysage, mosaïquage des territoires), la lutte contre la fragmentation des habitats et la restauration des continuités écologiques deviennent vitales à la fois pour la conservation de la biodiversité et pour pérenniser les services écosystémiques qui y sont liés.

Ces services écosystémiques ont été définis en 2005 dans le *millenium ecosystem assessment*, par un consortium international de chercheurs qui, à la demande de l'ONU, ont identifié et classé les services que la nature rend à l'Homme. On distingue ainsi des services de production (fourniture de nourriture, matériaux, etc.), de régulation (purification de l'air, régulation des pollutions, etc.) et culturels (esthétique, éducation, etc.). Cette typologie a permis de souligner la relation fondamentale entre le bien-être de nos sociétés et les fonctionnements écologiques (Figure 1). Elle sert actuellement de base à beaucoup de discussions sur les enjeux d'un investissement de nos sociétés dans la protection de la nature à côté des objectifs plus difficiles à avancer comme ceux de patrimoine. L'identification de ces services, aussi appelés services écologiques, a largement contribué à une prise de conscience de la place de la biodiversité en aménagement du territoire, et notamment dans la définition des réseaux écologiques, que le Grenelle de l'Environnement a dénommé « Trames vertes et bleues ».

¹ Professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris Responsable de programmes pluridisciplinaires nationaux sur les trames vertes urbaines et sur la végétalisation des bâtiments, il travaille plus particulièrement sur les relations entre écologie et planification.

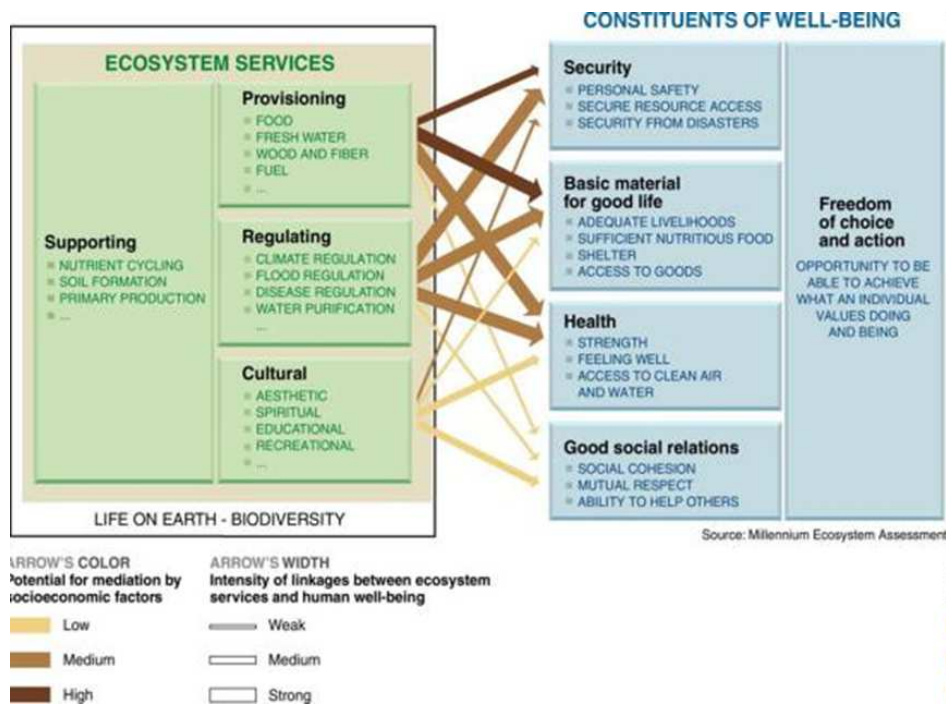


Figure 1. Le rapport du Millenium Ecosystem Assessment (2005) démontre les dépendances entre le bien-être de nos sociétés et les fonctionnements naturels.

La trame verte et bleue s'appuie sur les définitions fournies par l'écologie du paysage dans les années 1980 et déjà à l'œuvre depuis les années 1996 dans plusieurs pays (réseau écologique pan-européen). Une multitude de publications scientifiques réalisées dans de nombreux pays et de nombreux types d'habitats avaient montré l'importance de ces fonctionnements en réseau pour la survie des populations animales et végétales (voir bibliographie dans les deux ouvrages précurseurs en France : Burel & Baudry, 1999 ; Clergeau, 2007). Ces trames sont composées d'une part, par les habitats des espèces, par exemple les espaces de forêts ou bien de marais, qui sont les lieux où vivent les espèces (le Grenelle a retenu le terme de réservoir de biodiversité) et, d'autre part, les corridors qui relient ces espaces et permettent les dispersions d'un habitat à l'autre. Une trame, c'est l'ensemble des habitats et des corridors (Figure 2).

On avait déjà beaucoup d'analyses et de réglementations concernant les habitats les plus significatifs (Znieff, Espace Boisé Classé, Natura 2000, etc.) mais rien ne permettait de prendre en compte l'existence et la qualité de continuités écologiques pourtant essentielles au maintien de nombreuses espèces dans les espaces isolés. Selon les caractéristiques de qualité de la matrice (espace interstitiel peu utilisable par les espèces), la présence de continuités spatiales plantées est plus ou moins indispensable. En milieu urbain où la matrice composée essentiellement de bâti est infranchissable par une majorité d'espèces, ces corridors sont essentiels aux colonisations des espaces par les espèces peu mobiles. À grande échelle, ce fonctionnement qui caractérise la biodiversité (qu'on définit ici à la fois par une richesse en espèce et par les relations qu'elles ont entre elles et avec le milieu) a été bien démontré en zone naturelle ou rurale. Toutes les espèces n'utilisent pas les mêmes habitats et les mêmes corridors ; on distinguera ainsi des sous-trames, par exemple herbacée, arbustive ou boisée pour la trame verte.

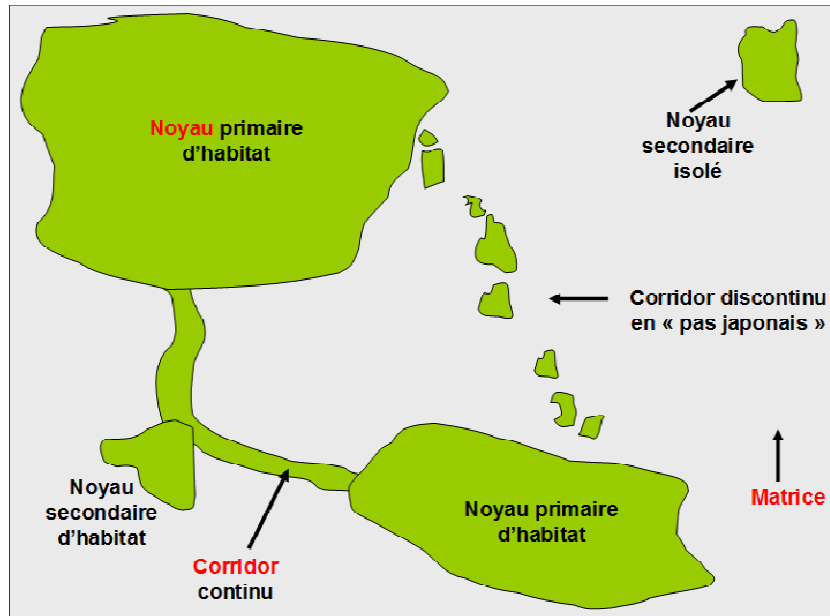


Figure 2. Le principe d'une trame verte est basé sur un réseau de grands habitats (« noyaux ») reliés par des « corridors » écologiques plus ou moins continus.

Les enjeux d'une trame verte et bleue sont d'abord écologiques en voulant favoriser la dispersion des espèces et donc le maintien des populations animales et végétales. Ceci reste vrai en zones naturelles ou rurales, même si un aménagement du territoire ne peut se contenter d'une approche aussi réductrice (le rôle des différents acteurs dans les qualités d'usage et de gestion de l'espace est évidemment fondamental). En revanche en milieu urbanisé, les enjeux d'une trame verte et bleue sont plutôt du ressort des services écologiques, et donc plus dirigés vers les citoyens que vers les espèces. On développe de la nature en ville surtout pour des services d'ambiance, de qualité de vie et de régulation de pollution. Ce constat explique que les orientations actuelles de recherche scientifique sur les trames vertes et bleues sont plus dirigées vers le comportement des acteurs dans un objectif de conservation d'une nature existante en zone agricole et plus dirigées vers le développement et la création d'une biodiversité fonctionnelle en zone urbaine.

Ainsi, en ville, nos travaux récents montrent que l'organisation en trame composée d'habitats (parcs urbains) et de continuités écologiques (bord de rivière ou d'infrastructure par exemple) fonctionne aussi pour de nombreuses espèces. Mais la sauvegarde et la restauration de continuités y sont beaucoup plus difficiles qu'en milieux ruraux (contraintes du foncier et d'usage des sols). Nous avons également souligné comment des corridors discontinus (Figure 2) pouvaient jouer un certain rôle dans la mobilité d'espèces peu mobiles et le rôle que pouvaient alors jouer des jardins privés de particuliers ou d'entreprises (s'ils étaient gérés écologiquement). Toutes les mises en œuvre de trames impliquent des prises en compte des différents acteurs du territoire, mais en ville l'acceptation et la participation des citoyens sont indispensables. Les sciences participatives sont un des outils en cours de développement.

Aujourd'hui la réflexion sur la mise en œuvre des trames vertes et bleues est conduite à plusieurs niveaux : un niveau national qui a défini le projet et les modalités de construction des TVB, un niveau régional avec les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE) qui cartographie les grands axes et secteurs d'intérêts écologiques, un niveau intermédiaire (Schéma de Cohérence Territoriale notamment) qui précise et organise les orientations et sites à enjeux, et un niveau local qui met en œuvre à travers les documents d'urbanisme (PLU, PLUI, etc.). Les résultats des recherches et les débats avec les aménageurs et les collectivités ont clairement mis en avant les outils cartographiques comme essentiels aux définitions et aux prises en compte des trames vertes et bleues. Plus que quelques espèces remarquables (dont on connaît

en général peu les capacités de dispersion), il est apparu en effet que l'identification spatiale des habitats (analyses écologique et géographique du paysage) est beaucoup plus efficace à identifier l'existant et à orienter les actions à mener (conservation, création). Le choix d'espèces cibles reste cependant nécessaires pour une communication moins théorique !

Des difficultés émergent au cours du processus de mise en œuvre (car l'exercice est nouveau) à la fois dans les définitions (c'est quoi un bon corridor ?), dans les articulations d'échelles (comment prendre en compte les résultats d'un niveau supérieur ?) et dans les évaluations (quoi évaluer pour justifier une poursuite et une gestion des espaces écologiques ?). Nous avons cependant noté l'extraordinaire richesse de l'exercice de planification de trames vertes et bleues quant à la capacité de réunir des compétences très différentes (cas d'une étude de requalification dans le sud Toulouse avec paysagistes, architectes, urbanistes et experts en mobilité) ou de services de collectivités qui encore aujourd'hui échangent peu sur l'aménagement de leur territoire (cas de la mise en place d'un plan de Trame Verte et Bleue sur la communauté d'agglomération de Plaine-Commune (Seine-Saint-Denis) qui a impliqué tous les services).

En impliquant les différentes échelles de territoire, les plans de trames vertes et bleues dépassent largement la conservation naturaliste et apparaissent comme un outil de ré-interrogation des projets de planification. C'est en amont des projets que les diagnostics écologiques doivent apparaître et non plus comme une contrainte à l'aménagement. Pour le chercheur écologue des territoires que je suis, les trames vertes et bleues sont en passe de devenir un déclencheur de construction de paysage multifonctionnel, gage d'une durabilité d'enjeux et d'usage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BUREL F. et BAUDRY J., 1999. – *Ecologie du paysage*. Tec&Doc éd.,
- (2) CLERGEAU P. et MACHON N., 2014. – *Où se cache la biodiversité en ville ? : 90 clés pour comprendre la nature en ville*, Quae éd.
- (3) CLERGEAU P. et BLANC N. (coord), 2013. – *Trames Vertes Urbaines*. Le Moniteur éd.
- (4) CLERGEAU P., 2007. – *Une écologie du paysage urbain*, Apogée, éd. 2013.
- (5) *Millenium Ecosystem Assessment*, 2005. – *Ecosystems and Human Well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.

LA TRAME VERTE ET BLEUE, UN OUTIL D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE POUR LA PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

par Fabienne Allag-Dhuisme¹

La Trame verte et bleue est un grand projet de protection de la biodiversité et d'aménagement du territoire issu du Grenelle de l'environnement, par lequel la France s'est appropriée le concept de réseau écologique.

Comme le rappelle l'exposé des motifs de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, « *les avancées scientifiques en matière de biologie de la conservation démontrent désormais les limites et les insuffisances des politiques traditionnelles de création d'espaces protégés (quel que soit leur statut juridique), focalisées sur des espèces ou des biotopes remarquables* ». La Trame verte et bleue nous fait porter un regard nouveau sur la biodiversité, en prenant en compte le fonctionnement écologique des espaces et des espèces, qu'ils soient remarquables ou ordinaires. Elle contribue ainsi, au maintien des services que nous rend la biodiversité : qualité des eaux, prévention des inondations, pollinisation, amélioration du cadre de vie, etc.

Elle a vocation à former une infrastructure naturelle définie dans le code de l'environnement comme un ensemble de continuités écologiques constituée de réservoirs de biodiversité reliés par des corridors écologiques. Les espaces agricoles contribuent souvent à la préservation des continuités écologiques nécessaires à la survie de nombreuses espèces. Généralement considérés comme des milieux plutôt bien préservés, les massifs forestiers quant à eux, jouent un rôle important en tant qu'habitats, au point d'être souvent assimilés à des «réservoirs de biodiversité», et assurent aussi un rôle de corridor écologique.

Si les Schémas régionaux de cohérence écologique identifient les continuités écologiques à l'échelon régional, la mise en œuvre de la Trame verte et bleue se fait essentiellement au niveau local, par les documents d'urbanisme et la mobilisation d'outils contractuels, tels les mesures « agroenvironnement, climat », outils du second pilier de la Politique Agricole Commune.

Le cadre de gouvernance et de concertation dédiés à la Trame verte et bleue, et la capacité de mobilisation concrète aujourd'hui constatée autour de ce projet ambitieux et innovant, montrent qu'il est possible d'aller vers une appropriation du cadre scientifique et naturaliste par l'ensemble des acteurs (collectivités, socio-professionnels, associations) autour d'un enjeu commun : la conciliation entre la préservation de la biodiversité et les activités économiques.

¹ Ingénieur en chef des ponts, des eaux et des forêts, membre du Conseil général de l'environnement et du développement durable – Commission permanente des ressources naturelles ; coordinatrice du collège « Biodiversité et milieux naturels », et présidente de la Commission spécialisée du Conseil national de la transition écologique (CNTE) de suivi de la préfiguration de l'Agence française pour la biodiversité. De 2010 à 2013, elle a été Chef de projet « Trame verte et bleue » auprès du Directeur de l'eau et de la biodiversité au Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

CONVERGENCES OU CONFLITS ENTRE URBANISME, ECOLOGIE ET PAYSAGE

par Pierre-Marie **Tricaud**¹

Le rôle de la planification spatiale est de répartir sur un même territoire des occupations du sol, exclusives entre elles, et des fonctions ou usages, qui peuvent ou non coexister au même endroit. Elle doit donc procéder à des arbitrages, entre occupations du sol lorsqu'elles revendiquent le même espace, et entre fonctions lorsqu'elles sont en conflit sur un même espace.

On peut classer les occupations du sol en trois grandes familles, qui diffèrent par leurs exigences spatiales : l'espace urbain (bâti ou revêtu), les infrastructures linéaires et l'espace ouvert (naturel, boisé, agricole ou jardiné). Alors que l'espace urbain a spontanément tendance à s'étendre de façon continue, au détriment de l'espace ouvert mais aussi de la qualité urbaine, la planification peut le forcer à se fragmenter : c'est possible (même si c'est plus difficile en restauration qu'en projet neuf) et la ville n'a rien à y perdre, au contraire. Pour les infrastructures linéaires, c'est plus compliqué car elles sont continues par nature.

À l'intérieur de l'espace ouvert, des conflits peuvent apparaître entre les fonctions écologique (trame verte et bleue), sociale (promenade, sport, détente, circulations douces...) et économique (production agricole). Ces conflits peuvent quant à eux se résoudre d'une part par l'aménagement de continuités suffisamment larges pour éviter d'avoir à se partager la pénurie, et d'autre part par une recherche poussée de la multifonctionnalité, sans exclure l'homme des espèces circulantes mais avec des aménagements paysagers et des pratiques agricoles plus respectueuses de la biodiversité.

CONCLUSION DE LA SÉANCE

RECOMMANDATIONS POUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA POLITIQUE

DE TRAME VERTE ET BLEUE

par Pierre **Donadieu**¹

Résumé : Les conclusions précisent les conditions d'une meilleure efficacité de la politique publique de la trame verte et bleue dans plusieurs directions : développement des méthodes d'analyse et de suivis, et prise en compte des points de vue des acteurs territoriaux, des aménageurs et de la gouvernance territoriale.

Summary : *The conclusions specify the conditions of a best efficacy of the public policy of ecological networks. Four directions are indicated: methods of analysis and monitoring, and the consideration of the views of: stakeholders, landscape planners and managers, and territorial governance.*

¹ Ingénieur agronome, Pierre-Marie Tricaud, architecte paysagiste et urbaniste à l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région Ile-de-France est membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France.

¹ Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Agronome et écologue, docteur en géographie de l'Université Paris VII, Pierre Donadieu est professeur émérite en sciences du paysage à l'École nationale supérieure de paysage de Versailles-Marseille. Ses travaux actuels portent sur la construction des biens communs.

Mettre en place une politique publique de réseaux écologiques sur le territoire national n'est pas simple, nous l'avons vu dans les interventions précédentes et dans le débat qui a suivi. De nombreuses interrogations subsistent à la fois sur les objectifs et sur les moyens à utiliser. Les controverses ne sont pas closes et nourriront les débats scientifiques et politiques encore longtemps. Rappelons que les polémiques qui sont apparues (scientificité des analyses, réalité de la perte de biodiversité, utilité des lois, etc.) peuvent être dépassées par les éclairages de la philosophie morale et politique (notamment celle du pragmatisme développé par John Dewey aux États-Unis au début du siècle dernier). La liberté d'action et de pensée de chacun devrait être mise en relation avec la nécessité de construire et de partager les biens communs.

Car les bénéfices d'intérêt général à attendre de la politique publique de la Trame Verte et Bleue sont nombreux. D'abord créer, conserver ou restaurer les réseaux écologiques fonctionnels indispensables à la reconstruction de la biodiversité des territoires. C'est une nécessité économique et sociétale. Ensuite, rétablir ou mettre en œuvre les services écosystémiques indispensables à la vie économique et sociale, dans les mondes ruraux, périurbains et urbains. Enfin, accroître ainsi la résilience économique et écologique des territoires et de leurs habitants aux crises de toutes sortes, chroniques et intermittentes.

Les risques sont indéniables : épidémiologiques en favorisant la diffusion d'agents pathogènes et invasifs, et socioéconomiques en faisant apparaître une résistance sociale (industriels, propriétaires fonciers, agriculteurs,) si un accompagnement financier indispensable n'est pas mis en place là où cela est nécessaire. Les territoires risquent alors d'être inégalement concernés. On rappellera cependant aux plus sceptiques que la mise en place des trames vertes et bleues est réversible, contrairement en général à l'urbanisation.

Les outils de cette politique, les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) ont été élaborés. Pour les schémas de cohérence territoriale (SCOT), ils constituent désormais une référence irremplaçable dans les régions rurales comme dans les régions urbaines.

Le plus difficile sans doute reste à faire, traduire les informations cartographiées dans les documents d'urbanisme, et notamment dans les PLUI et les PLU. Puis mettre en place, sur les court, moyen et long termes une politique d'accompagnement de la matérialisation et de la gestion des réseaux avec les acteurs des territoires.

Je résumerai les recommandations avec quatre points de vue.

D'abord du point de vue des méthodes de mise en œuvre de la politique de la trame verte et bleue (TVB)

Il s'agit d'abord de s'inscrire dans *une dynamique économique et écologique des paysages* (et non dans la seule conservation de quelques espèces remarquables) ; de chercher à maintenir les habitats et à connaître les informations fournies par les espèces les plus banales. La méthode du diagnostic complet – notamment avec l'outil cartographique – de l'état des fonctionnalités écologiques doit être expliquée aux différents acteurs d'un territoire. Cette posture de départ est essentielle pour faire émerger une volonté générale de construction des réseaux locaux, ou du moins un débat local à ce sujet.

Ces diagnostics de territoire s'appuieront sur des diagnostics écologiques, mais aussi sociologiques, géographiques, urbanistiques, d'ambiance et d'usage. Il s'agira de faire émerger la conscience commune de la nécessité de *paysages multifonctionnels* partageables. Et pour y parvenir on s'appuiera sur la traduction des SRCE dans les SCOT et dans les PLUI.

Il faudra également évaluer les actions entreprises à différentes échelles territoriales et selon divers critères (les espèces protégées, les milieux, les connectivités) à l'échéance de la durée de validité des SRCE (6 ans). Il est conseillé de ne pas se précipiter vers des indicateurs parfois trop précis, difficiles à appliquer et à valider dans le temps.

Enfin, mettre en commun les moyens des observatoires régionaux de la biodiversité et ceux de la biovigilance semble indispensable pour donner à l'ensemble de la politique de la TVB la cohérence et la longévité nécessaire. Il sera surtout indispensable de s'assurer de la participation habitante partout où cela est possible.

Du point de vue des acteurs territoriaux

La mise en œuvre de la politique de la TVB à l'échelle locale risque, je l'ai dit, de se heurter à la résistance de certains acteurs territoriaux comme les agriculteurs et les propriétaires fonciers. Ce risque sera fort si les objectifs de la politique ne sont pas partagés, si la liberté d'agir est modifiée et si les coûts induits par l'établissement des connections écologiques ne sont pas compensés ou pris en charge par les pouvoirs publics.

Pour cette raison, il est conseillé de prévoir, là où cela est nécessaire, le financement public de la *mise en place des continuités écologiques* (reconquêtes de berges, réaménagement de barrages sur les rivières, plantations, achats de foncier, etc.). Cette politique devra s'accompagner de l'action locale de chacun. C'est pourquoi il faudra expliquer les services écologiques d'intérêt général. Il est recommandé en particulier de faire valoir que les coûts des réseaux écologiques pour une exploitation agricole peuvent être *compensés, à terme*, du fait de modifications du système d'exploitation et de production, par les services écosystémiques obtenus (santé animale, pollinisateurs, verse réduite des céréales, risques environnementaux diminués, fertilité des sols, etc.).

Du point de vue de l'aménagement territorial et opérationnel

Du point de vue opérationnel dans les régions urbaines, l'ambition devrait conduire à favoriser une ville ou une métropole non seulement compacte mais discontinue, en archipel autour d'entités urbaines individualisées, séparées par des continuités d'espaces ouverts (urbanisations nouvelles ou restauration de continuités à travers l'espace urbain et périurbain).

Il est conseillé également de favoriser des tracés et des profils d'infrastructures linéaires assurant les continuités écologiques et paysagères, notamment celles des vallées (en projets neufs et en reprise de voies existantes).

Et de prendre en compte les risques de diffusion des agents pathogènes par les corridors. Dans les régions urbaines comme dans les campagnes, l'enjeu sera toujours de faire apparaître une volonté générale dépassant les intérêts particuliers. Le succès de la politique de TVB devrait alors être évalué à sa capacité à produire des biens et des services communs et appropriés localement.

Sensibiliser les habitants et les acteurs d'un territoire

Sans l'adhésion des habitants et des producteurs de paysage, il sera le plus souvent difficile de modifier l'organisation économique et écologique des territoires. Sans leur implication dans la prise de décision, sans prise en compte des intérêts et projets en jeu dans l'évolution des paysages, sans participation effective des forces sociales, politiques et économiques, la mise en œuvre de la politique de TVB sera difficile et inégale selon les territoires.

Il faudra donc favoriser *des projets communs* entre agriculteurs, écologues, urbanistes, architectes et paysagistes mobilisant localement les habitants. Car l'espace des réseaux écologiques peut également être celui des services d'approvisionnement des habitants des régions urbaines (agricultures et jardinages urbains et périurbains) ou rurales (gibier, bois de chauffe, etc.). Ces espaces peuvent, il faut le rappeler, apporter des services de régulation (des inondations, du stockage du carbone, des macro et microclimats, des déplacements de loisirs, de la structuration des paysages comme cadre de vie ou lieu de tourisme, etc.). Sans compter, leur rôle d'un point de vue culturel et patrimonial pour identifier les paysages de chaque territoire.

C'est pourquoi, il est indispensable d'aider à la progression de ces idées d'abord chez les praticiens de l'aménagement de l'espace *en développant, dans l'enseignement technique et supérieur, la formation écologique* des urbanistes, des juristes, des architectes et des paysagistes. Et simultanément de faire connaître aux mondes agricoles et agronomiques le bien-fondé de cette politique qui s'inscrit dans la transition agroécologique (comme la régulation des pullulations de campagnols dans le Massif central par exemple).

Le projet de multifonctionnalité des paysages génère le plus souvent *des conflits d'usages* de l'espace. Ce sont des révélateurs positifs de l'implication des populations habitantes et des acteurs économiques dans la gouvernance territoriale. Les arbitrer suppose de dépasser habilement les difficultés engendrées par les droits des sols (entre autres droits en France) et surtout le droit de propriété foncière. Sans céder à la facilité du zonage monofonctionnel qui a trop fragmenté les territoires. Et en imaginant que les collectivités avec les habitants puissent s'approprier, comme en Allemagne, les objectifs territoriaux de biodiversification, notamment ceux de conservation de certaines espèces.

C'est une politique ambitieuse et nécessaire qui demande un accompagnement persévérant, une adaptation locale permanente et la mobilisation des élus et des habitants. L'innovation dans les territoires sera à ce prix, si l'on souhaite constituer les réseaux écologiques comme des biens communs au-delà des intérêts publics et privés.

Peut-être devrait-on envisager de séparer la propriété commune des services écosystémiques de celle de l'usage privatif des sols ? Ne serait-il pas juste que la volonté générale de ceux qui se pensent comme partie d'un tout, d'un ensemble planétaire autant que local, s'impose aux intérêts particuliers ?

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DONADIEU P., – Paysages en commun, pour une éthique des mondes vécus, Presses universitaires de Valenciennes, 2014.
DONADIEU P., – Sciences du paysage, entre théories et pratiques, Paris, Lavoisier, 2012.
DONADIEU P., – Les Paysagistes, ou les métamorphoses du jardinier, Arles, Actes Sud, 2009.

L'EMPREINTE EAU, INTÉRÊT ET LIMITES

INTRODUCTION

par Bernard Saugier¹

Si le concept d'écologie est ancien, il n'est entré dans le domaine public que dans les années 1960 avec notamment en 1962 le livre de Rachel Carson, *Silent spring* et en France, celui de Jean Dorst en 1965, *Avant que nature meure*. Un demi-siècle après, on reconnaît que l'humanité utilise pour ses besoins près d'un quart de la production nette de biomasse continentale, et on a cherché à représenter cette utilisation croissante grâce à divers indicateurs. Ainsi l'empreinte écologique^{1, 2} mesure la surface de terres nécessaire pour produire les ressources consommées (nourriture, énergie et autres besoins) et pour absorber les déchets générés, compte tenu des techniques et de la gestion des ressources en vigueur. Parmi ces déchets il y a le CO₂, gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de combustibles fossiles, et dont la concentration atmosphérique augmente parce que les océans et continents n'absorbent qu'environ la moitié des émissions. Il faudrait une biosphère plus grande ou plus active pour absorber la totalité des émissions, l'empreinte écologique dépasse la surface réelle de la Terre, on est clairement dans un système non durable parce que loin de l'équilibre.

L'empreinte eau, inspirée de l'empreinte écologique, a été définie par Arjen **Hoekstra**^{3, 4} comme une estimation de la quantité totale d'eau douce nécessaire pour les besoins humains (boisson, lavage, production de nourriture et de biens de consommation...) et pour diluer à un niveau acceptable les eaux polluées par ces productions. Il sera présenté par Daniel **Zimmer** qui a écrit un livre⁵ sur le sujet. Cet exposé sera suivi d'un résumé des échanges et critiques faites au sein du groupe eau. Jean-Paul **Bonnet** présentera les aspects agronomiques (difficultés à évaluer toutes les composantes de l'empreinte eau), et Jean-Marc **Boussard** les aspects économiques de ces critiques (un litre d'eau au Sahel n'a pas la même valeur qu'un litre d'eau en Norvège). Bernard **Itier** donnera quelques exemples des besoins en eau sur le territoire français, montrant que la rareté de l'eau ne dépend pas que du climat. Ghislain **de Marsily** conclura la séance en donnant les caractéristiques attendues d'un bon indicateur de rareté de l'eau, dont l'empreinte eau est en quelque sorte un prototype.

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur honoraire de l'Université Paris-Sud.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

¹ Rees W E, 1992. – Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and urbanization*, **4**, 121-130.

² Wackernagel M *et al.*, 2002. – Tracking the ecological overshoot of the human economy. *PNAS* **99**, 9266–9271.

³ Hoekstra, A.Y., 2003 (ed). – Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, IHE Delft, the Netherlands

⁴ Hoekstra A Y et Wiedmann T O., 2014. – Humanity's unsustainable environmental footprint. *Science* **344**, 1114-1117.

⁵ Zimmer D, 2013. – L'empreinte eau. Les faces cachées d'une ressource vitale. Editions Charles Léopold Mayer, 212 p.

L'EMPREINTE EAU : ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES

par Daniel Zimmer¹

La notion d'empreinte eau est apparue dans la dernière décennie. Elle a émergé d'une part des travaux sur l'eau virtuelle de Tony Allan qui dans les années 90 a popularisé l'idée que, si les pénuries d'eau ne provoquent pas davantage de conflits, c'est parce que l'eau manquante est importée de manière virtuelle à travers le commerce de produits alimentaires. Cette approche centrée uniquement sur les échanges a rapidement montré ses limites mais a renforcé la conscience de nombreux acteurs de l'insuffisance de l'approche traditionnelle de comptabilité de l'eau centrée sur l'eau bleue. La notion d'empreinte, centrée sur les impacts et la capacité des écosystèmes, est vite apparue comme plus générale et mieux adaptée à rendre compte des pressions quantitatives et qualitatives exercées par l'homme sur l'eau douce dans un contexte de tensions croissantes sur cette ressource.

L'empreinte eau se conçoit comme un indicateur des impacts quantitatifs et qualitatifs des usages humains de l'eau. Le concept a très rapidement connu un important succès auprès des mouvements écologistes, des consommateurs et des entreprises. Et ce, avant même que les bases scientifiques sous-jacentes en aient été solidement établies.

Aujourd'hui, le concept et les approches de son évaluation sont encore en débat et en évolution. Deux approches complémentaires s'affrontent : l'une héritée de l'eau virtuelle et popularisée par le Water Footprint Network ; l'autre héritière d'approches d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et qui, récemment traduite en une norme ISO, est utilisée principalement par des industriels.

La présentation introduira ces différents concepts ainsi que les limites des approches traditionnelles. Les évolutions récentes ainsi que des perspectives pour progresser sur ces questions seront discutées.

¹ Directeur Innovation de la KIC Climat.

ANALYSE DU CONCEPT DE L'EMPREINTE EAU AU NIVEAU AGRONOMIQUE

par Jean-Paul **Bonnet**¹

L'analyse ici présentée porte spécifiquement sur le concept de l'empreinte eau en agriculture. Elle rend compte des débats, parfois contradictoires, du groupe eau de l'AAF suite à l'audition de Daniel Zimmer. Précisons qu'une part des remarques formulées ici le sont également dans son ouvrage « L'empreinte eau ».

L'analyse concerne trois points :

- Quelle utilité ?
- Des doutes sur les méthodes d'estimation ;
- Pour une utilisation critique des résultats.

Une utilité pédagogique réelle

Le groupe de travail a reconnu l'utilité pédagogique du concept d'empreinte eau pour présenter les difficultés d'accès à l'eau.

Cela fournit une première approche de la situation d'un pays ou d'une région à l'égard de l'eau.

Il permet de rendre explicites des flux d'eau dont les acteurs – gouvernements, responsables agricoles, chefs d'entreprises agro-industrielles – ne sont pas forcément conscients, pour faire apparaître les tensions sur les ressources en eau, dans un espace donné. Et ce, au-delà d'éléments inquiétants comme l'abaissement du niveau des nappes phréatiques ou l'assèchement périodique de fleuves à l'embouchure.

Cela permet de mettre en évidence des tendances qui peuvent amener à des points de rupture ; tendances liées à la démographie, aux modes de consommation et de production en relation avec le niveau de développement économique. Ce concept a permis d'illustrer le fait que certains pays ne pouvaient pas, ou ne pourront plus, se nourrir avec leurs seules ressources en eau.

Ce concept permet aussi de comparer les consommations d'eau par habitant entre pays ; et prévoir l'évolution des besoins d'un pays en fonction du niveau de développement attendu.

L'empreinte eau peut donc s'avérer un bon outil de sensibilisation et de préparation à des choix stratégiques.

Notre groupe de travail a suggéré de creuser cette idée pour la rendre plus précise et plus opérationnelle.

Les faiblesses méthodologiques

Toutefois, si le concept est séduisant, l'analyse de la méthode et des données conduit à de sérieuses réserves.

1. Des résultats forcément très approximatifs

La première difficulté est d'estimer la consommation d'eau à tous les stades de la chaîne alimentaire, du champ à l'assiette du consommateur, alors qu'il y a de multiples situations à prendre en compte.

D'abord, la quantité d'eau nécessaire à une plante pour produire un kg est extrêmement variable. Elle est fonction, pour chaque culture, des systèmes de production et de leur environnement : pluviométrie, qualité des sols, choix des cultures, rendements, recours ou non à l'irrigation, positionnement dans l'année du cycle végétal, etc. Daniel Zimmer fournit lui-même pour la consommation en eau des céréales par kg de matière sèche produite, une fourchette de 1 à 8 entre les zones à fort potentiel agronomique de nos climats tempérés et celles défavorisées comme le Sahel.

¹ Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Adjoint au Directeur de CerFrance Yonne, Responsable qualité.

En plus, pour produire de la viande ou du lait, la consommation de fourrages est aussi fonction des systèmes d'alimentation des animaux. On cumule donc les marges d'appréciation des cultures et de l'élevage. Les écarts s'amplifient ainsi tout au long de la chaîne agro-alimentaire.

Il est donc nécessaire, pour évaluer l'empreinte eau d'une population donnée, de disposer de mesures qui correspondent aux conditions locales de production et de transformation, et non pas des standards globaux.

De fait, d'immenses progrès ont été réalisés pour la mesure des besoins et des consommations en eau des plantes.

Pour la mesure de l'ETR - évapotranspiration réelle, celle qui nous intéresse vraiment - : on dispose de plus de 600 sites de mesures dans tous les types de végétation (forêts, pâturages, cultures) et toutes les conditions climatiques. L'incertitude est d'environ 20%, ce qui est déjà très satisfaisant en soi, mais montre aussi les limites de la précision des résultats.

Pour la France par exemple, il serait intéressant de faire des bilans d'empreinte eau sur des régions naturelles très différentes du sud au nord, et avec des potentialités agricoles différenciées (Provence, Bretagne, Ile de France, ...).

Ainsi, même si nous sommes capables de mesurer les consommations d'eau des plantes ; et surtout de les pondérer correctement en fonction des multiples situations, les marges d'incertitude sont considérables et les résultats peu opérationnels.

Il est possible de réduire la marge d'incertitude si on dispose, comme en Tunisie, de données précises et fiables sur les ressources (niveau des nappes, débit des rivières...) et les consommations d'eau (irrigation, industrie, urbanisation), de façon à croiser les données.

2. L'approche par le volume n'est pas suffisante pour prendre des décisions

D'abord, la qualité rentre en ligne de compte ; les exigences ne sont pas les mêmes selon les utilisateurs : refroidissement d'une centrale thermique, irrigation des cultures ou consommation humaine.

Surtout, il faut prendre en compte les conditions d'accès à l'eau : pluie, irrigations par gravité, forage, retenue, traitement d'eaux usées, voire usine de dessalement, et également selon les régions, les saisons et les années.

En somme, toutes les eaux ne se valent pas.

Un mètre cube d'eau de pluie en Bretagne n'est pas comparable à un mètre cube d'eau obtenu par dessalement d'eau de mer en Andalousie.

Autre exemple, le maïs consomme moins d'eau que le blé par unité produite, mais ses exigences sont les plus fortes en été, période de faible pluviométrie dans nos régions, ce qui justifie souvent l'irrigation.

On ne devrait pas faire rentrer dans le calcul l'eau consommée là où il n'en manque pas. Ainsi, autant l'approche est pertinente dans un pays comme la Tunisie, autant elle n'a aucun sens en Assam qui reçoit plus de 2500 mm d'eau par an.

On doit donc pondérer les quantités d'eau par des facteurs exprimant les difficultés d'accès et les caractéristiques souhaitées en fonction des utilisations : on pense par exemple à la quantité d'énergie nécessaire pour puiser, transporter et traiter l'eau consommée ; le prix de revient, le prix d'achat. Le prix de revient est un élément chiffrable, objectif et rationnel, qui est censé prendre en compte les difficultés de mettre l'eau à disposition des plantes et des animaux.

Le prix de revient de l'eau permet aussi de comparer les cultures selon leur l'efficacité. Par exemple, l'exportation de tomates par le Maroc ou la Tunisie peut paraître choquante car le pays a des ressources en eau limitées ; mais cela leur permet d'importer des céréales, qui compte tenu des rapports de prix entre le blé et la tomate, représentent une meilleure valorisation économique de l'eau. En effet, un kg de tomates vaut certainement plus cher qu'un kg de blé ; pourtant, il faut 10 fois moins d'eau pour le produire. Jean Marc Boussard développera ces aspects.

3. En l'absence d'activités humaines, le couvert végétal dit naturel consomme aussi de l'eau.

Aussi, il serait logique d'estimer le différentiel de consommation d'eau entre la plante mise en place par les hommes et la végétation naturelle qu'elle remplace. Dans bien des cas, la consommation marginale apparaîtrait très faible dans cette optique.

A la limite, les systèmes extensifs d'élevage de ruminants valorisent des espaces naturels qui ne seraient pas utilisés autrement. Ce sont 10 à 15 m³ d'eau par kg de viande produite qui ne devraient pas être comptabilisés dans l'empreinte eau.

4. L'eau consommée par les plantes n'est pas perdue

Les racines des plantes puisent des quantités d'eau considérables pour faire fonctionner la photosynthèse et maintenir la rigidité de la plante ; mais les feuilles en rejettent la presque totalité dans l'atmosphère ; d'ailleurs, l'eau contenue dans la plante récoltée est quasi négligeable, de l'ordre du millième de ce que la plante a puisé (de 1% dans le cas de la tomate, qui n'est que de l'eau). En quelque sorte, la plante ne fait qu'emprunter l'eau à son environnement, pour la lui restituer aussitôt. Aussi, plutôt que d'empreinte, il vaudrait mieux parler d'emprunt.

Notre groupe de travail s'est interrogé sur le devenir de cette eau évapotranspirée. A-t-elle une incidence positive sur la pluviométrie locale ? Il semble que ce ne soit pas le cas ; en fait, l'eau évaporée contribue à la pluviométrie quelques centaines de kilomètres plus loin, voire davantage.

Ainsi, la mise en place d'une bonne végétation estivale, avec des cultures comme le sorgho, le tournesol, le maïs, la betterave, ne contribue que faiblement à la pluviométrie en période sèche. Selon des études récentes, la pluviométrie a augmenté d'environ 5% seulement dans les grandes plaines de l'Inde depuis que l'irrigation s'y est fortement développée ces dernières décennies

5. L'eau grise doit-elle être évaluée ?

Il est effectivement important de prendre en compte la dégradation de la qualité de l'eau par l'activité humaine ; cela recouvre les eaux usées des ménages, les eaux rejetées par l'industrie, et les eaux polluées par l'agriculture et l'élevage.

L'idée est de chiffrer la quantité d'eau nécessaire pour diluer la pollution à un niveau tolérable. Le chiffrage étant forcément discutable, l'estimation de l'eau grise est parfaitement arbitraire et sommaire, on considère en effet qu'1 m³ d'eau polluée non traitée = 1 m³ d'eau grise. Donc cela dépend des moyens techniques et financiers dont on dispose pour traiter ces eaux et les recycler. Le recyclage dépend de l'usage qu'on destine aux eaux ; par exemple, certains pays utilisent pour l'agriculture des eaux usées des villes ; soit en l'état dans de mauvaises conditions d'hygiène ; soit après un traitement adapté à l'usage agricole.

Vues les difficultés d'estimation de l'eau grise, ne serait-il pas plus réaliste et rigoureux de s'abstenir de les chiffrer ? D'autant que l'eau grise ne représente dans les estimations présentées par Daniel Zimmer que 15% environ de l'ensemble de l'empreinte eau, c'est à dire nettement moins que la marge d'erreur sur les consommations d'eau verte et bleue.

Pour une utilisation critique des résultats

Compte tenu des incertitudes sur la méthode et les données, les résultats obtenus ne peuvent être utilisés qu'avec beaucoup de prudence et il convient d'éviter quelques écueils.

Le premier écueil est le terme empreinte, qui prête à confusion ; il est communément utilisé pour désigner une marque définitive, comme l'extraction des énergies fossiles et des minerais ; alors que l'eau, elle, est inépuisable et participe à un flux qui se renouvelle. Seules sont peut-être épuisables certaines nappes dites fossiles. Cela rend possible des discours alarmistes ou culpabilisants, et alimente l'idéologie de la rareté tous azimuts.

Le second écueil est la présentation des résultats sans informer des énormes marges d'erreur inhérentes aux méthodes de calcul, surtout lorsqu'on agglomère l'eau grise.

La troisième écueil est de présenter des taux d'autonomie biaisés, en prenant en compte dans les échanges les seules importations. Pourtant, l'estimation de l'empreinte eau comptabilise à la fois les importations et les exportations. Présenter un bilan partiel permet à coup sûr de montrer que des pays fortement engagés dans les échanges internationaux comme la France, sont très dépendants, voire autant que

les pays du Maghreb (cf. document du WWF France) ou encore qu'ils exploitent les ressources en eau de pays où l'eau est rare. Pourtant, en cas de blocus, la France pourrait réorienter rapidement les productions agricoles pour compenser les importations de soja, ou simplement adapter son alimentation ; et remplacer le coton, principal contenu en eau virtuelle par le lin et le chanvre, question de mode. On ne peut en dire autant des pays du Maghreb et du Moyen Orient.

Autre écueil : la dévalorisation de certains produits qui ont nécessité beaucoup d'eau, comme la viande bovine. Pourtant, celle-ci est en grande partie un sous produit du lait dans les pays développés ou émergents et de la traction attelée dans d'autres ; c'est aussi actuellement le seul moyen de valoriser les zones de steppes ; enfin, dans bien des régions, l'alternative à l'herbe étant la forêt, est-il pour autant souhaitable, en terme d'aménagement du territoire et de paysages chers à nos concitoyens, qu'une partie de régions comme le Massif Central et la Bourgogne retournent en forêt ? Il faut donc être très prudent dans les propositions qu'on peut tirer des chiffres.

Dernier écueil : considérer la disponibilité en eau comme un élément figé ; et ceci conduit forcément à considérer l'agriculture comme la variable d'ajustement, avec des conclusions du genre « il faut réduire la surface irriguée de tant de pour cent, à tel horizon, ou de telle culture ». Pourtant, il existe des solutions pour réduire les besoins, et pour augmenter la ressource. Côté réduction des besoins, citons l'abandon de l'irrigation par gravité, ce qui est maintenant le cas en France ; c'est le passage de l'irrigation par aspersion à l'irrigation au goutte à goutte (déjà généralisé en maraîchage, horticulture et arboriculture) ; c'est aussi jouer sur les assolements. Côté ressources, on pourrait dire qu'il n'y a aucune limite puisqu'on sait dessaler l'eau de mer et la transporter sur de longues distances. C'est un problème d'énergie et d'infrastructures. Ce point est présenté dans l'approche économique (cf. Jean-Marc Boussard).

En conclusion, le concept d'empreinte eau n'est certainement pas une imposture, comme certains auteurs ont pu l'écrire ; c'est un outil de sensibilisation stratégique pour s'interroger sur le niveau de rareté de l'eau et sur nos consommations. Il doit être manipulé avec énormément de précaution et se méfier des conclusions rapides, car les méthodes de calcul sont très peu robustes et parfois contestables ; et les consommations d'eau ne sont comparables ni par leurs conditions d'obtention ni par celles de leur utilisation. Toutes les eaux ne se valent pas.

Quel terme est le plus pertinent en agriculture, empreinte ou emprunt ? Le débat reste ouvert.

Sources

- (1) ZIMMER Daniel, 2013. – L'empreinte eau - Les faces cachées d'une ressource vitale, Éditions Charles Léopold Mayer.
- (2) *The waterfootprint of France* – dossier sur le site WWF France
- (3) KERVASDOUÉ Jean de et VORON Henri, 2012. – Pour en finir avec les histoires d'eau. L'imposture hydrologique – Plon.

L'EMPREINTE EAU : UNE VUE CRITIQUE

par Jean-Marc **Boussard**¹

L' « empreinte eau » dont nous a parlé Daniel Zimmer connaît un succès considérable de nos jours. On trouve même sur le Web de nombreuses pages dotées de « calculateur d'empreinte eau » (par exemple, <http://www.empreinteh2o.com/>). Pourtant, c'est une notion fort discutable, pour au moins trois raisons :

1/ S'il est relativement facile de mesurer la quantité d'eau qui sort d'un tuyau (ou même, celle qui tombe sur un champ), il est beaucoup plus difficile de définir celle qui est « consommée » par telle ou telle activité. Par exemple, je peux bien dire que $x \text{ m}^3$ ont été répandus sur mon champ de blé. Mais combien ont été évapotranspirés ? Combien se sont infiltrés ? Et que serait devenue cette eau si, au lieu de planter du blé, j'avais laissé mon champ en friche ? Les théoriciens de l'empreinte eau s'efforcent de répondre à ces questions avec des raisonnements souvent byzantins, mais peu convaincants.

2/ On ne veut pas seulement mesurer la quantité d'eau *directement* extraite d'un tuyau. On veut aussi évaluer l'eau *indirectement* consommée par toute la chaîne d'activités nécessaire à l'élaboration d'un produit final quelconque (d'où l'idée que manger de la viande est un gaspillage insensé !).

Le problème se pose pour n'importe quel produit, puisque « les marchandises sont produites avec des marchandises »². On sait le résoudre grâce aux « matrices input/output » (dont l'élément a_{ij} est défini comme la quantité de produit i nécessaire à la production d'une unité du produit j). L'inverse d'une matrice associée donne la quantité directe et indirecte de n'importe quel produit dans la production de n'importe quel autre.

Cela suppose cependant que les produits soient bien définis, et restent les mêmes, avec les mêmes coefficients techniques, d'un bout de la planète à l'autre. Or rien n'est moins sûr, en particulier dans le cas de l'eau. Peut-on considérer comme le même produit l'eau d'un lac de montagne à 3000 m d'altitude et celle d'un estuaire à l'altitude 0 ? Dans les évaluations sur la viande, faut-il affecter les mêmes coefficients à la viande de baleine et à celle du bœuf de Kobé ? En vérité, l'eau consommée par les baleines et celle consommée par les bœufs ce sont des produits différents, qu'on ne peut pas plus additionner entre eux que des choux avec des carottes... Conscients de la difficulté, des auteurs comme Hoekstra³ en fait, tronquent l'algorithme d'inversion de matrice, dont ils se contentent des premières itérations.... Ce faisant, loin de diminuer l'arbitraire des calculs, ils ne font que l'augmenter (faut-il s'arrêter à la seconde ou à la dixième itération ?).

3/ En réalité, tout ceci est basé sur l'idée que l'eau est une ressource rare et non renouvelable. Or, si l'eau est en effet « rare » (elle a un coût), elle est en réalité parfaitement renouvelable. La molécule d'eau n'est jamais détruite quand on s'en sert. C'est une situation bien différente de celle, par exemple, du pétrole, la molécule d'hydrocarbure disparaissant dans la combustion. Or tous les discours sur l' « empreinte eau » tendent à nous présenter H_2O comme si c'était une ressource non renouvelable, à l'image du pétrole.

Veut-on de l'eau à Tamanrasset ? Si l'on se contente de petites quantités, on peut l'y apporter avec un avion chargé de palettes de bouteilles d'eau d'Evian (cela existe déjà). En grosses quantités, il est toujours possible de construire une unité de dessalement d'eau de mer à Dakar, et un tuyau pour la transporter de Dakar à Tamanrasset (seulement 4000 km et 600 m de dénivelé : on a fait plus difficile !). On ne le fait pas parce que « cela coûte trop cher ». Mais cette affirmation ne signifie rien, sinon que les habitants de Tamanrasset ne sont pas disposés à régler une pareille facture, ou bien qu'ils ont trouvé une

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA, Consultant.

² Titre d'un fameux ouvrage de Piero Sraffa : *Production of Commodities by Means of Commodities*, Cambridge, 1960). Il a été traduit en français chez Dunod en 1999.

³ Hoekstra A., *et al.*, 2011. – *The waterfootprint assessment manual*, TJ international, Padstow (Cornwall).

autre solution moins coûteuse. Dans les deux cas, c'est leur affaire (à moins de considérer que leur pauvreté est la cause de leur refus de payer l'eau, ce qui n'est sans doute pas faux : auquel cas, le problème, c'est la pauvreté, pas l'eau !)... De toute façon, je ne vois pas pourquoi l'eau que je pourrais économiser à Paris serait de la moindre utilité pour les Touaregs autour de Tamanrasset !

Telles sont les raisons pour lesquelles je ne crois pas beaucoup à la fécondité du concept d'« empreinte eau », sinon peut être pour culpabiliser certains citoyens négligents, afin de les inciter à économiser, ce qui n'est jamais un mal.

Le vrai problème, par conséquent, est celui d'augmenter l'offre de ce produit très demandé en de nombreux points. Cela passe par de gros investissements apparemment peu rentables. Cette faible rentabilité, elle-même, tient à beaucoup de raisons, parmi lesquelles :

- a) L'idée selon laquelle l'eau doit être mise gratuitement (ou à très faible coût) à la disposition des citoyens, ce qui n'encourage pas les investisseurs.
- b) Le fait que les bénéfices des grands investissements hydrauliques sont souvent à très long terme, avec des risques considérables pour l'entrepreneur.

Dès lors, il ne se trouve personne pour envisager de les entreprendre, ce qui est navrant, alors que d'innombrables chômeurs ne demanderaient pas mieux que d'y travailler, et que, même avec un coût « nominal » significatif, cela ne coûtera en réalité presque rien à la collectivité (car, à moins de les euthanasier, il faut bien que la collectivité prenne les chômeurs en charge, que ce soit par l'intermédiaire de « pôle emploi » ou grâce à l'aide familiale...).

L'analyse économique contemporaine n'intègre plus ces considérations, et cela marque une vraie régression de la pensée par rapport à ce qu'elle était dans les années 50 et 60 du siècle dernier, lorsque ces problèmes étaient abordés par des Prix Nobel comme James Mirrlees, Kenneth Arrow ou Amartya Sen...

Une dernière remarque : Dans l'exemple de Tamanrasset, on voit bien que le coût de l'eau sera non seulement celui des infrastructures, mais aussi celui de l'énergie, très significatif ici. Si celle-ci est produite par du pétrole, on retombe évidemment dans le domaine du « non renouvelable ». Mais il existe des moyens de produire de l'énergie renouvelable, en particulier avec le nucléaire...

EMPREINTE EAU EN FONCTION DE LA DISPONIBILITÉ DE L'EAU : COMMENTAIRES À PARTIR DE L'EXEMPLE FRANÇAIS

par Bernard **Itier**¹

L'empreinte « eau » ne pourra avoir un rôle opérationnel que si elle est croisée avec la disponibilité de la ressource en eau.

Ceci nécessite une connaissance spatialisée de cette disponibilité.

L'appréhension de cette disponibilité dépasse la simple spatialisation de la pluie. Elle doit prendre en compte non seulement la demande en eau spatialisée, représentée par l'évapotranspiration de référence ETo (autrefois appelée ETP) mais également la disponibilité d'eau exogène au bassin versant résultant des aménagements humains.

Les deux premiers points sont illustrés à partir des iso-contours de pluie annuelle et du bilan offre-demande (P-ETo) sur le territoire français.

Le dernier point est illustré par une comparaison des situations du Sud-Est et du Sud-Ouest.

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

EMPREINTE EAU : QUE CONCLURE ?

par Ghislain de Marsily¹

Madame la Présidente,
Monsieur le Secrétaire Perpétuel,
Chères Consœurs, chers Confrères,

Nous avons, au cours des quatre exposés précédents, entendu beaucoup de choses sur l'empreinte eau, sur ce que représente ce concept, sur son usage, sur ces défauts. Bien que l'on puisse lui faire bien des critiques justifiées, je trouve cette notion utile et novatrice, même si elle demande à évoluer. Si nous revenons un peu en arrière, les premières tentatives pour créer un indicateur de rareté, en un lieu donné, de la ressource en eau, remontent à une Suédoise, Malin Falkenmarck, il y a environ 50 ans, qui avait proposé de diviser l'estimation de la ressource en eau « bleue » disponible dans chaque pays (c'est-à-dire l'eau qui s'écoule dans les rivières et les aquifères souterrains) par le nombre d'habitants de ce pays : elle suggérait que si le chiffre obtenu était inférieur à 1000 m³/an, ce pays était en état de stress hydrique, et qu'en dessous de 500 m³/an, le pays se trouvait en état de grande pénurie. On pouvait ainsi classer les pays du Monde en fonction de leur richesse ou pénurie en eau. Elle avait elle-même reconnu ultérieurement que cette analyse négligeait les ressources en eau de l'agriculture pluviale, c'est-à-dire l'eau « verte », ce qui était une lacune grave qui invalidait son indicateur de stress hydrique.

Il y a plus de 25 ans, un Anglais, JA Allan, introduisait le concept « d'eau virtuelle », qui désigne l'eau qui a été utilisée pour fabriquer un produit quel qu'il soit, par exemple un produit alimentaire ; si ce produit était exporté d'un pays A à un pays B, on mesurait ainsi la quantité d'eau que le pays B « consommait² » à l'intérieur du pays A pour satisfaire à ses besoins. A peu près au même moment se développait le concept d'« analyse du cycle de vie », qui déclinait l'ensemble des prélèvements et rejets faits par un objet au cours de sa vie utile, pour le fabriquer, puis l'utiliser, puis s'en débarrasser : matériaux, eau, énergie, etc. L'« empreinte eau » consistait en fait à extraire la part « eau » de l'analyse du cycle de vie, et « l'eau virtuelle » était la part « eau » du cycle de vie pour la fabrication de l'objet qui était importée ou exportée.

A titre d'exemple, Besbes *et al.* (2014) ont ainsi montré que la Tunisie vivait « au-dessus de ses moyens » hydriques, c'est-à-dire que ce pays avait laissé croître, au cours des années 1980 environ, la taille de sa population au-delà des moyens en eau et en sols cultivables disponibles pour la nourrir. En 2004 par exemple, 30% environ de l'eau nécessaire pour couvrir les besoins totaux en eau du pays (alimentaires, eau domestique ou industrielle) devait être « importée », sous forme « d'eau virtuelle », c'est-à-dire de blé pour sa population et d'orge pour son bétail. En 2025, du fait de la croissance démographique, des modifications des habitudes alimentaires, et du changement climatique, c'est 50% de l'eau consommée qui devra

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Membre de l'Institut (Académie des Sciences), Membre de l'Académie des Technologies. Professeur émérite à l'UPMC (Paris VI).

² L'eau « consommée » est celle qui quitte le cycle continental de l'eau, et retourne directement à l'atmosphère par évaporation ou évapotranspiration. A titre d'exemple, environ 14% de l'eau prélevée pour les besoins domestiques et industriels est « consommée », le reste retourne au milieu naturel, alors que pour l'eau d'irrigation, c'est environ 75% qui est « consommé ». Pour les besoins énergétiques (hydroélectricité et refroidissement des centrales thermiques), la part « consommée » n'est que de 2%.

probablement être importée sous forme de nourriture. Cette nourriture peut être de l'eau virtuelle « bleue » si elle est produite par irrigation, ou de l'eau virtuelle « verte » si elle est produite par agriculture pluviale. Dès aujourd'hui, un pays comme la Jordanie dépend à plus de 70% d'eau virtuelle importée, et Djibouti, où il ne pleut presque pas, doit être proche de 90%. En Tunisie, l'empreinte eau apporte une autre information utile : sur les ressources en eau locales, utilisées pour l'agriculture, 80% est de l'eau verte, et 20% de l'eau bleue. Or où a été mis l'accent en Tunisie pour la recherche, l'aménagement, la meilleure gestion de l'eau ? Sur l'eau « bleue » exclusivement ! Il s'agit du programme des 1000 barrages, de la recherche agronomique pour la sélection des cultures irriguées, pour mieux irriguer, etc. C'est à cela que sont formés les ingénieurs agronomes ou hydrauliciens, pas à s'occuper d'eau « verte », dont le concept n'est même pas enseigné (comme c'est le cas encore aujourd'hui en France !). Ne pensez-vous que quand 80% de l'eau utilisée est « verte », il y a lieu de tenter d'optimiser son usage ? De faire par exemple s'infiltrer l'eau qui ruisselle³ ? De rechercher les meilleures variétés végétales pour produire en pluvial et résister à la sécheresse ?

La notion d'empreinte eau, introduite par A.Y. Hoekstra à l'Université de Twente aux Pays-Bas en 2002⁴, avec ses trois couleurs, bleue, verte et grise (qui mesure l'intensité de la pollution des ressources par les rejets toxiques non traités) est ainsi un nouveau concept (mais prenant la suite de concepts antérieurs) qui permet de se faire une idée de la nature de l'eau que nous consommons et de l'endroit d'où elle vient. Prenons le cas de la France, à titre d'exemple. Notre bilan hydrique montre que, contrairement aux pays de la zone désertique, nous ne manquons pas d'eau. En simplifiant, la France reçoit en moyenne 480 km³/an d'eau de pluie, dont 300 km³/an repartent en évapotranspiration (eau verte), 80 km³/an s'écoulent dans les rivières en crues, et 100 km³/an s'écoulent dans les nappes (Marsily, 2009). Le WWF en 2012 a également calculé avec l'Université de Twente l'empreinte eau de la France⁵, pour la période 1996-2005, et a montré que la production nationale de biens agricoles et industriels consomme 90 km³/an, dont 76% d'eau verte, 18% d'eau bleue et 6% d'eau grise ; 86% de cette eau sert à l'agriculture, et 50% à produire des céréales. Sur cette production, 65,5 km³/an sont exportés, soit 73% de la production évaluée en eau consommée. Cette exportation est à 69% des produits agricoles végétaux (principalement des céréales), à 19% des produits animaux, et à 12% des produits industriels. Quant à notre consommation totale d'eau (faite des produits nationaux et importés), elle est de 106 km³/an, eau verte, bleue et grise confondue, selon le Tableau ci-dessous, extrait de WWF (2012). Sur ces 106 km³/an consommés, environ 47 % est importée, soit 50,3 km³/an sous forme d'eau virtuelle ; nous exportons donc plus d'eau virtuelle que nous n'en importons.

Type d'eau	Verte, km ³ /an	Bleue, km ³ /an	Grise, km ³ /an
Produits agricoles nationaux	43,7	1,4	3,8
Produits agricoles importés	36,7	4,6	2,1
Produits industriels nationaux		0,9	3,3
Produits industriels importés		0,6	6,3
Eau domestique		0,6	2,2
Total	80,4	8,1	17,7
Total général		106,2 km ³ /an 47 % d'eau importée 76 % d'eau verte 87 % d'eau agricole	

On constate qu'un pays « riche en eau » comme le nôtre importe quand même près de la moitié de l'eau qu'il consomme ! Ceci montre qu'il ne faut plus raisonner, en ce qui concerne les ressources en eau, à l'échelle d'un pays, la question de l'eau est devenue aujourd'hui nécessairement mondiale, et ne peut être

³ Les Tunisiens ont cependant mis en place des programmes très utiles de construction de banquettes à contre-pente sur certains bassins-versants, pour combattre le ruissellement, l'érosion, et la sédimentation dans les retenues, et aussi augmenter l'infiltration et donc l'eau « verte ».

⁴ Water Footprint Manual : www.waterfootprint.org

⁵ Les DOM-TOM en sont exclus, du fait de l'absence de données pour calculer les estimations.

regardée localement. On note au passage que nous importons plus d'eau industrielle grise que nous n'en produisons, ce qui veut dire que nous avons délocalisé nos productions industrielles polluantes.

Il est intéressant de regarder quel est le poste le plus important de consommation d'eau bleue virtuelle importée en France : c'est à 56 % le coton et ses dérivés, car nous ne produisons pas de coton en France, notre climat ne s'y prête pas. Mais d'où vient notre coton ? En majorité d'Ouzbékistan, en transitant par le Pakistan où il est tissé et transformé en vêtements. Mais comment fait-on pousser le coton en Ouzbékistan ? En l'irrigant à partir des eaux de deux grands fleuves himalayens, le Sir Daria et l'Amou Daria. Oui, mais où allaient les eaux de ces fleuves avant de venir irriguer le coton ? Elles se jetaient dans la Mer d'Aral, qui s'est aujourd'hui, du fait de cette culture du coton, en grande partie asséchée... Mesdames, Messieurs, vous qui portez comme moi une chemise en coton, vous êtes responsables de l'assèchement de la Mer d'Aral ! Cette notion d'empreinte eau, si les informations qu'elle véhicule nous sont communiquées, devrait nous permettre d'être des consommateurs responsables, et de ne pas accepter d'acheter des produits dont les conditions de fabrication nous paraîtraient porter atteinte à des valeurs éthiques ou environnementales auxquelles nous attachons de l'importance.

Mais les critiques que vous venez d'entendre sur cette empreinte eau sont pertinentes, ce concept doit encore évoluer. Véolia, par exemple, a développé son propre « Water Impact Index », qui répond déjà à certaines des critiques :

$$WII = \sum_j [(W_j) \times Q_j \times WSI_j] - \sum_k (R_k \times Q_k \times WSI_k)$$

W_j sont les volumes d'eau prélevés, et R_k les volumes d'eau rejetés, par types d'eau j and k ; Q_j et Q_k sont des facteurs de qualité ; WSI_j et WSI_k sont des indices de stress hydriques, pour prendre en compte la rareté de l'eau là où elle est prélevée ou rejetée. Vous voyez tout de suite la complexité dans cette expression croître de façon exponentielle : où trouver ces facteurs de qualité (que Véolia ne publie pas) et ces pondérateurs de stress hydriques ? Qui va les quantifier, les cartographier ? Les faire dépendre du lieu, de la saison, de l'année ? Hoekstra, pour cette raison, condamne cette complexification et dit que l'empreinte eau doit rester simple, et s'exprimer en volumes bruts, sans pondérations. D'autres indicateurs ont été proposés, comme WULCA développé par l'UNEP, Water Risk Filter développé par le WWF, le Water Prism développé par l'EPRI pour l'énergie, etc. Le débat n'est pas clos !

Une autre initiative dans ce domaine mérite d'être citée, celle menée de 2012 à 2015 par un Groupe de Travail conjoint du Conseil Mondial de l'Eau et du Conseil Mondial de l'Energie, et animé par EDF. Cette initiative a été lancée lors du Forum Mondial de l'Eau de Marseille en 2012, et avait pour but de développer une méthode rationnelle et admise par tous pour quantifier « l'empreinte eau » de la fourniture d'énergie électrique, sous tous ses aspects (prélèvements pour le refroidissement des centrales thermiques, turbinage de l'eau des centrales hydro-électriques, évaporation sur les plans d'eau des retenues, etc.). Ce travail a conduit au développement d'une méthode nouvelle de quantification de l'empreinte eau, « W4EF » (Water for Energy Framework), qui a été présenté en Avril 2015 au Forum Mondial de l'Eau de Daegu en Corée. Les principales caractéristiques de cette méthode sont :

1. Toutes les façons d'utiliser l'eau sont estimées : quantité et qualité. Une distinction claire est faite entre les différents usages.
2. Chaque utilisation d'eau est comparée à la capacité de la « masse d'eau » locale à être utilisée à une période donnée de l'année.
3. Pour ne pas rendre trop simple chaque situation, plusieurs indicateurs sont calculés pour évaluer les différentes ressources disponibles et les risques d'impacts.
4. La méthode permet de faire une différence entre les interactions engendrée par une masse d'eau sur une autre.
5. Les indicateurs sont faits pour être calculés sur des intervalles de temps pertinents pour montrer la variabilité inter- et intra-annuelle.

6. En prenant en compte la consommation nette, W4EF estime les modifications de volume engendrées à un hydrosystème.
7. Si ce changement affecte positivement l'écosystème associé ou d'autres usages, ceci est mis en avant.
8. Pour estimer l'effet relatif des impacts de l'activité étudiée, W4EF estime le risque de pénurie préexistant et le risque actuel.
9. Si plusieurs utilisateurs bénéficient de l'usage du même volume d'eau, alors les interactions correspondantes doivent être partagées entre eux.
10. La méthode peut être utilisée n'importe où pour des activités liées à l'énergie. Calculés localement, les indicateurs peuvent être agrégés à n'importe quelle échelle.

Il a été décidé en Avril 2015 à Daegu que ce travail devrait se poursuivre pour trois ans, sous la coordination du Conseil Mondial de l'Énergie.

Pour conclure, notre Compagnie a souhaité prendre une initiative dans ce domaine : le Groupe Eau a contacté divers établissements de recherche en France, dont l'INRA, l'IRSTEA, le CIRAD, etc., pour tenter de faire naître et financer un sujet de thèse sur l'empreinte eau ayant pour but d'en préciser le concept et l'utilité. De grands groupes comme Suez-Environnement et Danone, ou l'AFD, se sont dits intéressés. L'UMR G-Eau à Montpellier y réfléchit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) ALLAN JA., 1988. – Moving water to satisfy uneven global needs. Trading water as an alternative to engineering it. *ICID Journal*, **47**,(2):1–8.
- (2) BESBES M., CHAHED J., HAMDANE A., 2014. – Sécurité Hydrique de la Tunisie, gérer l'eau en conditions de pénurie. L'Harmattan, Paris, 354 p.
- (3) EDF, 2015. – Water for Energy Framework W4EF – L. Bellet et Y. Lemoine. Rapport d'avancement pour le Forum Mondial de l'Eau de Daegu, Corée. Document provisoire.
- (4) HOEKSTRA A.Y., CHAPAGAIN A.K., ALDAYA M.M., MEKONNEN M.M., 2011. – The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan London, ISBN: 978-1-84971-279-8, 224 p.
- (5) HOEKSTRA A.Y., MEKONNEN M.M., 2012.– The water footprint of humanity. *PNAS*, Vol. **109**, 3232–3237, doi: 10.1073/pnas.1109936109.
- (6) MARSILY G. de, 2009. – L'eau, un trésor en partage. Dunod, Paris, 256 p.
- (7) WWF, 2012. — Rapport Empreinte eau de la France. Thierry Thouvenot *et al.* World Wildlife Fund, Paris : 37 p.
- (8) ZIMMER D. 2013. – L'empreinte eau. Les faces cachées d'une ressource vitale. Charles Léopold Meyer, Paris, 212 p.

Colloque
**« Utilisation du potentiel biologique des sols, un atout pour la
production agricole »**

*« Using the soil biological potential as an asset for
agricultural production »*

Colloque et journée organisés par l'Académie d'Agriculture
de France dans le cadre de l'Année mondiale du Sol (2015)

en collaboration avec le concours de l'ADEME



et avec le soutien de l'Unifa, de la Coopérative Terrena et du
Ministère de l'Agriculture



Les sols sont les milieux naturels qui hébergent la plus grande densité et diversité microbienne connue et une faune d'une grande richesse. Ce colloque a pour but d'examiner les différents aspects et facteurs permettant d'exploiter au mieux les ressources terrestres et de développer l'intensification écologique en agriculture tout en maintenant au mieux les fonctions et la qualité des écosystèmes terrestres. Nous pouvons aujourd'hui avoir un regard plus précis sur le monde des microorganismes et de la faune des sols, en particulier leur diversité microbienne fonctionnelle en relation avec les propriétés des milieux. Les microorganismes des sols sont actifs en fonction de conditions physiques et chimiques, variables selon les saisons, les conditions météorologiques, ainsi que les modes de gestion des sols. Le colloque fera un état des connaissances et permettra de montrer l'intérêt primordial de développer des travaux interdisciplinaires et pluridisciplinaires. Il permettra de faire un pas vers une meilleure connaissance du fonctionnement réel des sols et de conduire à des applications dans la gestion des systèmes sol-plante. On fera le point sur différents aspects de la compréhension du milieu de vie qu'est le sol, tout en reprenant quelques données de base pour définir les contours et paramètres du sol associés et associables à la production agricole dans des conditions écologiques. Interviendront des microbiologistes, biologistes, chimistes, physiciens, modélisateurs, français et allemands, qui souligneront la nécessité de développer une véritable interdisciplinarité et pluridisciplinarité. L'organisation du colloque prévoit des plages larges de discussion. Il se déroulera sur deux journées la première à Paris le 24 juin, salle Gambetta du Ministère de l'Agriculture, la seconde sur le terrain au Centre INRA de Lusignan.

Comité d'organisation : J. Berthelin, A. Bruand, J. Ch. Munch, J. Ranger, D. Tessier.
Section V, Interactions milieux-êtres vivants, Académie d'Agriculture de France
18 Rue de Bellechasse, 75 007 PARIS
Date : 24 juin 2015
Lieu : Ministère de l'Agriculture, 78 rue de Varenne, Paris 75007
Inscription : obligatoire mais gratuite

OBJECTIFS DU COLLOQUE:

Les sols peuvent-ils assurer la sécurité alimentaire et contribuer à la stabilité climatique à l'horizon du milieu de ce siècle, alors que 9 milliards de terriens devraient peupler la planète, et que les surfaces agricoles pour les nourrir diminueraient constamment ?

Un nouvel atout pour une utilisation durable avec des hauts rendements et des produits de qualité élevée peut reposer sur une meilleure compréhension du rôle des organismes et de la maîtrise de leur utilisation, plus spécialement de l'énorme potentiel fonctionnel microbien et donc génétique que contiennent les sols. Il s'agit en effet d'un vrai trésor encore peu et mal connu et à peine utilisé. L'utilisation de cette ressource naturelle, partie intégrante des sols, permettrait notamment de mieux mobiliser les éléments nutritifs et de réduire les besoins en produits phytosanitaires. Un effet particulièrement important concernerait les pays pauvres, qui sont plus soumis à des malnutritions, voire à des famines, pour leur permettre d'atteindre des rendements de production agricole bien plus élevés avec des qualités nutritives accrues. Pour compenser les exportations d'éléments nutritifs par les récoltes, ces pays n'ont pas, à ce jour, un pouvoir d'achat suffisant pour se procurer des engrais en quantité suffisante et sécuriser leurs cultures par l'achat de produits phytosanitaires, dont l'utilisation est en voie de réduction vers un usage minimum. L'intérêt de cette présente démarche, qui apparaît inévitable, est d'exploiter au mieux les ressources terrestres et de développer l'intensification écologique en agriculture en maintenant au mieux les fonctions et la qualité des écosystèmes terrestres.

Pourquoi le potentiel génétique microbien comme option si tardive ?

Les sols sont les milieux naturels qui hébergent la plus grande densité et diversité microbienne connue. Un gramme de sol fertile, agricole ou horticole, peut contenir environ un milliard de cellules bactériennes et archéobactéries, qui pourraient appartenir à un million d'espèces. S'y ajoutent champignons, algues, protozoaires, nématodes arachnides, mollusques, vers, insectes, crustacés, myriapodes, petits mammifères.

La méthodologie employée en microbiologie environnementale n'était pas capable jusqu'à encore quelques années d'analyser cette multitude d'espèces. Les grands processus contrôlant les étapes des cycles biogéochimiques (carbone, azote, soufre, phosphore, fer,...) étaient connus et certains depuis plus d'un siècle. Certaines des bactéries impliquées étaient étudiées depuis ce moment-là et d'autres plus récemment, depuis des décennies, telles les bactéries fixatrices d'azote qui forment des symbioses avec des racines, ou bien encore des souches capables de dégrader des contaminants organiques. La plupart des microorganismes n'est, en effet, pas cultivable en conditions de laboratoire et ne peut être découvert par le biais de cultures in vitro utilisées actuellement. En gros, les communautés et populations microbiennes restaient pour leur plus grande part une boîte noire jusqu'au développement de méthodes moléculaires, alors que les processus et fonctions étaient relativement bien connus. Des séquences d'acides nucléiques indiquent aujourd'hui soit la présence de certains gènes révélant des souches bactériennes ou fongiques, soit celle de certains gènes qui codent des fonctions biochimiques définies. Des acides gras des membranes cellulaires sont, par exemple, utilisés comme indicateurs de microorganismes actifs.

Nous avons donc aujourd'hui l'avantage de pouvoir avoir un regard plus précis sur le monde des microorganismes des sols. Toutefois de nombreux laboratoires ont développé et utilisent ces méthodes, mais bien trop souvent uniquement pour caractériser la diversité microbienne structurale et plus rarement fonctionnelle des sols sans véritable relation avec les propriétés des milieux.

Un besoin de savoir nouveau

Quelle recherche nous faut-il pour comprendre le fonctionnement des microorganismes dans les sols, l'écologie de ce fonctionnement, les forces régulatrices de l'expression de certains gènes et des activités enzymatique qui en résultent ?

Les microorganismes des sols sont actifs en fonction des conditions rencontrées dans leur habitat, à savoir des conditions physiques et chimiques qui existent dans ces compartiments et micro-compartiments. Ces conditions sont extrêmement variables selon les saisons, les conditions météorologiques, ainsi que les modes de gestion des sols. L'analyse physique et l'analyse chimique des sols ont fait des progrès tout aussi considérables en apportant des connaissances nouvelles tout comme l'analyse biologique. Ainsi la tomographie permet l'observation et la caractérisation de la structure des agrégats de sols au niveau submillimétrique. Des sondes classiques ou miniaturisées sont utilisées pour mieux définir les relations sol-solution à diverses échelles. L'analyse des structures chimiques des constituants des sols, de l'atome à la structure moléculaire organique, minérale et organo-minérale, aide à caractériser les milieux beaucoup plus précisément. La télédétection offre des outils d'analyse des sols et des plantes pour diverses propriétés, depuis l'échelle du détecteur manuel jusqu'à celle du satellite. L'hétérogénéité des sols d'une parcelle de champ cultivé, d'un paysage, de couverts végétaux variés est une résultante de mécanismes et processus à différentes échelles que l'on peut mieux définir et faire entrer dans de nouveaux modes de gestions.

Les progrès des outils de traitement de données permettent l'analyse de vastes domaines multiparamétriques pour améliorer la compréhension des divers facteurs biotiques et abiotiques et par voie de conséquence le savoir. Citons par exemple la bio-informatique comme domaine récemment développé.

La modélisation mathématique, fondée également sur le développement des systèmes de traitement de données, permet l'extrapolation du savoir sur des échelles temporelles et spatiales qui ne seront jamais atteintes par les approches expérimentales. Elle permet en plus l'analyse des systèmes et la compréhension de leur fonctionnement, l'analyse et la hiérarchisation des éléments des diverses forces motrices (driver forces).

Ainsi avons-nous des possibilités tout à fait innovantes de comprendre la vie des sols et des systèmes sol-plante sous leurs aspects les plus microscopiques en intégrant, au moins une partie, des grandes interactions les concernant. Cette meilleure compréhension de la vie dans les sols pourrait alors être utilisée pour établir les bases d'une agriculture très raisonnée et soutiendrait l'intensification écologique. Si les

différents domaines des sciences du sol, la biologie, la microbiologie, la chimie, la physique, l'hydrologie, etc. participent à ces progrès et publient de nouvelles connaissances, malheureusement :

- Ces connaissances sont souvent publiées dans des revues spécialisées, sectorielles et qui n'ont pas toujours trait aux sols et ne reflètent pas un savoir relié spécifiquement aux sols ;
- Ces domaines de recherche ne communiquent entre eux que trop rarement et restent très disciplinaires, alors que les structures, processus et fonctionnements sont inter - dépendants.

Une nouvelle problématique de recherche.

La recherche vers un savoir intégré sur le fonctionnement des sols et en particulier leurs fonctionnements biologique sensu lato, impose une approche interdisciplinaire.

La compréhension et l'utilisation de la microbiologie des sols nécessitent :

- La connaissance des organismes et de leurs activités biochimiques associées à leur potentiel génétique, en effet la connaissance de l'existence d'un certain gène ne permet aucune conclusion sur son expression ;
- La connaissance de l'organisation des habitats de ces organismes car leurs paramètres structuraux déterminent la structure des communautés et l'activité des populations qui les composent ;
- La connaissance de l'environnement physico-chimique des habitats et des paramètres qui déterminent l'activité des organismes (hydrologie, chimie inorganique, chimie organique, et des variations de ces conditions pédoclimatiques en fonction des conditions météorologiques et des modes de gestion des sols.

Ce colloque intitulé :

« **Utilisation du potentiel biologique des sols, un atout pour la production agricole** » est proposé dans le but non pas de simplement faire un état des connaissances mais de montrer comment le développement de travaux interdisciplinaires et pluridisciplinaires dans le cadre de projets intégrés permettent de faire un pas vers une meilleure connaissance du fonctionnement réel des sols et de développer des applications à la gestion des systèmes sol-plante. Ce colloque, dans le cadre de l'année mondiale du sol, permettra de faire le point sur différents aspects de la compréhension du milieu de vie qu'est le sol, tout en reprenant quelques données de base pour définir les contours et paramètres du sol associés et associables à la production agricole dans des conditions écologiques. Il fera donc intervenir et travailler ensemble des microbiologistes, biologistes, chimistes, physiciens, modélisateurs, français et allemands, qui souligneront la nécessité de développer une véritable interdisciplinarité et pluridisciplinarité. L'organisation du colloque prévoit des plages larges de discussion.

Introduction au colloque

« UTILISATION DU POTENTIEL BIOLOGIQUE DES SOLS, UN ATOUT POUR LA PRODUCTION AGRICOLE »

Le 24 juin 2015

Mesdames et Messieurs,
Chers consœurs, chers confrères,

Au nom de l'Académie d'Agriculture de France, je suis heureux de vous accueillir pour ce colloque dédié au potentiel biologique des sols et à son importance pour l'agriculture.

Les sols ont toujours été au cœur de nos préoccupations et je voudrais citer les grands anciens qui ont marqué notre Académie et la pédologie française depuis les années 1950, comme Philippe Duchaufour, Stéphane Hénin, Georges Aubert, Jean Boulaine, Philippe Bonneau, ou qui sont encore parmi nous, comme Claude Cheverry, Marcel Jamagne et Georges Pédro, notre Secrétaire perpétuel honoraire, ici présent dans la salle et que je salue particulièrement.

En cette année internationale des sols, l'Académie en a fait un axe prioritaire de son programme de travail, mis en place un groupe de réflexions animé par notre confrère Christian Valentin, et consacré des séances publiques à des débats sur certains de ses aspects.

Les sols sont le support de la croissance des végétaux, et l'habitat de nombreuses espèces vivantes. Ils remplissent de nombreuses fonctions : recyclage de nos déchets, régulation du cycle de l'eau, etc. La préservation de la qualité des sols (physique, chimique, biologique) et de leur rôle dans le fonctionnement des agrosystèmes et des systèmes forestiers est donc un enjeu stratégique majeur. De même, la qualité des sols et l'utilisation des intrants ont des conséquences économiques en matière de production. En outre, on assiste à la disparition de surfaces importantes de sols agricoles du fait de l'étalement urbain. Par ailleurs, en France, c'est environ 20 % du territoire qui est sujet à une érosion. Il en résulte une perte considérable, souvent irréversible à l'échelle humaine, de sols productifs, alors même que l'on s'inquiète d'une forte augmentation de la population mondiale d'ici 2050, qu'il faudra s'efforcer de nourrir.

Chacun mesure l'importance du sol pour la production agricole, pour son rôle dans la qualité des eaux et pour l'esthétique des paysages ou encore pour la production forestière. C'est en particulier en le travaillant que l'on prend souvent conscience de ce qu'il est réellement. Sa structure, sa texture, sa porosité, sa richesse en éléments minéraux, la variété et la richesse de sa microfaune sont éminemment variables selon les conditions écologiques locales, mais aussi selon les usages qui en ont été faits et les traitements qu'on lui a fait subir.

Le colloque d'aujourd'hui est axé principalement sur le potentiel biologique des sols. La vie est au cœur de ce qu'est le sol lui-même et cela concerne tous ses aspects : par exemple les processus liés à sa formation, les cycles de développement des végétaux avec les phénomènes qui conduisent à la dégradation

de leurs résidus. Les agronomes savent que ces phénomènes sont essentiels pour contribuer à nourrir la plante ou pour servir de nourriture de base au développement de la faune du sol.

L'idée que dans le sol tout est interaction entre la partie vivante, le monde minéral et la partie du vivant en cours de dégradation est une réalité. Cette question apparaît centrale et justifie la tenue de ce colloque.

Nous devrions avoir aujourd'hui un panorama du fonctionnement biologique des sols et de son optimisation.

Nous voyons que nous sommes au cœur d'une des préoccupations essentielles de l'Académie qui est de produire plus et mieux pour nourrir la population, mais aussi de s'intéresser au cadre de vie et à l'impact environnemental des pratiques agricoles et forestières.

Dans ce contexte l'Académie mène actuellement une action afin de développer une coopération avec les académies de l'Union Européenne. Je voudrais souligner ici la présence de nos collègues allemands qui ont accepté de présenter un exposé lors de ce colloque. Nous espérons que cette venue constituera un premier pas pour une coopération fructueuse notamment avec l'Académie des Sciences Allemande Leopoldina, représentée ici par le professeur Rainer Matyssek, lui-même correspondant de notre compagnie.

Il ne faut pas oublier le rôle primordial qu'a joué Jean Charles Munch, membre titulaire de notre Académie, professeur à l'université de Munich, dans l'initiation de ce colloque, et qui est aussi au cœur du développement de la coopération avec l'Allemagne.

Aujourd'hui notre public est composé de professionnels venant de la plupart des régions de France.

Nous sommes heureux de voir que ce colloque a reçu le soutien du secteur coopératif avec une attitude volontariste par rapport à ces questions. Nous avons aussi le soutien de l'agrofourmure, avec notamment la participation des industriels du secteur, pour une nouvelle vision de la fertilisation. Sans oublier nos organismes de recherche, en soulignant le rôle qu'a joué l'Ademe, l'agence de maîtrise de l'énergie et de l'environnement pour son appui spécifique, ainsi que le ministère de l'agriculture qui nous accueille aujourd'hui dans ses locaux.

Ce colloque va être enregistré et les exposés du colloque pourront être accessibles sur le site internet de l'Académie.

Au nom de l'Académie, je veux remercier toutes les personnes qui ont contribué à sa mise sur pied: bien entendu les organisateurs, et en particulier Daniel Tessier, secrétaire de la section « Interactions milieux-êtres vivants », mais aussi notre Trésorier perpétuel Patrick Ollivier, Corinne Migné et Christine Ledoux du secrétariat de l'Académie, sans oublier ceux qui ont œuvré pour son organisation et son financement : Antonio Bispo et Sylvie Giraudet de l'Ademe, Jean-François Pinel et Lancelot Leroy de Terrena, Philippe Eveillard et Laurence Planquette de l'Unifa. Nous les remercions sincèrement.

Je vous souhaite une pleine réussite et des échanges particulièrement fructueux au cours de cette journée, dont j'espère qu'elle sera un jalon important dans l'année européenne des sols.

Le Secrétaire perpétuel de l'Académie d'agriculture de France

Gérard Tendron.

**UTILISATION DU POTENTIEL BIOLOGIQUE DES SOLS, UN ATOUT POUR
LA PRODUCTION AGRICOLE**

Jacques **Berthelin**¹, Jean Charles **Munch**², Ary **Bruand**³ et Daniel **Tessier**⁴

INTRODUCTION

par Jacques **Berthelin**

La vie est très active dans les sols grâce à ses communautés microbiennes, sa faune (micro-, méso-, macro -faune) et les racines des végétaux qui s'y développent. Les sols renferment 25 % de la biodiversité globale. S'y trouvent les principaux groupes de microorganismes : bactéries, *archaea*, champignons, algues, protozoaires (e. g. quelques millions à quelques milliards de bactéries par gramme de sol). La faune y est abondante et diversifiée avec dans divers types de sols jusqu'à 1000 espèces d'invertébrés par m². Elle comprend une microfaune (e. g. nématodes), une méso faune (e. g. acariens, collemboles, enchytréides), une macro et mégafaune (e. g. coléoptères, mollusques, oligochètes... rongeurs, etc.). Les plantes s'y ancrent pour croître, y trouver l'eau, les nutriments minéraux dont elles ont besoin et y réintroduire des matières organiques et des éléments minéraux nécessaires à la vie du sol.

C'est à la fin du 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle qu'émergent et se développent la biologie et encore plus la microbiologie des sols. La microbiologie du sol fut d'abord agronomique avec entre autres la découverte de l'origine des nitrates dans les sols et la nitrification bactérienne (Winogradsky, 1890), l'enrichissement en azote et la fixation bactérienne de l'azote atmosphérique, la décomposition microbienne des matières organiques, les associations symbiotiques racinaires (rhizobium et mycorhizes), la vie bactérienne autotrophe et hétérotrophe (« vie en milieu minéral vs .vie en milieu organique »). Sergéï Winogradsky (1856-1953), créateur du laboratoire de bactériologie des sols de l'Institut Pasteur en 1922 fut, avec Martinus Beijerinck (1851-1931), l'un des deux véritables inventeurs de la microbiologie des sols et de la microbiologie générale et des milieux naturels Au cours du 20^{ème} siècle avec l'acquisition de nouvelles techniques, méthodes et concepts, et l'utilisation des découvertes d'autres domaines scientifiques, (physique, chimie, biologie) se développèrent l'écologie microbienne et l'écologie du sol. Pour répondre à de nombreuses questions ces disciplines s'engagèrent très tôt dans de nombreuses voies d'applications qui débordent largement le fonctionnement des systèmes sols plantes. Ce sont les observations d'interactions entre organismes du sol qui ont conduit Waksman à son prix Nobel (1952) pour la découverte d'antibiotiques. L'application récente des avancées de la biologie moléculaire a ouvert et ouvre de nouveaux horizons pour découvrir les populations et communautés des organismes des sols. Pour aller plus loin et mieux définir les processus de fonctionnement des sols et les paramètres qui les contrôlent, il y a lieu de ne pas oublier des acquis considérés comme anciens et d'associer à ces avancées celles de la physique, chimie et biochimie : de véritables approches inter et pluridisciplinaires s'imposent.

Des questions majeures demandent des réponses : les sols peuvent ils assurer la sécurité alimentaire mondiale et contribuer à la stabilité climatique au milieu de ce siècle, en maintenant leurs fonctions fondamentales et essentielles de contrôle des cycles biogéochimiques et du cycle de l'eau, et de support des infrastructures et activités humaines ?

Pour y répondre nous avons maintenant des outils tout à fait innovants pour comprendre la vie des sols et le fonctionnement des systèmes sol- plante en intégrant, au moins une partie, des grandes interactions et des paramètres déterminant leurs modes de fonctionnement. Une meilleure compréhension de la vie dans les sols pourrait alors être utilisée pour établir les bases d'une agriculture très raisonnée et soutiendrait l'intensification écologique. En effet, si les différents domaines des sciences du sol, la biologie, la microbiologie, la chimie, la physique, l'hydrologie, etc. participent aux progrès des connaissances, mais bien souvent les acquis sont publiés dans des revues spécialisées, sectorielles, non reliées spécifiquement aux

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

³ Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France.

⁴ Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

sols. Par ailleurs ces domaines de recherche ne communiquent entre eux que trop rarement et restent très disciplinaires, alors que les structures, processus et fonctionnements des sols sont inter- dépendants.

De nouvelles approches de recherche, déjà 'en développement', devraient se concrétiser vers un savoir intégré sur le fonctionnement des sols et en particulier leur fonctionnement biologique sensu lato, qui impose des voies interdisciplinaires et pluridisciplinaires.

Ce colloque qui réunit des microbiologistes, des chimistes, des physiciens, des modélisateurs, allemands et français ne se veut pas exhaustif. Il propose un ensemble de présentations qui vise à montrer que la compréhension et l'utilisation de la biologie et en particulier de la microbiologie des sols, peuvent aboutir à une meilleure gestion des systèmes sols plantes et à une ingénierie écologique ou à une intensification écologique pertinente. Cela nécessite :

- La connaissance des organismes et de leurs activités biochimiques associées à leur potentiel génétique, en effet la connaissance de l'existence d'un certain gène ne permet pas de conclure sur son expression ;
- La connaissance de l'organisation des habitats de ces organismes car les paramètres structuraux des sols déterminent l'organisation des communautés et l'activité des populations qui les composent ;
- La connaissance de l'environnement physico-chimique des habitats et des paramètres qui définissent l'activité des organismes (hydrologie, chimie inorganique, chimie organique), et celle de l'impact des variations de ces conditions pédoclimatiques en fonction des paramètres météorologiques et des modes de gestion des sols.

Nous pouvons donc proposer d'améliorer la gestion des sols et des productions végétales et, le fonctionnement des cycles biogéochimiques, en utilisant et valorisant la richesse et la diversité biologique et biochimique des sols par des approches inter et pluridisciplinaires. Il en résulterait une meilleure connaissance et utilisation des sols «réacteurs biochimiques interactifs» «compartiments essentiels du fonctionnement des écosystèmes continentaux. Le développement de ces outils pourrait sans doute, rapidement, aider à améliorer le rendement et la qualité des productions agricoles dans les pays à faible pouvoir d'achat.

RICHESSSE MICROBIENNE DES SOLS : LES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES, UN TRÉSOR INESTIMABLE

par Jean Charles **Munch**¹ et Jacques **Berthelin**²

Les sols, des systèmes biologiques hautement régulés.

Les sols sont des systèmes biologiques holistiques de très haute organisation. Leur formation, donc la transformation d'un système minéral légèrement aqueux très compact en un système organisé à 50% d'espaces libres, avec ses agrégats et son réseau de pores, est un processus essentiellement biologique. Le système sol est fondé sur le fait que la matière organique primaire synthétisée par des organismes pionniers, puis par la végétation, est transformée par les micro-organismes, pas seulement pour leurs besoins énergétiques, mais pour partie en structures moléculaires très diverses et stables, la matière humique ou matière organique des sols. Celle-ci cimente les produits de transformation et dégradation des minéraux en structures poreuses hétérogènes stables qui assurent un fort pouvoir tampon chimique. Les organismes des sols élaborent donc eux-mêmes leur milieu de vie, le stabilisent, l'entretiennent par la transformation continue des matières organiques des sols.

Ce milieu de vie très hétérogène, très complexe, constitue un assemblage de milieux de vie, peuplé de communautés complexes d'organismes de toutes tailles et aux multiples fonctions. Ainsi, la biodiversité des sols est la plus vaste et la plus riche de tous les écosystèmes naturels.

Pourquoi cette hétérogénéité d'habitats et cette richesse génétique? Un luxe?

Et comment est-elle régulée dans un système déficitaire en énergie pour l'ensemble de ces organismes ?

Les sols, des biosystèmes adaptés

Les sols sont des bioréacteurs à conditions variables. Ils subissent les saisons, avec des époques de croissance végétale accompagnées d'épuisement de l'eau, avec les entrées discontinues de composés organiques énergétiques. Ils subissent les variations météorologiques à courte échelle qui provoquent des saturations en eaux rapides, des gelées avec une solution de sol très concentrée. Ils subissent des modes d'occupation avec des pratiques culturales variées, mais ils fonctionnent toujours. Ceci est dû à l'hétérogénéité des habitats poreux et des surfaces colonisées, qui permettent l'établissement de communautés biotiques variées et denses.

Effet, nous comptons dans 1 gramme de sol agricole plus de 1 milliard de cellules bactériennes et jusqu'à 100.000 espèces. S'y ajoutent les autres microorganismes (champignons, protozoaires), la méso et microfaune. Comment le sol peut-il les nourrir ? Le sol « élimine de la vie active » les microorganismes dont l'activité instantanée n'est pas nécessaire ou pas sollicitée : il les « met » en dormance, par des mécanismes pas ou mal établis mais peut les réactiver très rapidement. C'est son mode d'utilisation optimale de l'énergie et de son potentiel génétique. Un système holistique !

Il est donc clair qu'une approche de l'étude des microorganismes des sols ne peut être celle de souches bactériennes isolées, mais celle de communautés de souches qui dans leurs conditions de milieu, forment un ensemble actif.

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Soil Ecology, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH) , D-85764 Neuherberg.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

Pourquoi notre état de connaissances des communautés microbiennes est-il réduit ?

L'étude classique en microbiologie est celle des souches en culture. Elle ne fonctionne que de façon très limitée pour les sols pour diverses raisons :

- le milieu de vie dans les pores des sols est très peu connu, (qualité des substrats énergétiques, conditions redox...), encore moins reproductible en laboratoire.
- la durée de génération moyenne et de croissance des cellules est souvent très longue, jusqu'à des journées, des semaines, des mois et non pas des minutes comme en fermenteurs industriels ou en pathologie.
- les microorganismes des sols vivent en communautés complexes qui réalisent ensemble une fonction. Ces communautés ne nous sont connues que pour quelques rares exemples et nous découvrons actuellement leur système de communication chimique.

Notre système de connaissances à développer pour utiliser ces organismes

L'approche méthodologique actuelle disponible seulement depuis quelques décennies est fondée sur l'analyse de molécules typiques des organismes, extraites directement du sol, comme des gènes connus d'organismes, ou de l'ensemble du génome des sols (métagénome), dont le décryptage est en cours, ou comme des molécules typiques de bactéries, de champignons.

Elle nous permet une définition plus complète du microbiome des sols, actuellement surtout descriptive. Le couplage avec l'analyse des caractéristiques des sols doit s'y ajouter pour une compréhension et une modélisation véritable. Elle est devenue possible, à toutes les échelles, du moléculaire et micrométrique à celles du champ sinon du paysage.

Vers l'utilisation du potentiel génétique microbien à développer en urgence,

Avec ces connaissances actuelles et leur amélioration sur les modes de régulation, sur les forces « directives » des fonctions et du support des espèces et communautés, le potentiel microbien, devrait être utilisé pour soutenir et contrôler de nombreuses fonctions, dont :

- la disponibilité d'éléments nutritifs pour les cultures,
- la stabilité (physique - chimique) des sols,
- le contrôle de souches phyto-pathogènes,
- la dégradation de contaminants.

Les résultats s'appliqueront à la réduction des intrants chimiques dont de nombreux effets secondaires ne sont pas toujours connus (exemple : émergences de *Clostridium botulinum* dans les sols traités au glyphosate et danger de botulisme chez des agriculteurs), et à la conservation des sols par une meilleure maîtrise de la dynamique de la matière organique.

Un résultat global portera sur la possibilité d'améliorer les rendements et la qualité des productions dans des pays à pouvoir d'achat faible par le développement de ces outils.

Conclusion :

La possibilité d'utilisation des sols, fondée sur une meilleure utilisation de leurs ressources biologiques, qui les préservent et réduit les intrants et les coûts, devrait se développer avec urgence, car des moyens analytiques sont devenus disponibles.

La base de ce développement repose sur une analyse écosystémique intégrant des approches physiques, chimiques, biologiques, microbiologiques des modes de fonctionnement des sols, et par l'utilisation de modélisations mathématiques qui vérifient les hypothèses et permettent des extrapolations spatiales et temporelles.

LE SOL HABITAT BIOLOGIQUE : ENVIRONNEMENT PHYSICO-CHIMIQUE ET CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT DES DIFFÉRENTS ORGANISMES PRÉSENTS DANS LE SOL

par Ary **Bruand**¹ et Daniel **Tessier**²

Le sol, composant essentiel de la biosphère, est issu d'une longue évolution dont l'activité biologique, sous ses nombreuses formes, est le moteur principal. De ce fait, le sol contient des constituants minéraux (caractérisés par leur composition chimique, taille et cristallinité) auxquels s'ajoutent des constituants organiques appartenant au vivant ou provenant de leur décomposition partielle, mais aussi résultant de sécrétions (caractérisés par leur composition chimique et structure moléculaire). Si la composition du sol est importante pour en déterminer les propriétés, c'est aussi et principalement le mode d'assemblage de l'ensemble de ses constituants, c'est-à-dire sa structure et la géométrie des pores qui en résulte qui déterminent les caractéristiques des différents habitats pour les êtres vivants et leurs conditions de vie. En réalité cette organisation spécifique du sol résulte d'interactions complexes entre les constituants du sol et les êtres vivants, en particulier les phases liquide et gazeuse qui occupent l'espace poral ou porosité du sol.

En plus des êtres vivants, animaux et végétaux, le sol a ceci de singulier qu'il est composé de particules de différentes tailles, organiques et minérales. Une de leurs caractéristiques principales est de développer une surface exposée aux fluides et aux êtres vivants très variable, d'autant plus grande que leur taille est plus petite. Cela concerne aussi bien les constituants minéraux que les constituants organiques. Une partie de la réserve en éléments minéraux indispensables à la vie se trouve dans les minéraux et dans les matières organiques. Pour êtres biodisponibles, ces éléments doivent être partiellement dissous/détruits par la rhizosphère ou par le règne animal. Une autre propriété essentielle des constituants est de posséder une charge électrique superficielle dont les caractéristiques varient en fonction notamment du pH. Les éléments indispensables pour les êtres vivants peuvent ainsi être retenus transitoirement sur des charges négatives des argiles et des matières organiques pour les cations comme K^+ , Ca^{++} ou Mg^{++} , ou retenus sous d'autres formes comme P et la plupart des éléments en traces indispensables. La variation de la charge électrique superficielle jusqu'à son annulation est à l'origine de propriétés hydrophiles jusqu'à hydrophobes pour les matières organiques et que l'on observe notamment pour les substrats horticoles, mais pas seulement.

Dans un milieu doté de charges superficielles avec des constituants de différentes tailles une des caractéristiques essentielles concerne son organisation, « sa structure », c'est-à-dire l'arrangement des constituants dans l'espace. La structure (i.e. le sol dans un état structural donné) détermine la capacité du sol à faire circuler les phases liquide et gazeuse, et par conséquent les conditions physico-chimiques au contact desquelles les êtres vivants du sol ont accès aux constituants organiques, ressource pour l'activité des divers micro-organismes. En considérant l'organisation verticale du sol en horizons chaque horizon apparaît généralement sous la forme de structures emboîtées à trois niveaux: (i) un premier qui est directement lié à l'assemblage des constituants élémentaires notamment les plus fins entre eux (argiles, matières organiques, oxydes), (ii) un deuxième qui est lui lié à l'assemblage des constituants élémentaires de grandes taille comme les sables ou limons d'une part avec d'autre part les assemblages des constituants fins précédents : argiles, oxy-hydroxydes métalliques et macromolécules organiques, (iii) et enfin un troisième qui résulte de l'action d'acteurs comme la macrofaune du sol (lombriciens, insectes, etc.), le système racinaire des plantes ou

¹ Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, CNRS/Université d'Orléans/BRGM, Université d'Orléans, 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 2.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA, Directeur de l'unité de Science du sol de Versailles.

encore le climat par les conséquences des cycles d'humectation – dessiccation et le réseau de fissures qui en résulte. Chacun de ces niveaux d'assemblage délimite des vides (ou pores) dont les caractéristiques géométriques et le comportement vis-à-vis de l'eau du sol (de la solution par extension) et de la phase gazeuse vont être très différents. Un des points importants concerne la pérennité de ces structures dans le temps, lesquelles sont particulièrement sensibles à des actions externes comme le tassement ou l'absence de macrofaune provoquant à terme la disparition de certains niveaux d'organisation dont le rôle est indispensable au fonctionnement biologique du sol. On peut ainsi expliquer, au travers de l'absence de rotations ou de la non-restitution des résidus organiques, les effets négatifs de pratiques sur le moyen terme.

Les vides résultant de l'assemblage des constituants élémentaires constituent des sites/lieux où l'eau demeure présente et assure la cohésion du sol en particulier lorsque le sol subit une dessiccation poussée. L'humidité relative dans les vides occupés par l'air à proximité de ces pores encore occupés par de l'eau y sera beaucoup plus élevée qu'à l'extérieur du sol, maintenant ainsi des conditions raisonnablement favorables à l'activité des micro-organismes du sol. Une telle fonction des vides les plus fins sera évidemment plus développée dans un sol argileux que dans un sol sableux, la taille des constituants minéraux élémentaires conduisant dans ce dernier à des vides plus grands et par conséquent moins aptes physiquement à retenir l'eau lorsque le sol subit une dessiccation poussée.

Les vides qui résultent de l'assemblage des particules grossières (sables et limons encore appelé « squelette ») avec la fraction fine (argiles et matières organiques) peuvent résulter de l'insuffisance de fraction fine pour occuper l'espace lié à l'assemblage des grains de la fraction/phase grossière. Cette façon d'envisager le deuxième niveau d'assemblage, et ses conséquences pour la géométrie des vides permet de rendre compte de ce que l'on observe dans le sol à cette échelle. Ces vides apparaissent comme des lacunes de remplissage dont l'importance volumique ainsi que la connectivité sont liées aux proportions relatives de phases « grossière » et « fine » et constituent le réservoir qui contient l'eau disponible pour l'activité biologique, en particulier l'alimentation en eau des plantes. C'est à ce niveau d'assemblage qu'est principalement liée la réserve en « eau utile » du sol.

Les vides qui résultent de l'action de la macrofaune, de l'action des racines, du travail du sol par l'Homme (en particulier dans les premiers décimètres lorsque le sol est cultivé) ou encore de l'action du climat, permettent d'assurer le transfert rapide de l'eau, et donc de la solution du sol, ainsi que des gaz dès lors que ces pores ne sont plus occupés par la phase liquide. Ces vides, dont les caractéristiques déterminent en grande partie la « structure » macroscopique du sol, observable à l'œil, sont fréquemment nommés « vides structuraux ». C'est ce niveau d'organisation du sol qui est essentiel pour assurer les propriétés de transfert d'eau et de gaz, en favorisant l'infiltration et limitant par exemple le ruissellement et de ce fait les conditions érosives. Ce niveau d'organisation est critique pour l'apport d'oxygène en profondeur dans le sol ainsi que l'élimination des gaz produit par le métabolisme des êtres vivants, le CO₂ en particulier mais aussi des gaz résultant du cycle de l'azote comme le N₂O.

Cette approche du sol en tant qu'habitat pour l'activité biologique, aussi pertinente soit-elle, a ses limites. Elle ne rend pas compte du caractère éminemment dynamique des niveaux d'assemblages décrits. Les caractéristiques des vides structuraux sont étroitement liées à l'usage du sol en se référant plus précisément aux pratiques telles que le travail/non travail du sol, les rotations, les restitutions notamment des résidus végétaux, et en considérant l'impact des pressions exercées par les engins conjugué au contexte climatique. Appréhender le fonctionnement du sol nécessite donc de prendre en compte le milieu dans toutes ses dimensions et en considérant chaque facteur, dans une perspective dynamique et sur le moyen terme pour optimiser le potentiel biologique des sols et la production agricole.

IMPACT DE LA FAUNE SUR LES FONCTIONS DES SOLS ET LEURS APPLICATIONS DANS LES SYSTÈMES SOL-PLANTE

par M. Hedde¹, T. Decaëns², M. Blouin³, Y. Capowiez⁴, E. Garnier², S. Joimel⁵, G. Peres⁶,
M. Zwicke¹, P. Jouquet⁷, E. Blanchart⁸

Les organismes des sols sont impliqués dans de nombreuses fonctions écologiques utiles pour l'approvisionnement des services écosystémiques clés pour l'agriculture. Ainsi, la stabilité structurale des agrégats des sols, qui participe au contrôle de l'érosion hydrique ou encore à la résistance au tassement, est le résultat complexe des activités de la faune, des microorganismes, des racines qui structurent les sols, et de l'accumulation de matière organique, le tout en interaction avec des propriétés physico-chimiques intrinsèques des sols et le climat. En étroite relation avec leurs impacts sur la stabilité structurale des sols, les organismes des sols (incluant les racines) influencent la régulation du cycle de l'eau par la création de porosités et d'agrégats, à différentes échelles d'organisation. Cet impact va jouer tant sur les processus hydriques (infiltration, rétention) que sur la qualité de l'eau par l'adsorption et la dégradation par exemple de certains pesticides. Autre service impacté, la fertilité des sols est influencée par un ensemble de processus biotiques pouvant augmenter ou diminuer la disponibilité des nutriments pour la croissance des plantes : enfouissement et fragmentation des matières organiques végétales (litières) ou animales (fèces), décomposition et minéralisation de la matière organique, processus de transformations élémentaires et de solubilisation, boucles de rétroaction entre prélèvements par les plantes et mises à disposition par la faune, boucle microbienne. On peut aussi citer le contrôle biologique des bioagresseurs (insectes, champignons, ...) ou des adventices car les cultures s'avèrent être très sensibles aux effets des cascades trophiques. En effet, après allègement ou disparition de la prédation exercée par les zoophages sur les phytophages, par exemple, les dommages aux plantes sont significativement et nettement plus élevés. Bien que les diverses composantes de la diversité, i.e. richesse spécifique, abondance des espèces soient importantes pour expliquer cette relation, l'identité même des espèces joue un rôle prépondérant. De nombreux travaux ont aussi démontré l'importance des associations de groupes fonctionnels sur de nombreux processus (par exemple, dégradation/décomposition des matières organiques ou régulation biologique).

De surcroît, il ne faut pas oublier que les organismes des sols affectent ces services écosystémiques de manières multiples et complexes. Le sol est aussi un réservoir d'organismes dont l'impact peut être négatif sur les plantes. L'effet de ces organismes est d'autant plus difficile à appréhender qu'il met en œuvre un vaste nombre de groupes taxinomiques en interactions ou non. Ces interactions peuvent être de type "bottom-up" (contrôle ascendant) avec par exemple une régulation des communautés épigées/hypergées par les animaux souterrains (vers de terre, collemboles, protozoaires). La seconde voie correspond à un renforcement du contrôle descendant de type "top-down", potentiellement important pour aider au contrôle des ravageurs des cultures par les auxiliaires (par exemple, les carabiques).

Contrairement à la végétation, il est très difficile d'agir directement sur la composition des communautés d'organismes du sol et les inoculations restent encore très compliquées à mettre en œuvre. Les

¹ INRA-UMR1402 EcoSys, 78026 Versailles Cedex.

² CNRS- UMR CEFE, 34293 Montpellier.

³ Univ. Créteil-UMR IEES, 94010 Créteil.

⁴ INRA- UR1115 PSH, 84914Avignon cedex 9.

⁵ INRA-UL-UMR1120 LSE, 54518 Vandœuvre-lès-Nancy.

⁶ UMR SAS- AgroCampus Ouest, 35042 Rennes Cedex.

⁷ IRD-UMR IEES, 93143 Bondy cedex.

⁸ IRD-UMR 210 Eco&Sols, 34060 Montpellier cedex 2

méthodes d'action pour favoriser les activités de la faune des sols qui sous-tendent les services écosystémiques sont donc principalement indirectes. Favoriser ces services écosystémiques rendus par la faune du sol demande de piloter l'abondance et la diversité fonctionnelle des différents groupes taxonomiques ou fonctionnels impliqués dans les différents processus listés plus haut. A l'échelle de la parcelle, le travail du sol, sa couverture par des végétaux vivants (couverts d'inter-culture) ou morts (mulch), les rotations et l'apport de matière organique, ainsi que la réduction de l'utilisation des pesticides sont essentiels pour optimiser la présence et l'abondance de ces différents groupes d'organismes. Aux échelles spatiales supérieures, il est également nécessaire d'éviter l'homogénéité des systèmes de culture dans le temps et dans l'espace pour maintenir la diversité des communautés d'organismes du sol et leurs effets sur l'approvisionnement des services écosystémiques.

LES ASSOCIATIONS MYCORHIZIENNES DANS LES SOLS, POUR UNE MEILLEURE MAITRISE DE LA PRODUCTION VÉGÉTALE

par Robin Duponnois^{1,2}, H. Sanguin³, E. Baudoin¹, M. Lebrun⁴ et Y. Prin³

La symbiose mycorhizienne, association à bénéfices réciproques entre certains types de champignons et les racines des végétaux, joue un rôle majeur au sein des processus biologiques régissant la fertilité des sols et l'évolution spatio-temporelle des formations végétales terrestres (diversité, productivité, résilience). La gestion et la valorisation de la symbiose fongique revêtent une importance toute particulière dans les sols dégradés (carences minérales, déficit hydrique, etc.). Dans ce contexte, le développement de l'agroécologie, approche systémique de l'exploitation agricole, est devenu prioritaire. Cette approche combinée à une ingénierie écologique fondée sur les interactions symbiotiques constitue donc une stratégie de choix pour améliorer les performances des interventions humaines visant à préserver la biodiversité des écosystèmes végétaux terrestres. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de décrire la structure des communautés de symbiotes fongiques et également leur évolution au sein de l'agro-écosystème en fonction de différents contextes d'anthropisation et de diversité végétale, afin d'identifier les facteurs majeurs contrôlant ces communautés et ainsi mieux comprendre les règles de fonctionnement. Cette première étape permettra de statuer sur le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) des sols qui représente l'abondance et la diversité des propagules fongiques mycorhiziennes dans le sol. Dans un second temps et afin de permettre la pleine expression de la symbiose mycorhizienne sur la productivité et la stabilité du couvert végétal, des techniques culturales peuvent être mises en œuvre dans le cas où l'état de dégradation du sol a entraîné des perturbations importantes sur les caractéristiques des communautés de champignons mycorhiziens. En fonction de l'état de dégradation de la structure des communautés de symbiotes mycorhiziens (diversité et/ou abondance), deux stratégies peuvent être envisagées. L'approche « *holistique* » s'impose lorsque le niveau du PIM est encore assez élevé pour être redynamisé *via* la gestion du couvert végétal en y introduisant diverses plantes hautement mycotrophes (Ex : légumineuses). L'approche « *réductionniste* » en revanche est choisie lorsque le PIM est fortement altéré aboutissant à une raréfaction des propagules fongiques. Il est alors nécessaire de réintroduire en masse des propagules mycorhiziennes en inoculant généralement une souche fongique préalablement sélectionnée (mycorhization contrôlée) pour un paramètre donné (Ex : effet de la souche sur la croissance d'une plante ciblée). Quelle que soit l'approche retenue, l'amélioration du PIM est accompagnée par de profondes modifications des caractéristiques microbiologiques du sol au niveau de la diversité fonctionnelle et génétique de la microflore (effet mycorhizosphérique). Nos résultats expérimentaux montrent l'importance de la composante mycorhizienne dans le cadre d'une agriculture durable ainsi que la nécessité de prendre en compte cette catégorie de microorganismes dans la conception d'itinéraires culturaux innovants et respectueux de l'environnement intégrant les interactions bénéfiques plantes / microorganismes. La pertinence de cet outil biologique dans l'optimisation des pratiques agroécologiques sera discutée en se référant à de nombreuses études réalisées *in situ* dans des milieux particulièrement fragilisés (Ex : milieu méditerranéen) et où il a été montré que la gestion de la symbiose mycorhizienne améliorerait significativement la productivité des agro-écosystèmes.

¹ IRD. Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes-UMR 113, Campus CIRAD de Baillarguet, TA-A 82/J, 34398 Montpellier cedex 5, France.

² Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD). Agropolis International. 1000 Avenue Agropolis. 34394 Montpellier Cedex 5, France.

³ CIRAD. Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes-UMR 113, Campus CIRAD de Baillarguet, TA-A 82/J, 34398 Montpellier cedex 5, France.

⁴ Université Montpellier. Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes-UMR 113, Campus CIRAD de Baillarguet, TA-A 82/J, 34398 Montpellier cedex 5, France

LES ASSOCIATIONS RHIZOSPHERIQUES BACTERIENNES SYMBIOTIQUES ET/OU NON-SYMBIOTIQUES ET EXEMPLE D'IMPACT SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION VÉGÉTALE

par Laurent Legendre¹

La maîtrise de la nutrition minérale du végétal, l'usage de substances organiques de synthèse pour la protection phytosanitaire, la mécanisation et la sélection variétale sont autant d'éléments ayant permis des gains impressionnants des rendements agricoles ces dernières décennies. Cependant, La raréfaction des éléments minéraux et organiques fossiles, la nécessité de diminuer l'impact écologique de l'agriculture et les évolutions climatiques récentes forcent à remettre en cause le modèle agronomique actuel et à développer des méthodes alternatives. En ce sens, l'usage des interactions entre végétaux et bactéries rhizosphériques stimulatrices de croissance représente une alternative attrayante.

La zone de sol sous influence des racines des plantes, appelée rhizosphère, constitue une zone d'interfaces multiples extrêmement dynamique et cruciale pour la productivité végétale [1]. C'est en effet là que les racines trouvent les minéraux, l'eau et l'oxygénation dont elles ont besoin pour nourrir la croissance végétale. Mais c'est également là que la plante entre en contact avec un microbiote tellurique riche et diversifié adapté aux conditions physicochimiques locales. De complexes et lents processus évolutifs ont façonné cette interaction en faveur aussi bien des plantes que des microorganismes, permettant ainsi aux végétaux de tirer un meilleur parti des ressources de leur milieu.

Les connaissances récentes soulignent la complexité des relations plante-microbiote rhizosphérique. Les racines exsudent en effet une grande quantité de substances organiques carbonées et azotées qui favorisent la croissance microbienne, et donc leur densité [2]. Dans le cas de certains couples plantes-microorganismes, des signaux chimiques spécifiques sont également échangés pour permettre aux protagonistes d'entrer dans une relation étroite de partenariat à bénéfice réciproque [3]. Les analyses moléculaires récentes ont cependant montré que différents végétaux ne recrutent pas les mêmes communautés de microorganismes [4], les communautés recrutées étant d'autant plus distantes génétiquement que les plantes qui les recrutent le sont elles-aussi [5]. Les critères de recrutement apparaissent de plus modulables par la température, et la teneur en eau du sol [6]. Ils trouvent cependant une limite car ils dépendent de la microflore localement présente. Un exemple est celui des sols dits 'résistants' car ils contiennent des microorganismes possédant la capacité de sécréter des substances capables de protéger les plantes qui les recrutent de diverses maladies [7].

Parmi les microorganismes recrutés dans la rhizosphère des végétaux, se trouvent de nombreux genres bactériens stimulateurs de croissance (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, PGPR) [8]. Si certains nécessitent la création de nodosités sur la racine pour établir une relation symbiotique efficace, la majorité vit en équilibre entre la surface, ou cortex, de la racine et le sol dans une relation associative à bénéfice réciproque [8]. Ils ont des actions aussi diverses sur le végétal que l'aide à l'établissement des mycorhizes, la protection contre les microorganismes pathogènes, la tolérance aux stress abiotiques (sécheresse et froid par exemple) et la nutrition hydrique et minérale [9]. Ces actions sont possibles grâce à la production de nombreuses substances antimicrobiennes ou capables de moduler la balance hormonale de la plante [10]. Toutes ces substances vont non-seulement améliorer la réponse locale et systémique de la plante aux stress mais elles vont augmenter la surface active du système racinaire pour en augmenter la capacité de recherche d'eau et de minéraux. Certaines espèces de PGPRs ont de plus la capacité de solubiliser le phosphore des sols et de fixer l'azote atmosphérique pour le rendre accessible à leur hôte végétal même si cette dernière capacité est variable entre genres bactériens et son rôle dans l'augmentation de croissance végétale controversé [11].

¹ CNRS/Université Lyon1, UMR 5557 Laboratoire d'Ecologie Microbienne, Équipe Rhizosphère, 43 Bd du 11 Nov. 1918, 69622 Villeurbanne Cedex, France.

Le pelliculage de bactéries PGPR sur graines ouvre donc une voie prometteuse d'ingénierie agro-écologique pour augmenter la tolérance au stress des végétaux cultivés tout en diminuant la fertilisation minérale. L'exemple le plus abouti est celui des Rhizobiacées. Mais le faible nombre d'espèces végétales hôtes (légumineuses) en limite les applications agronomiques. Parmi les autres genres bactériens, *Azospirillum* a reçu une attention particulière [11]. De nombreux essais agronomiques dans différents pays ont démontré son innocuité et sa capacité à augmenter les rendements agronomiques des principales céréales d'environ 10% [12]. Mais son usage à l'échelle industrielle nécessite encore la levée de nombreux verrous. Les efforts en la matière du projet AZODURE (ANR-12-AGRO-0008) [13] seront présentés afin de servir de base de discussion. Ils portent sur l'amélioration de la formulation du pelliculage bactérien, l'évaluation économique à l'échelle d'un territoire, le positionnement par rapport aux droits français et européen, l'impact systémique sur la physiologie du végétal en relation avec sa génétique et son sol, l'impact au niveau du microbiote tellurique non-associatif impliqué dans les cycles biogéochimiques de l'azote et du carbone et l'impact plus global au niveau des paramètres physiques du sol de la parcelle et lors d'un usage répété.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) WATT *et al.*, 2006. – Rhizosphere biology and crop productivity - a review. *Australian Journal of Soil Research*. **44**, 299–317.
- (2) SHUKLA *et al.*, 2011. – Nature and role of root exudates : efficacy in bioremediation. *African Journal of Biotechnology*. **10**, 9717–9724.
- (3) DROGUE *et al.*, 2013. – Control of the cooperation between plant growth-promoting rhizobacteria and crops by rhizosphere signals. In Vol. 1 and 2, *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, ed. F.J. de Bruijn (NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.), 281–294 *
- (4) BULGARELLI *et al.*, 2013. – Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review in Plant Biology*. **64**, 807–838.
- (5) BOUFFAUD *et al.*, 2014. – Root microbiome relates to plant evolution in maize and other *Poaceae*. *Environmental microbiology*. **16**, 2804–2814 *
- (6) BERG et SMALLA, 2009. – Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology and Ecology*. **68**, 1–13
- (7) ALMARIO *et al.*, 2014. – Rhizosphere ecology and phytoprotection in soils naturally suppressive to *Thielaviopsis* black root rot of tobacco. *Environmental Microbiology*. **16**, 1949–1960 *
- (8) Drogue *et al.*, 2012. – Which specificity in cooperation between phytostimulating rhizobacteria and plants? *Research in Microbiology*. **163**, 500–510 *
- (9) BASHAN et de-BASHAN, 2010. – How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. *Advances in Agronomy*. **108**, 77– 136
- (10) VACHERON *et al.*, 2014. – Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in Plant sciences*. Vol **4**, Art 356 *
- (11) BASHAN *et al.*, 2004. – *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997–2003). *Canadian Journal of Microbiology*. **50**, 521–577
- (12) STAVROS *et al.*, 2010. – Impact of inoculation with *Azospirillum* spp. on growth properties and seed yield of wheat: a meta-analysis of studies in the ISI Web of Science from 1981 to 2008. *Plant Soil*. **337**, 469–480.
- (13) Participants AZODURE : Y. MOËNNE-LOCCOZ, C. PRIGENT-COMBARET, F. WISNIEWSKI-DYÉ, G. COMTE, D. MULLER, X. LE ROUX, T. POMMIER, S. CZARNES (CNRS/UCBL1 UMR 5557, Lyon), D. LEMOINE (CNRS/UCBL1, UMR 5023, Lyon), C. DOUSSAN, S. RUY, A. BERARD (INRA/UAPV UMR 1114, Avignon), E. PAJOT (Agrauxine SA, Groupe Lesaffre), P. BILLET (Lyon 3, IDE, Lyon), P.A. JAYET (INRA/AgroParis Tech, UMR 0210, Versailles-Grignon), P. LAFLEURIEL (La Dauphinoise), A. SOLERTI, O. DURANT (CA 38, Paturin).

* From our team.

**FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS ET IMPORTANCE DE L'ÉTAT
STRUCTURAL : EXEMPLE ENTRE AUTRES AVEC L'ÉMISSION DE PROTOXYDE
D'AZOTE**

par I. Cousin¹, E. Rabot^{2,1}, S. Schlüter³, M. Lacoste¹,
M. Seger¹, C. Hénault¹, C. Doussan⁴, H.J. Vogel³

Le sol présente une structure très hétérogène, qui varie fortement dans l'espace et évolue dans le temps selon les pressions qu'il subit. La distribution des zones compactées et non compactées dans l'horizon de labour, la présence de croûtes de battance en surface du sol, l'organisation du réseau de galeries biologiques, la dynamique de fissures d'humectation-dessiccation évoluent constamment sous l'effet du climat, de l'activité biologique et des actions humaines. La dynamique de cette structure modifie en permanence la façon dont les fluides liquides et gazeux y circulent, et donc les conditions de vie des êtres vivants, animaux ou végétaux. Nous présenterons quelques outils novateurs de caractérisation de la structure du réseau poreux - tomographie/microtomographie à rayons X, imagerie neutronique, outils de la géophysique – et nous analyserons leur potentiel à décrire la dynamique de la structure du sol. A l'aide de quelques exemples, nous montrerons de quelle façon l'organisation géométrique fine du réseau poreux influence le fonctionnement biologique ou microbiologique du sol et, réciproquement, comment l'activité biologique fait évoluer la structure du sol et son fonctionnement physique ; nous décrirons notamment l'influence de la dynamique de l'enracinement sur les transferts hydriques dans les sols et le déterminisme physique des processus d'émission de N₂O par les sols. Ces exemples nous permettront d'illustrer les difficultés théoriques et expérimentales liées à la compréhension de processus microbiologiques fins dont l'expression est quantifiée par des outils macroscopiques, et à la résilience de fonctionnement du sol. Ces problématiques liées à la question des interactions entre fonctionnement physique et fonctionnement biologique est plus que jamais d'actualité dans le contexte actuel de mise en œuvre de principes agroécologiques, où les nouveaux modes de gestion agricole devront s'appuyer plus sûrement sur les régulations biologiques.

¹ INRA, UR0272 SOLS, 2163 Avenue de la Pomme de Pin, CS40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, France

² CEA, Laboratoire Léon Brillouin, UMR12 CEA-CNRS, Bât. 563 CEA Saclay, F-91191 Gif sur Yvette Cedex, France

³ Department Bodenphysik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Theodor-Lieser-Strasse 4, D-06120 Halle, Allemagne

⁴ INRA, UMR 1114 EMMAH INRA – UAPV, 228 route de l'Aérodrome, Domaine Saint Paul - Site Agroparc, CS 40509, F-84914 Avignon Cedex 9, France

MODELLING SOIL-PLANT SYSTEMS

Eckart Priesack¹

Soil models have an important role to quantify and predict soil processes such as soil water flow, solute transport including biogeochemical turnover of soil carbon and nitrogen and soil structural processes. In view of the expected global changes which are driven by climatic change and the needs of a rapid growing human population, soils will be strongly affected and at the same time will play a key role of increasing importance to establish a sustainable bio-economy. This includes their role in mitigation and adaptation to climatic change, in protecting water resources, in preserving biodiversity and ecological functionality, and in limiting desertification. In contrast to the important functions of soil, still fundamental knowledge gaps exist regarding the structure and dynamics of soil biota communities and their interaction with soil hydrological, soil bio-geochemical and soil structural processes.

To address these knowledge gaps and also the expected stronger and more dynamic impacts on soils, new models based on whole systems approaches are needed to quantify the complex interactions of physical, chemical and biological processes in soils. A first step towards this goal is to conceive soil-plant models, which are based on common principles concerning process descriptions of water flow and solute transport in soils, plants and between soil and plants and associated (micro-) organisms. Examples are presented how water flow and solute transport in the soil-plant continuum can be simulated based on a common porous media approach for soils and plants, how feedbacks between soil and plants can be described as emergent system properties and how knowledge gaps can be identified in particular under conditions of water shortage and nutrient deficiency. It is concluded that the consideration of the soil-plant system as a whole will be an important step forward to improve the understanding and the prediction of soil processes. This will also improve the dynamical representation of terrestrial ecosystems and hence land surface systems including their interaction with the atmosphere.

REFERENCES

- (1) Bittner S., Legner N., Beese F., Priesack E., 2012. – Individual tree branch-level simulation of light attenuation and water flow of three *F. sylvatica* L. trees. *Journal of Geophysical Research* **117**, G1, G01037.
- (2) Bittner S., Janott M., Ritter D., Köcher P., Beese F., Priesack E., 2012. – Functional-structural water flow model reveals differences between diffuse- and ring-porous tree species. *Agricultural and Forest Meteorology* **158-159**, 80-89.
- (3) Bittner S., Talkner U., Krämer I., Beese F., Hölscher D., Priesack E., 2010. – Modeling stand water budgets of mixed temperate broad-leaved forest stands by considering variations in species specific drought response. *Agricultural and Forest Meteorology* **150**, 1347-1357
- (4) Gayler S., Ingwersen J., Priesack E., Wöhling T., Wulfmeyer V., Streck T., 2013. – Assessing the relevance of subsurface processes for the simulation of evapo-transpiration and soil moisture dynamics with CLM3.5: comparison with field data and crop model simulations. *Environmental Earth Sciences* **69**, 415-427.

¹ Helmholtz Zentrum München, German Research Centre for Environmental Health, Institute of Biochemical Plant Pathology, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Oberschleißheim, Germany

- (5) Hentschel R., Bittner S., Janott M., Biernath C., Holst J., Ferrio J.P., Gessler A., Priesack E., 2013. – Simulation of stand transpiration based on a xylem water flow model for individual trees. *Agricultural and Forest Meteorology* **182-183**, 31-42
- (6) Janott M., Gayler S., Gessler A., Javaux M., Klier C., Priesack E., 2011. – A one-dimensional model of water flow in soil-plant systems based on plant architecture. *Plant and Soil* **341**, 233-256.
- (7) Wöhling T., Gayler S., Priesack E., Ingwersen J., Wizemann H.-D., Högy P., Cuntz M., Attinger S., Wulfmeyer V., Streck T., 2013. – Multiresponse, multiobjective calibration as a diagnostic tool to compare accuracy and structural limitations of five coupled soil-plant models and CLM3.5. *Water Resources Research* **49**, 8200-8221.

ÉTAT ET LOCALISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS LE SOL : RELATIONS AVEC L'ACTIVITÉ MICROBIENNE ET CONSÉQUENCES POUR LE FONCTIONNEMENT DU SOL

par Claire **Chenu**¹, Naoise **Nunan**², Laure **Vieublé**¹, Patricia **Garnier**¹, Valérie **Pot**¹,
Sylvie **Recous**³, Philippe **Baveye**¹.

Un des défis de l'agroécologie en ce qui concerne les sols est de mieux prévoir le devenir des matières organiques et la fourniture de nutriments que leur minéralisation permet, ceci afin de concevoir et piloter une gestion optimale de cette ressource et de l'activité biologique. Cette prédiction est aujourd'hui encore insatisfaisante, et une des explications tient à la représentation que l'on fait du sol dans les modèles, qui est celle d'un milieu homogène, et non celle d'un milieu complexe et structuré, à différentes échelles comme l'est le sol.

Les matières organiques sont dans les sols essentiellement sous forme solide (les débris végétaux en cours de décomposition) ou associées aux minéraux. Elles ont une répartition spatialement très hétérogène, ceci à l'échelle du profil de sol (effet du travail du sol par ex), comme à celle de la structure du sol (répartition dans des pores de taille différente, au sein d'agrégats de caractéristiques contrastées...). Le sol a parfois été décrit comme un « désert » dans lequel sont présentes quelques « oasis » organiques. Des travaux récents se focalisent sur cette hétérogénéité spatiale, que l'on décrit par des méthodes de visualisation de plus en plus performantes (microscopies électroniques, tomographie des rayons X, nanoSIMS), et dont on cherche à apprécier les conséquences fonctionnelles.

Pour qu'il y ait biodégradation, un contact est nécessaire entre matières organiques et les microorganismes décomposeurs ou leurs enzymes extracellulaires. Or les microorganismes représentent moins de 1% du volume poral des sols¹ et ils ont eux aussi une répartition spatiale très hétérogène². La communauté scientifique accorde une importance croissante à l'accessibilité des matières organiques aux microorganismes qui les décomposent pour expliquer, d'une part les vitesses de minéralisation des matières organiques et d'autre part leur corollaire : la stabilisation de composés organiques dans les sols pour des durées longues (des siècles, voire des millénaires)³. La localisation respective des microorganismes et des matières organiques dans l'architecture complexe des pores du sol, le degré de remplissage de ces derniers par de l'eau et de l'air, déterminent les possibilités de contact, mais aussi de diffusion des molécules, de colonisation microbienne et *in fine* le fonctionnement biologique du sol. Des méthodes de visualisation et des approches expérimentales permettent maintenant d'étudier ces processus et ceci avec des approches interdisciplinaires : c'est toute une écologie des habitats microbiens qui mobilise physiciens, chimistes, microbiologistes et biogéochimistes des sols. De nouvelles approches de modélisation, basées sur une représentation explicite de la structure du sol⁴ sont étroitement couplées à ces approches expérimentales et ouvrent de nouvelles perspectives. Celles-ci devraient permettre d'améliorer les modèles actuels de la dynamique des matières organiques du sol par une prise en compte de l'hétérogénéité du sol.

Les activités microbiennes dépendent en premier lieu de l'accès à une ressource trophique. Comme celles-ci sont distribuées de manière hétérogène, la rhizosphère, la détritosphère (zone de sol au voisinage des résidus organiques en décomposition), la drilosphère (galeries et turricules des vers de terre) sont autant

¹ UMR Ecosys, INRA-AgroParisTech, Grignon. Courriel : chenu@agroparistech.fr

² UMR IEES, CNRS-UPMC-ENS-INRA-IRD-UPEC, Grignon.

³ UMR Fare, INRA-Université de Reims, Reims.

« d'oasis » ou « hot-spots » d'activité microbienne. La compréhension de leur fonctionnement est un atout pour la gestion des sols agricoles. Ainsi la biodégradation de produits phytosanitaires apportés au sol dépend peut être plus des probabilités de rencontre de ces molécules avec les microorganismes capables de les biodégrader, que d'autres facteurs. Les détritosphères, qui se forment sous les litières situées à la surface des sols agricoles conduits en semis direct ou sous couvert permanent, sont les habitats de nombreux organismes. Les transformations des matières organiques qui y prennent place expliquent pour partie le stockage additionnel, ou non, de carbone dans ces sols, une autre explication étant la faible accessibilité des microorganismes aux matières organiques dans les horizons sous jacents du sol⁵. Les effets du non-labour sur les stocks organiques des sols, plus variables et moins forts qu'on ne le pensait antérieurement⁶, interpellent la compréhension des mécanismes en amont.

C'est donc à l'échelle spatiale des microorganismes eux mêmes que l'on peut rechercher la compréhension des flux d'éléments et de substances dont ils sont responsables, ainsi que celle de l'effet de pratiques agricoles qui affectent les entrées organiques au sol et/ou l'hétérogénéité du sol (par exemple travail simplifié et gradients verticaux, cultures intercalaires ou associées et hétérogénéités horizontales).

- (1) Chenu, C. & Stotzky, G. 2002. – Interactions between microorganisms and soil particles : An overview. In: *Interactions between soil particles and microorganisms* (eds. P.M. Huang, J.M. Bollag & N. Senesi), pp. 3-40. Wiley and Sons, New York.
- (2) Nunan, N., Wu, K., Young, I.M., Crawford, J.W. & Ritz, K. 2003. – Spatial distribution of bacterial communities and their relationships with the micro-architecture of soil. *FEMS Microbiology Ecology*, **44**, 203-215.
- (3) Vieublé Gonod, L., Chadoeuf, J. & Chenu, C. 2006. – Spatial distribution of a microbial function (2,4-D mineralisation) from parcel to microhabitat. *Soil Science Society of America Journal*, **70**, 64-71.
- (4) Dungait, J.A.J., Hopkins, D.W., Gregory, A.S. & Whitmore, A.P. 2012. – Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*, **18**, 1781-1796.
- (5) Monga, O., Garnier, P., Pot, V., Coucheney, E., Nunan, N., Otten, W., and Chenu, C. 2014. – Simulating microbial degradation of organic matter in a simple porous system using the 3-D diffusion based model MOSAIC. *Biogeosciences*, **11**, 2201–2209.
- (6) Balesdent, J., Chenu, C. & Balabane, M. 2000. – Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, **53**, 215-230.
- (7) Virto, I., Barré, P., Burlot, A. & Chenu, C. 2012. – Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. *Biogeochemistry*, **108**, 17–26.

LA BIOMASSE MICROBIENNE DU SOL : RÔLE DANS LE CONTRÔLE ET LE COUPLAGE DES CYCLES DU CARBONE ET DE L'AZOTE DANS LES SYSTÈMES SOL-PLANTE

par Sylvie **Recous**¹, G. **Lashermes**¹, I. **Bertrand**^{1,2}, P. **Garnier**³

Comprendre le rôle des activités microbiennes et les facteurs qui les contrôlent dans les sols est depuis très longtemps une question importante pour la gestion adéquate des systèmes sol-plante. Les matières organiques et l'ensemble des flux associés à leurs transformations sont une composante essentielle de la fertilité des sols mais aussi déterminent les impacts environnementaux comme la lixiviation du nitrate et les émissions d'oxydes d'azote. La biomasse microbienne hétérotrophe du sol, bien que représentant quelques pour cent du carbone total d'un sol, joue un rôle crucial car elle représente le « chas de l'aiguille à travers lequel tout le carbone et les nutriments du sol sont transformés »⁴. Ceci explique les grands efforts de recherche qui lui ont été consacrée au cours des cinquante dernières années. Les processus de couplage des cycles biogéochimiques et leur contrôle par les activités microbiennes des sols sont assez bien connus et modélisés, même si la prise en compte des activités microbiennes a davantage été implicite qu'explicite par le passé, notamment pour prédire la dynamique du carbone et de l'azote dans les sols.

Mais les enjeux alimentaires et environnementaux majeurs auxquels est confrontée l'agriculture au 21^e siècle obligent à reconsidérer les pratiques, et à envisager des modèles alternatifs, l'agroécologie, l'agriculture de conservation, l'agriculture biologique, l'agroforesterie, etc. Dans les sols agricoles, les cultures (principales et intermédiaires) qui se succèdent en rotation, et les modalités de gestion des résidus de culture et du travail du sol, déterminent la quantité, la nature et la localisation des litières végétales restituées au sol, ressource trophique des communautés du sol. Une agriculture « doublement performante » c'est-à-dire maintenant la production végétale tout en réduisant la consommation d'intrants chimiques, la dépendance énergétique des exploitations et les pertes de nutriments vers l'environnement, repose sur des pratiques culturelles mobilisant davantage que par le passé, un couplage étroit entre les cycles biogéochimiques. Ceci nous conduit à revisiter nos connaissances et à poser des questions nouvelles sur les relations entre compartiments organiques, communautés des sols et fonctions, en particulier i) les effets directs et indirects des cultures sur les communautés du sol notamment via la qualité des litières végétales et la rhizosphère; ii) le rétro-contrôle de la dynamique et de la séquestration du carbone par la richesse en azote des sols; iv) le déstockage du carbone ancien des sols lors de la décomposition de matières organiques « fraîches » (encore appelé « priming effect ») et enfin iv) le rôle de la diversité taxonomique et fonctionnelle des communautés microbiennes des cycles du carbone et de l'azote, sur la résistance et la résilience des fonctions face à des événements, notamment climatiques.

La communication abordera ces différents aspects, en s'attachant d'une part à montrer toutes les implications importantes de ce couplage étroit entre matières organiques et communautés microbiennes hétérotrophes du sol, et d'autre part en présentant comment les différentes voies de recherches actuelles visent à trouver des solutions innovantes pour l'agriculture de demain.

¹ INRA, UMR FARE, 2 Esplanade Roland Garros, 51100 Reims.

² INRA, UMR ECO&SOLS, Montpellier.

³ INRA, UMR ECOSYS, 78500 Thiverval-Grignon.

⁴ The microbial biomass is the *eye of the needle* through which carbon and nutrient transformations are mediated" (Jenkinson D.S., New Zealand Soil News 25: 213–218. 1977).

**BELOWGROUND EFFECTS OVER ABOVEGROUND IMPACTS –
FOREST TREE-RHIZOSPHERE RESPONSES TO CHANGING SITE
CONDITIONS**

by Rainer **Matyssek**¹, Reinhard **Agerer**², Karin **Pritsch**³

Setting the stage: Soils and their respiration govern carbon (C) pools and fluxes in forest ecosystems, as mycorrhizae substantially drain C gains belowground. Still, response processes belowground to environmental impact as such by climate change are initiated aboveground. This is the case not only for warming and associated drought, but also atmospheric CO₂ accumulation, which upon impacting on foliage becomes effective through altering whole-plant and rhizospheric C relations. Anthropogenic ozone (O₃) with its currently enhanced regimes similarly acts in the lower troposphere, being recognized today as an intrinsic component of climate change, but hardly understood in ecologically meaningful ways for forest sites. Mediated by precursor formation from natural sources, fuel combustion and forest burning, O₃ is climate-effective, spread at hemispheric scales and, if high influx passes stomata, incites toxicity in plants. Although not destroying trees rapidly (as posed by forest decline discussions of the 1980s), enhanced O₃ uptake chronically weakens tree and ecosystem-level C fixation and storage. O₃ only indirectly acts belowground, depending on plant-internal response pathways originating from aboveground impact.

What do we actually know about belowground O₃ effects in forest trees and ecosystems in view of climate change? Knowledge is scarce despite a plethora of indoor and outdoor chamber O₃ fumigation studies since the 1940s, as findings (mostly aboveground and short-term) from well-watered and fertilized juvenile, typically potted and single trees, and inevitably affected by micro-climatic bias, are not transferable to prevalent forest site conditions. Only two prolonged experiments were conducted in tree plantations (AspenFACE, USA) and in a maturing beech/spruce forest (*Fagus sylvatica/Picea abies*, Kranzberg Forest/Germany), both making use of novel free-air O₃ canopy fumigation technology. We will highlight the Kranzberg Forest experiment, referring to O₃/drought interactions also that had occurred during the dry summer of 2003.

O₃ belowground effects: : A conspicuous impact of canopy-level O₃ was an increase in soil respiration around beech and spruce trees under the experimentally enhanced O₃ regime. The effect was associated with stimulated fine-root production (in consistency with findings from AspenFACE) and increased density but altered fungal community structure of ectomycorrhizae (ECM), in particular, on beech. Reduced specific N uptake was attributed to ECM-mediated O₃ influence and corroborated through ¹⁵N soil labelling. Notwithstanding, the number of vital ECM on beech was increased under enhanced aboveground O₃ exposure, and so was the number of ECM types and fungal species richness. In spruce, shifts had occurred from “medium” and “long-distance” towards “short-distance” and “contact” ectomycorrhizal exploration morphotypes after eight years of elevated O₃ treatment. Aboveground O₃ impact led to loss in mycelial soil volume occupation, which represents decline in belowground resource exploration capacity, and hence, in tree competitiveness, if space-related resource turnover is similarly crucial as along aboveground organs.

Largely vague remained potential influences by O₃-stressed trees on soil microbial communities including ECM. Extracellular enzyme activities in mycorrhizosphere soil integrate activities from roots, fungi and associated as well as free-living microorganisms. Indications may be biased, however, by plant age and tree species, as O₃-driven enzyme stimulations in the mycorrhizosphere of adult forest trees was not confirmed in juvenile trees. Given that soil bacteria may promote nutrient mobilization and provide beneficial capacities in general (“helper bacteria”), holobiontic understanding of O₃-incited interference with

¹ Ecophysiology of Plants, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan, Germany.

E-mail : matyssek@wzw.tum.de

² Mycology, Ludwig-Maximilians Universität München, Germany.

³ Biochemical Plant Pathology, Helmholtz-Zentrum München, Neuherberg, Germany

belowground tree, fungal and bacterial interactions poses a challenge for research. The challenge implies focus on such mutualistic interaction networks that may turn to parasitic relationships under O₃ stress.

O₃/drought interaction: During the extraordinarily dry summer of 2003, the stimulating O₃ effect on soil respiration rate vanished under spruce, in consistency with decreased fine-root production by a factor of six, reflecting some kind of dormancy, whereas fine root production stayed unchanged in beech. δ¹³C of newly formed fine roots was consistent with stomatal limitation by O₃ in beech. Overall, drought had the capacity of overriding the stimulating O₃ effects on fine-root dynamics and soil respiration in both tree species. Autotrophic soil respiration (SRa) was drought-sensitive, as total SR (SRT) ceased in spruce to follow the seasonal course of soil temperature. SRa rather than heterotrophic SR (SRh) was sensitive to changes in soil temperature and plant-available soil water.

Explanatory model of O₃ belowground effects: O₃-induced stimulations in soil respiration, fine-root growth and mycorrhization were accompanied by a dramatic decline in stem productivity by annually 44 % in beech (spruce with incipient tendency). The effect related to leaf-level phytohormonal disturbance inflicted by O₃, while effects on photosynthesis stayed minor. Leaf-level destruction of cytokinins (CK) incited drain via xylem from roots, where CKs, if accumulating under non-limiting N soil availability (as was the case at Kranzberg Forest), typically impose growth inhibition. The impeded CK accumulation evoked fine root production and created a belowground C sink that outcompeted that posed by the stem. Hence, aboveground O₃ impact pretended belowground N limitation, misguiding fine root response.

Ecological significance: Modelling approaches have shown substantial loss in C fixation of forest ecosystems worldwide since 1900, although parameterization and validation are inadequate and limited, respectively. Kranzberg data are supportive regarding the O₃ response of adult beech. Radiative forcing of the atmosphere appears to lesser extent to be caused by photosynthetic limitation under O₃ stress than by belowground shift in whole-tree C allocation and increase in soil respiration. Belowground O₃ effects in forest ecosystems demand for attention during the post-Kyoto debate.

REFERENCES

- (1) AGERER, R., HARTMANN, A., PRITSCH, K., RAIDL, S. *et al.*, 2012. – Plants and their ectomycorrhizosphere: cost and benefit of symbiotic soil organisms. In: Matyssek R, Schnyder H, Osswald W, Ernst D, Munch J C, Pretzsch H (eds.): Growth and Defence in Plants – Resource Allocation at Multiple Scales. Ecol. Stud. **220**, 213–242
- (2) GREBENC, T., KRAIGHNER, H., 2007. – Changes in the community of ectomycorrhizal fungi and increased fine root number under adult beech trees chronically fumigated with double ambient ozone. Plant Biol. **9**, 279–287.
- (3) MATYSSEK R, WIESER G, CEULEMANS R, RENNENBERG H, PRETZSCH H, *et al.*, 2010. – Enhanced ozone strongly reduces carbon sink strength of adult beech (*Fagus sylvatica*) - Resume from the free-air fumigation study at Kranzberg Forest. Environmental Pollution **158**, 2527-2532
- (4) MATYSSEK R, KOZOVITS AR, SCHNITZLER J, PRETZSCH J *et al.*, 2014. – Forest trees under air pollution as a factor of climate change. In: Tausz M, Grulke N. (Eds.) Trees in a Changing Environment. Springer, Plant Ecophysiology **9**, pp. 117-163
- (5) NIKOLOVA PS, ANDERSEN CP, BLASCHKE H, MATYSSEK R, HÄBERLE KH., 2009a.– Belowground effects of enhanced tropospheric ozone and drought in a beech/spruce forest (*Fagus sylvatica* L./*Picea abies* [L.] Karst). Environmental Pollution **158**, 1071-1078.
- (6) NIKOLOVA P., RASPE S., ANDERSEN C., MAINIERO R., BLASCHKE H., MATYSSEK R., HÄBERLE K.H., 2009b. – Effects of the extreme drought in 2003 on soil respiration in a mixed Forest. Eur J Forest Res **128**, 87-98.
- (7) PRETZSCH H, DIELER J, MATYSSEK R, WIPFLER P., 2010. – Tree and stand growth of mature Norway spruce and European beech under long-term ozone fumigation. Environmental Pollution **158**, 1061-1070.
- (8) PRITSCH K, LUEDEMANN G, MATYSSEK R, HARTMANN A, SCHLOTTER M, SCHERB H, GRAMS TEE, 2005 – Mycorrhizosphere responsiveness to atmospheric ozone and inoculation with

Phytophthora citricola in a phytotron experiment with spruce/beechn mixed cultures. *Plant Biology* **7**, 718-727

- (9) WEIGT RB, HÄBERLE KH, MILLARD P, METZGER U, RITTER W, BLASCHKE H, GÖTTLEIN A, MATYSSEK R., 2012. – Ground-level ozone differentially affects nitrogen acquisition and allocation in mature European beech (*Fagus sylvatica*) and Norway spruce (*Picea abies*) trees. *Tree Physiol* **32**(10), 1259-1273
- (10) WINWOOD J, PATE A.E., PRICE J. HANKE D.E., 2007. – Effects of long-term, free-air ozone fumigation on the cytokinin content of mature beech trees. *Plant Biol.* **9**, 265-278
- (11) ZU CASTELL W, FLEISCHMANN F, HEGER T, MATYSSEK R., 2015. – Shaping theoretic foundations of holobiont-like systems. *Progress in Botany* **77**, in press

MISE EN PLACE D'OUTILS ET BIO-INDICATEURS PERTINENTS DE QUALITÉ DES SOLS

par Claudy Jolivet^(*), Guenola Peres^(**) et Antonio Bispo^(***)

Un intérêt croissant pour la biologie et le fonctionnement des sols

En 2002, la communication de la Commission Européenne [(COM(2002)179)] en faisant état de la dégradation des sols, appelait officiellement à la connaissance et à la protection de la biodiversité des sols. Cependant, de manière opérationnelle, aucune mesure n'était proposée à cause notamment du caractère lacunaire des connaissances dans ce domaine, et de l'apparente redondance fonctionnelle entre organismes du sol. Néanmoins, il avait été souligné la nécessité d'intensifier les efforts pour accroître la compréhension des fonctions liées à la biodiversité des sols et mieux la faire connaître.

Parallèlement, dans le monde agricole, le développement de divers constats comme le plafonnement des rendements et l'amorce de nouvelles attentes telles que l'agro-écologie ou les techniques de bio-contrôle ont fait émerger une curiosité grandissante des agriculteurs pour la biodiversité des sols et le rôle de ces organismes dans le fonctionnement des sols

Une mutation des approches de caractérisation de la biologie des sols

Les difficultés liées à l'accessibilité et à l'identification des organismes du sol ont longtemps été des verrous importants : l'échantillonnage et le suivi de ces organismes pouvant s'avérer parfois compliqués. Si les méthodes classiques d'extraction et d'identification morphologiques sont toujours utilisées (essentiellement pour la faune du sol), au cours des 15 dernières années de nombreuses méthodes basées sur l'extraction et l'analyse ADN ont été développées pour accélérer l'identification taxonomique. Ces approches ciblées au départ sur les microorganismes (bactéries et champignons) ont donné lieu à des méthodes de mesure permettant de quantifier ces organismes directement à partir d'échantillons de sol. Leur adaptation à la faune du sol est en cours et les premiers résultats obtenus, par exemple sur les nématodes et les vers de terre, sont très prometteurs.

Des programmes européens et nationaux pour développer et sélectionner des indicateurs

Au niveau européen, à la suite à la publication de la Stratégie Européenne de Protection des Sols, différents programmes du PCRD¹ ont ciblé et financé des travaux de recherche intégrant ou ciblant spécifiquement la biodiversité des sols (ex : ENVASSO, EcoFINDER).

À l'échelle nationale, au cours des dix dernières années, plusieurs appels à projets centrés spécifiquement sur les fonctions environnementales et la biodiversité des sols ont été lancés. Le tout premier, le Programme Gessol², initié dès 1998 par le Ministère en charge de l'Ecologie a permis notamment le développement des approches de caractérisation basées sur l'ADN extrait des sols que ce soit à l'échelle des microorganismes ou des invertébrés. En lien avec Gessol, mais également avec les actions thématiques Ecoger et EcoDyn de l'INSU, l'ADEME a mis en place en 2004 un appel dédié au développement et à la validation de bioindicateurs de qualité des sols. La deuxième phase de ce programme (2009-2013), en mobilisant 22 équipes de recherche nationale, a permis de tester la quasi-totalité des organismes du sol (microorganismes, méso et macrofaune, végétaux) sur 13 sites communs (sites forestiers, agricoles ou sites industriels) et cela au même moment, assurant la possibilité d'une réelle évaluation de la pertinence des indicateurs en fonction de situations spécifiques.

^(*) INRA, US 1106 InfoSol, 45075 Orléans, France, claudy.jolivet@orleans.inra.fr

^(**) AgroCampus Ouest, UMR INRA SAS, 35042 Rennes, guenola.peres@agrocampus.fr

^(***) ADEME, antonio.bispo@ademe.fr

¹ Programme Cadre de Recherche et Développement

² www.gessol.fr

Parallèlement en 2006, dans le cadre de l'échantillonnage du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) du GIS Sol³, des indicateurs microbiens et des indicateurs basés sur les invertébrés ont également été testés sur toute la France (RMQS-ECOMIC, Dequiedt *et al.*, 2011) et sur la région Bretagne (RMQS Biodiv, Cluzeau *et al.*, 2012, Ponge *et al.*, 2013).

De la recherche aux outils opérationnels

Ces différents travaux ont permis de tester et de comparer différents indicateurs biologiques de qualité des sols afin notamment de retenir les plus pertinents en fonction de l'objet d'étude (ex : robustesse scientifique, coût, accessibilité), et des problématiques concernées (ex : surveillance des sols, qualité de la matière organique, systèmes de culture, pollution des sols, sols forestiers). Il a été ainsi possible de proposer des indicateurs ou des batteries d'indicateurs en fonction des attentes

Différentes bases de données ont ainsi été constituées et permettent de proposer des gammes de variation des réponses biologiques en fonction des types de sol et des usages, ces valeurs pouvant aider à l'interprétation de futurs résultats (<http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/>).

Finalement après la standardisation des différents protocoles et la publication de normes ISO, le stade ultime du transfert a été amorcé par la création de structures semi-publiques et privées de prestation de service permettant de faire un diagnostic de l'état biologique des sols.

Conclusions

Un diagnostic de l'état biologique des sols est donc d'ores et déjà disponible : les outils sont validés, les prestataires existent et il est possible de situer l'état de son sol par rapport à des références nationales qui s'enrichissent régulièrement à travers les différents programmes de recherche. Reste désormais à développer le conseil agronomique pour entretenir et améliorer la biodiversité des sols et leur fonctionnement. En effet, même si les grandes options sont connues (ex : introduction de matière organique par les rotations, l'insertion de prairies temporaires, l'épandage de composts, la réduction du travail du sol...) le conseil au cas par cas est encore à développer et devra s'appuyer tant sur des sites expérimentaux de longue durée (exemple : les Systèmes d'Observations et d'Expérimentation gérés par les organismes de recherche, ou les dispositifs gérés par les inter-professions ou par les Chambres d'Agriculture), que sur des réseaux de parcelles agricoles et des expériences locales mises en place par les agriculteurs eux même (ex : programme CASDAR Agrinnov en cours).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) S. DEQUIEDT, N. P. A. SABY, M. LELIEVRE, C. JOLIVET, J. THIOULOUSE, B. TOUTAIN, D. ARROUAYS, A. BISPO, P. LEMANCEAU AND L. RANJARD. 2011. –Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. *Global Ecology and Biogeography*, 1-12.
- (2) D. CLUZEAU, M. GUERNION, R. CHAUSSOD, F. MARTIN-LAURENT, C. VILLENAVE, J. CORTET, N. RUIZ-CAMACHO, C. PERNIN, T. MATEILLE, L. PHILIPPOT, A. BELLIDO, L. ROUGÉ, D. ARROUAYS, A. BISPO, G. PÉRÈS. 2012. – Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types, *European Journal of Soil Biology*, Volume **49**, Pages 63-72
- (3) J.F. PONGE, G. PÉRÈS, M. GUERNION, N. RUIZ-CAMACHO, J. CORTET, C. PERNIN, C. VILLENAVE, R. CHAUSSOD, F. MARTIN-LAURENT, A. BISPO, D. CLUZEAU. 2013. – The impact of agricultural practices on soil biota: A regional study, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume **67**, Pages 271-284.

³ www.gissol.fr

LES SOLS ONT-IL DE LA MEMOIRE ? 80 CLÉS POUR COMPRENDRE LES SOLS.

par Jérôme Balesdent, Étienne Dambrine et Jean-Claude Fardeau¹



Éditions Quae, 2015, 176 pages

Christian Valentin² – A l’occasion de l’année internationale des sols, vient de paraître, comme l’indique le bandeau, « enfin un livre accessible sur le rôle des sols dans notre environnement ». La question qui sert de titre au livre n’est que l’avant-dernière des 80 questions abordées. Les sols ne conservent pas que les vestiges enfouis de civilisations, mais aussi la mémoire des végétations qui y ont poussé et des microorganismes qui s’y sont développés. Regroupés en cinq parties – entre sol et sous-sol, le sol vivant, sol et agriculture, sols, risques et climat, les métamorphoses du sol – les 80 réponses dressent un tableau très didactique et actuel des principales facettes du sol. Il donne envie – à tous – de mieux connaître la composante la moins connue de notre environnement, bien que nous ayons des liens plus ou moins conscients avec la terre (l’Homme, qui a la même racine que l’humus, n’est-t-il généralement pas le plus souvent destiné à être inhumé ?). Méconnu, le sol n’en suscite pas moins de nombreux débats que n’esquivent pas les auteurs : « Les vers de terre ont-ils déserté nos champs ? », « Est-il nécessaire de labourer ? » qu’ils abordent avec simplicité, humour (merci Jean-Claude Fardeau !) et sans parti pris. La lecture de ce type d’ouvrage est d’autant plus agréable qu’elle n’a pas besoin d’être linéaire, chacun pouvant aller picorer les questions qui lui semblent les plus intéressantes. Il fournit, sans académisme, quelques connaissances de base, indispensables pour suivre ces débats.

Même si l’accent est mis sur l’agriculture, cet ouvrage présente très clairement les principaux enjeux actuels des sols. Il rappelle que « le cultivateur n’est pas le seul utilisateur du sol ». En cette année de la COP21 à

¹ Jérôme Balesdent, membre de l’Académie d’Agriculture de France, directeur de recherche à l’INRA, Étienne Dambrine, professeur à l’université de Savoie et Jean-Claude Fardeau, ancien ingénieur de recherche au CEA et à l’INRA, Médaille d’or de l’AAF en 2001 qui, comme l’écrivent les deux autres auteurs « a cassé son soc avant la fin du sillon » en juillet 2014. Lire ce livre c’est donc honorer la mémoire de ce grand agronome, spécialiste de la fertilité des sols, homme de convictions qui transparaissent dans de nombreuses pages. C’est aussi profiter de sa truculence et de son érudition

² Christian Valentin, Correspondant de l’académie d’agriculture de France, directeur de recherche à l’IRD, animateur du groupe Sols à l’AAF et du sous-groupe Sols à l’Alliance pour l’Environnement (AllEnvi).

Paris, n'est-il pas intéressant de (re)découvrir que les sols ont fabriqué l'atmosphère qui nous permet de vivre et qu'une meilleure gestion des sols constitue une des clefs de l'atténuation des changements climatiques ? Le sol constitue aussi le principal réservoir de biodiversité, supérieur à celui des plantes et des animaux réunis ! L'immense majorité de ses « habitants » est très utile pour transformer notamment les résidus de cultures, les feuilles et les branches en matière organique, néanmoins une toute petite minorité peut poser des problèmes de santé humaine ou animale (charbon, maladie de la vache folle...). Depuis l'Antiquité (l'ouvrage cite la Bible, Virgile, et bien d'autres), l'un des grands défis de l'agriculture a été de restituer au sol (fumier, culture de légumineuse) ce que les récoltes lui enlevaient comme éléments fertilisants. Platon remarquait déjà que bon nombre de paysages portaient les stigmates de l'érosion. Celle-ci s'est terriblement accélérée depuis et dépasse de loin les quantités de sol « fabriqué » par an (en France entre 200 kg et 1 t /ha/an). A ce déséquilibre entre érosion et formation, s'ajoutent d'autres formes de dégradation : acidification, salinisation, tassement, et – peut-être d'une manière encore plus redoutable – sa destruction et son recouvrement par le béton et le bitume du fait de l'urbanisation.

Loin d'être un nouveau précis de pédologie, ou de minéralogie, géochimie, biologie moléculaire ou de droit foncier, ce petit livre doit être mis dans toutes les mains ! Bien illustré, avec des encarts variés, il sera utile autant au plus ou moins jeune lecteur désireux de découvrir un domaine qu'il ignore que à celui qui croit, souvent à tort, mieux le connaître.

LE FRÈRE EUGÈNE-MARIE - UN GRAND AGRONOME PICARD DU XIX^e SIÈCLE



par **Christian Ferault**¹

préface de **Charles Descoins**²

¹ **Christian Ferault**, agronome et économiste, est directeur de recherche honoraire de l'INRA. Ancien Elève de l'ISAB, Docteur d'Etat ès sciences et agrégé d'économie, il a été directeur scientifique de l'INA P-G et a dirigé l'enseignement supérieur agronomique et vétérinaire au ministère de l'Agriculture. Membre de l'Académie d'agriculture de France, il y a exercé les fonctions de Vice-Secrétaire et de Rédacteur en chef des publications. Depuis 2014 il est chargé de mission auprès du Secrétaire perpétuel avec notamment la responsabilité d'ouvrages en relation avec « 100 ans de Comptes Rendus de l'Académie. » Il est l'auteur d'ouvrages relatifs à l'agriculture et à l'histoire (dont, en 2012, « Une Histoire de pomme de terre : la variété 'Institut de Beauvais' », éd. d'En Face) et exerce la fonction de directeur de collection aux Éditions France Agricole. Il est, depuis 1989, Conseiller municipal de la commune de Lignières-Orgères (Mayenne).

Dominique Job³ - L'auteur, Christian Ferault, nous entraîne à la découverte d'un grand agronome picard du 19^{ème} siècle, Eugène Chanoine, frère Eugène-Marie en religion, qui déploya la plus grande énergie dans une multitude de travaux en agronomie mais également dans le développement d'une école d'ingénieurs agronomes, l'Institut supérieur d'agriculture de Beauvais, créé en 1855, et qui deviendra en 2006 l'Institut Polytechnique Lasalle Beauvais, l'une des 210 écoles d'ingénieurs françaises habilitées à délivrer un diplôme d'ingénieur. Ce livre fourmille d'articles scientifiques et d'anecdotes qui éclairent la vie et l'œuvre de cet enseignant-chercheur infatigable dont les travaux ont été précurseurs de nombre de grands progrès à l'origine de l'avènement de l'agriculture moderne (création variétale, pratiques culturales dont l'usage des engrais artificiels, rôle de la germination des graines dans le rendement des cultures, description des maladies fongiques des plantes, valeur nutritionnelle des produits végétaux...)

Le décor - Dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle en Picardie, un Institut supérieur d'agriculture est créé à Beauvais. Il se développe rapidement, associant, sous une forme originale, religieux et laïcs, initiative privée et soutiens publics. Le frère Eugène-Marie en sera le second directeur et y exercera ses activités pendant plus de cinquante ans. C'est un autodidacte passionné, entreprenant et visionnaire qui fera évoluer cet institut avec un grand succès (cinq élèves à la création !) en lui donnant une dimension « Enseignement supérieur, Recherche et Développement » de niveau international (aujourd'hui l'Institut accueille chaque année près de 2000 élèves ingénieurs !). Ce choix de Beauvais est particulièrement justifié car, en effet, le sol et le climat picards sont extrêmement favorables au rendement des productions végétales (betterave à sucre, pommes de terres, blé, pois). Cette politique, dont frère Eugène-Marie a été l'un des initiateurs et l'ardent défenseur, a aujourd'hui permis l'implantation d'une industrie agroalimentaire puissante en région Picardie.

La pomme de terre *Institut de Beauvais* - Chercheur et expérimentateur de premier plan, cet agronome publia beaucoup dans les Annales de l'Institut puis dans celles de la Station agronomique de l'Oise, créée sous son impulsion, puis développée sous sa direction à partir de 1873. Ses articles consacrés à la pomme de terre, la betterave et les graminées fourragères (mais aussi aux animaux d'élevage) constituent des références qui lui confèrent la dimension d'une figure scientifique nationale et internationale. Par ailleurs, il a eu la main heureuse en créant la célèbre variété de pomme de terre nommée *Institut de Beauvais*, encore inscrite au Catalogue officiel près de cent soixante années plus tard. Commercialisée en 1882, à la fois par les établissements Vilmorin et l'Institut de Beauvais, l'histoire de cette pomme de terre va se poursuivre pendant tout le 20^{ème} siècle où elle s'imposera comme une des meilleures variétés de pomme de terre semi-hâtives et sera, en conséquence, largement cultivée en France, en Bretagne notamment. Son potentiel, associé à ses qualités, notamment culinaires et agronomiques, est toujours à exploiter. En particulier, cette variété s'avère très résistante à la sécheresse, un trait agronomique aujourd'hui très recherché et, à ce titre, elle sera très probablement l'objet de recherches biotechnologiques futures.

Le vivant - Un aspect particulièrement intéressant du livre est de rappeler qu'à l'époque de frère Eugène-Marie, nos connaissances relatives à la vie végétale étaient singulièrement bornées. Dominée par une chimie très hégémonique, les travaux s'attachaient principalement à établir la composition des végétaux. C'est ainsi que l'identité d'une plante se résumait à l'analyse de ses cendres. Toutefois, frère Eugène-Marie se passionne pour les sciences naturelles et il analyse et met en application des découvertes et observations qui seront à la base de la biologie et biochimie végétale. En voici quelques exemples, tels que relatés dans le livre de Christian Ferault.

² **Charles Descoins**, docteur d'Etat ès sciences physiques, est directeur de recherche honoraire de l'INRA. Il a été, au sein de cet institut, chef du département de phytopharmacie et d'écotoxicologie et directeur du laboratoire des médiateurs chimiques. Il est membre de l'Académie d'agriculture de France.

Éditeur L'Harmattan, 2015, Collection Biographies, 226 pages.

³ **Dominique Job**, docteur d'Etat ès sciences, est directeur de recherche émérite au CNRS. Il a coordonné des programmes de Génoplante et directeur de l'unité mixte de recherche CNRS/Bayer CropScience. Membre de l'Académie d'agriculture de France, il y exerce la fonction de secrétaire de la section des Sciences de la vie.

Ainsi, frère Eugène-Marie est parfaitement au fait des travaux de Jean-Baptiste Boussingault (membre de l'Académie des sciences et de l'Académie d'agriculture), qui, dès la fin des années 1830, montraient *qu'après deux ou trois mois de culture sur un sol privé de matière organique, le trèfle et le pois (légumineuses) présentent des gains d'azote très nets, alors qu'on n'en n'observe pas chez le froment et l'avoine (graminées)*. Ceci est d'autant plus remarquable que l'ion ne connaissait pas encore les mécanismes de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

Dans le cas des maladies des plantes, il s'attache à mettre en valeur les observations et déductions minutieuses d'auteurs français et étrangers. Il décrit ainsi le rôle de *Botrytis infestans* dans le mildiou de la pomme de terre, préfigurant en cela la pathologie végétale moderne, notamment concernant le rôle majeur des conditions environnementales dans le développement des maladies fongiques.

Encore tout aussi étonnant, dans une étude comparée sur les blés, frère Eugène-Marie observe que les variétés les plus riches en azote donnent une plus forte proportion de gluten, la fraction protéique insoluble du grain. Or, si les acides aminés avaient été décrits dès 1806 par Pierre-Jean Robiquet (Académie de médecine et Académie des sciences) et Louis-Nicolas Vauquelin (découvreur de la nicotine ; Académie de médecine et Académie des sciences) (on leur doit la découverte du premier acide aminé, l'asparagine, isolé de l'asperge) et si la découverte des protéines par Jacob Berzelius (Suède) remonte à 1838, ce n'est qu'en 1875 que Paul Schützenberger (premier directeur de l'ESPCI ParisTech ; Académie de médecine et Académie des sciences) est parvenu à montrer que l'hydrolysate des protéines contient uniquement des acides aminés. A l'heure actuelle, nous savons que les caractéristiques des différentes fonctions cellulaires reposent sur des compositions et séquences variables en acides aminés des protéines. Frère Eugène-Marie nous parle également de la valeur nutritionnelle du son des grains de blé alors que les vitamines ne seront décrites par Casimir Funk (biochimiste polonais) qu'en 1911. Il se range résolument à une proposition de l'Académie des sciences de conserver le son pour la fabrication des farines, et déclare : *le pain blanc et la farine blanche font la disette... Le pain de luxe peut être insipide.... c'est là du raffinement....*

Frère Eugène-Marie a été l'un des premiers à montrer l'importance de la qualité des graines et de la densité des semis sur le pouvoir germinatif, l'installation de plantules vigoureuses et l'élaboration du rendement. Plusieurs de ses travaux portant notamment sur la betterave sucrière sont présentés dans le livre. Il identifie la qualité physiologique des graines comme un verrou important du rendement (maturité) et l'altération de cette qualité selon les conditions de stockage des lots récoltés ou de culture des plantes (densité des semis, conditions environnementales lors de la maturation des graines sur la plante mère ou lors du semis). Dans le cas du maïs, il observe que l'on peut hâter la germination par trempage dans l'eau. De tels traitements, connus aujourd'hui sous l'appellation de traitements de prégermination (priming en anglais) sont largement pratiqués au plan industriel. C'est ainsi que de grandes compagnies semencières, en Angleterre et en Allemagne, commercialisent les lots de graines de betterave sucrière sous forme de graines prégermées (primée). Les gains de rendement ont été considérables. Le pouvoir germinatif frôlant les 100% est au moins deux fois supérieur aux valeurs observées à l'époque des expérimentations de frère Eugène-Marie. La grande majorité des graines de betterave sucrière actuellement commercialisées en France sont ainsi traitées. Notre laboratoire à Lyon (UMR5240 CNRS/Bayer CropScience) a fortement contribué à l'optimisation des traitements de priming et à la mise au point de marqueurs moléculaires de ces traitements chez diverses espèces dont la betterave sucrière⁴. L'auteur de cette analyse a de fait été fortement impressionné et intéressé par ce livre dont les observations et propositions novatrices font que finalement la France est le premier producteur mondial de sucre de betteraves.

Les engrais artificiels – L'un des objectifs prépondérant de frère Eugène-Marie fut de démontrer l'intérêt des engrais artificiels par opposition au fumier des étables. Les nombreuses expérimentations qu'il a entreprises ont eu alors pour objet de déterminer l'action de l'azote, de la potasse et des phosphates sur le rendement des cultures. Il s'agissait d'un domaine de recherche en plein essor. Ainsi, vers 1837, un jeune chimiste allemand de génie, Karl von Liebig (membre étranger de l'Académie d'agriculture) avait élaboré une synthèse sur la question des engrais et il institua par là les fondements de la science agricole pour le

⁴ Catusse J, Strub JM, Job C, Van Dorsselaer A, Job D (2008) Proteome-wide characterization of sugarbeet seed vigor and its tissue specific expression. *Proc Natl Acad Sci USA* **29**, 10262–10267

Catusse J, Meinhard J, Job C, Strub JM, Fischer U, Pestsova E, Westhoff P, Van Dorsselaer A, Job D (2011) Proteomics reveals potential biomarkers of seed vigor in sugarbeet. *Proteomics* **11**, 1569–1580

siècle à venir. En déclarant le trio NPK nécessaire et suffisant⁵, Liebig ouvrit la voie à l'agriculture chimique. Malgré ces succès fulgurants, la question de l'épuisement des réserves en phosphates et potasse, a été récemment abordée.

En conclusion, ce livre atteste que frère Eugène-Marie a fait preuve d'une parfaite maîtrise des connaissances scientifiques de son époque qu'il a su utiliser au bénéfice du développement agronomique et, plus important encore, de sa prescience à identifier/deviner les grandes questions de l'agronomie future, et plus généralement des sciences végétales. Comme le souligne Charles Descoins (Académie d'agriculture) dans sa préface, il s'agit d'une aventure passionnante racontée de façon vivante, dans un style agréable, qui intéressera non seulement les spécialistes mais aussi tous ceux qui désirent connaître l'histoire de l'agriculture et celle de l'enseignement agricole. Si les travaux de frère Eugène-Marie sur les pommes de terre et les graminées fourragères sont largement reconnus, d'autres, pourtant de grande qualité, n'ont pas été pris en considération à leur juste mesure. Par ailleurs, frère Eugène-Marie a été un précurseur de l'enseignement agricole et l'indéniable succès de l'ISAB en est une preuve éclatante. C'est tout le mérite de ce livre que de replacer l'action de son héros dans le succès de l'agronomie et de l'enseignement agricole en France. L'auteur, ingénieur de l'ISAB, a su, en plus, nous faire partager son admiration pour tous les anciens directeurs de l'Institut, principaux acteurs de cette longue histoire.



Le marché aux connaissances

Néolibéralisme, enseignement et recherche

L. Busch

Edition 2014

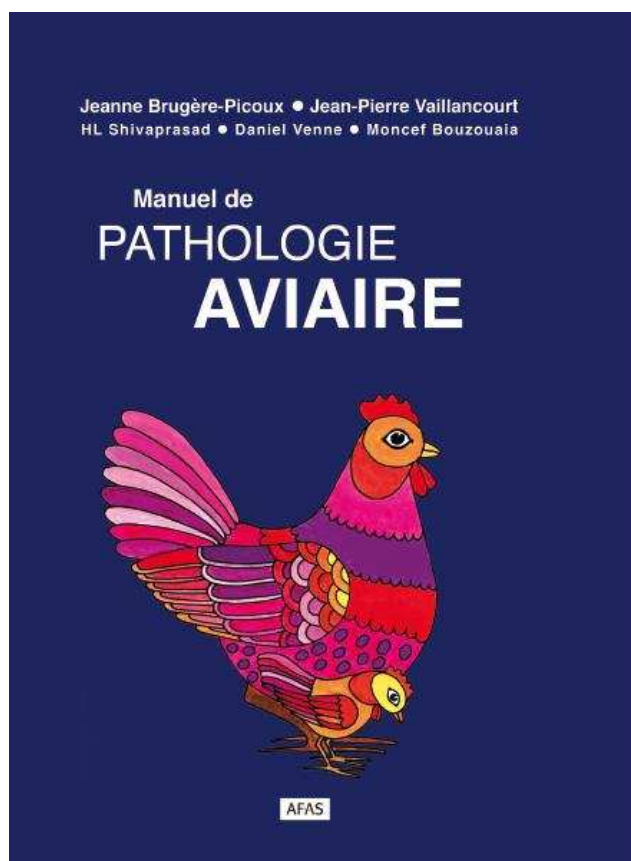
Cet ouvrage tente de tracer les liens entre le néolibéralisme et la restructuration des universités et des instituts de recherche. Après avoir observé les nombreuses crises que l'enseignement supérieur et la recherche se doivent d'affronter, l'auteur montre la façon dont la version néolibérale des sciences économiques a été mise en œuvre pour modifier les moyens d'entreprendre et d'évaluer la recherche, l'enseignement et l'engagement publics. Il décrit les transformations qui s'ensuivent et leur oppose sa propre position dans ce débat complexe. Enfin, après avoir porté une attention particulière aux voies qui n'ont pas été empruntées, il conclut : pour qui et pourquoi avons-nous besoin de connaissances ? Quel genre de société future souhaitons-nous ?

⁵ Fourni abondamment par les pollutions industrielles, le soufre n'était pas considéré comme un élément indispensable dans la constitution des engrais artificiels. De plus, les plantes sont dotées d'une capacité remarquable à recycler le soufre, contribuant à une apparente demande faible pour conditionner le rendement des cultures. Mais le contrôle des rejets industriels, entraînant une carence en soufre, suscite un regain d'attention porté au soufre dans la fertilisation.

MANUEL DE PATHOLOGIE AVIAIRE

par Jeanne **Brugère-Picoux** et Jean-Pierre **Vaillancourt**

Note de lecture de Jacques **Risse**¹



L'édition de cet ouvrage a été co-managée par Jeanne Brugère-Picoux, professeur honoraire des Écoles vétérinaires, membre de l'Académie nationale de médecine et de l'Académie vétérinaire de France et Jean-Pierre Vaillancourt, professeur à la faculté de médecine vétérinaire de St-Hyacinthe au Canada. Quarante-vingt-dix-neuf auteurs, tous de hauts niveaux, appartenant à dix-sept nationalités, ont participé à la rédaction de ce manuel riche de cent treize articles et publié d'entrée en quatre langues (français, anglais, espagnol et chinois). Il est enrichi de très nombreuses photos d'excellente qualité. Et bien choisies !

L'ouvrage est divisé en sept parties, dites sessions :

- La session I (*Généralités*) traite des modes de production des différentes volailles, du bien-être et de la biologie des oiseaux : une façon d'informer à mon sens très utile et de montrer qu'on ne peut soigner les animaux sans se préoccuper des conditions dans lesquelles ils vivent
- La session II s'intitule *Maladies virales* et comporte 133 pages,
- la session III dite des *maladies bactériennes* compte 115 pages,
- la session IV, *Autres maladies*, forte d'une centaine de pages, regroupe les maladies fongiques, les maladies parasitaires, les maladies nutritionnelles, environnement et pathologie,

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Membre de l'Académie vétérinaire de France.

- la session V, mesures sanitaires, aborde des sujets divers qu'il serait pour le moins très maladroit d'ignorer (toxi-infections, qualité de l'eau, zoonoses aviaires, etc...),
- la session VI est consacrée aux autres espèces (canard, caille, perdrix, pigeon),
- la session VII aborde le problème des diagnostics différentiels.

Cet ouvrage représente un travail énorme, il fournit une masse d'informations introuvable ailleurs et il est remarquablement réalisé. Peut- il être lu par tous ? C'est le souhait des auteurs, il n'est pas sur qu'il soit facilement exaucé. Une chose est sûre : les professionnels de l'aviculture, les vétérinaires notamment, ont tout intérêt à l'avoir en quasi permanence sous la main.

Bravo à Jeanne Brugère Picoux, bravo à Jean-Pierre Vaillancourt et à tous leurs auteurs.

BON APPÉTIT ! QUAND L'INDUSTRIE DE LA VIANDE NOUS MÈNE EN BARQUETTE

par Anne de Loisy

Note de lecture de Jacques Risse¹



Le livre que je vais vous présenter a été écrit par Anne de Loisy et s'intitule « *Bon appétit- Quand l'industrie de la viande nous mène en barquette*. Paru en ce début d'année 2015, il a été édité aux Presses de la cité et comporte 450 pages.

Anne de Loisy, que certains d'entre vous connaissent peut-être, est journaliste d'investigation et a déjà écrit un certain nombre d'ouvrages dont *Bienvenue en France ! Six mois d'enquête clandestine dans la zone*

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Membre de l'Académie vétérinaire de France.

d'attente de Roissy. Elle a aussi travaillé pour plusieurs émissions de télévision : *Envoyé Spécial*, *Des racines et des ailes* ou *Capital*.

Le titre de l'ouvrage suffit à lui seul à vous indiquer quelles étaient les préoccupations de l'auteure quand elle a écrit ce livre. Journaliste d'investigation, elle a mené une enquête très fouillée sur le sujet. Elle a rencontré, questionné, discuté avec beaucoup de gens de tous milieux : des fonctionnaires de la DGAL bien sûr, de la Répression des fraudes, des Finances, des industriels et des ouvriers de la chaîne agroalimentaire, des éleveurs, des consommateurs, des membres de plusieurs ONG., elle a lu et relu des articles ou des ouvrages de ses collègues ou d'auteurs divers.

Elle a abordé toute une série de sujets. En voici quelques-uns, quelques-uns seulement :

- La DGAL : son rôle, ses handicaps, son insuffisance,
 - le rôle des vétérinaires, les difficultés rencontrées,
 - le rôle et la place des éleveurs, leurs difficultés,
 - les conditions d'élevage des animaux, leur alimentation, le logement,
 - l'épisode de la vache folle, la viande de cheval substituée à la viande de bœuf dans les lasagnes,
 - les conditions d'abattage des animaux,
 - les abattages halal et casher devenant la règle et non plus l'exception,
- Un certain nombre de façons.

Très clair, bien écrit avec beaucoup d'enthousiasme et de foi, ce livre, bien documenté tout à la fois l'œuvre d'un enquêteur pugnace et d'un procureur qui élabore son réquisitoire sans indulgence : la DGAL se fait étriller, les vétérinaires essuient des remontrances, les industriels de la viande, de toutes les viandes, sont cloués au piloris, les Pouvoirs publics au sens large accumulent les reproches (« réglementation », vues plus politiques que pratiques, inefficacité, coûts élevés, etc., etc.).

Ce livre présente l'incontestable avantage de pointer le doigt sur certaines pratiques inacceptables. Il attire l'attention sur des pratiques qu'il serait sans doute bon de revoir de plus près soit pour les modifier, soit au contraire pour les justifier.

Ceci étant, le livre lui-même n'est pas exempt de reproches. On ne peut pas lister les erreurs relevées, les excès de certaines critiques. La complexité et la lourdeur du sujet expliquent cela pour une part. Deux ou trois exemples suffiront : des poulaillers de plusieurs centaines de milliers de volailles ; les problèmes des techniciens des services vétérinaires, Quoiqu'il en soit, ce livre vaut d'être lu ne serait qu'en raison des réflexions qu'il suscite et des informations qu'il donne, il permet de répondre aux critiques, de les anticiper sans pour autant entrer dans la polémique, ce qui serait maladroit.

Quant au rapport de la Cour des Comptes de 2014, qui abordait pour une part le même sujet, il avait déjà fait l'objet d'une réponse de la part du ministre qui en réfutait certaines allégations et insistait sur l'efficacité du dispositif français largement reconnue en Europe et dans le reste du monde

LE PRODUIT AGRICOLE ET AGROALIMENTAIRE DANS LA MONDIALISATION DES ÉCHANGES - CONTRIBUTION À LA RECHERCHE D'UNE JUSTICE ÉCONOMIQUE INTERNATIONALE.

par Luis Alexander **Gonzalez-Martin**¹

Joseph Hudault² - Le travail de thèse de M. Gonzalez-Martin, qui a fait l'objet d'une première publication en décembre 2013, présente un très grand intérêt pour la connaissance du droit agroalimentaire dans les pays en voie de développement. L'auteur a une expérience de la recherche dans ce domaine comme le montre le contenu de son ouvrage.

La thèse qu'il présente se propose d'étudier, dès le départ, les causes et les conséquences des transformations dans les rapports entre le processus économique d'internationalisation du monde agroalimentaire et l'adaptation du droit national et international dans sa création et son application.

Cette double démarche a permis à l'auteur de développer une connaissance générale et approfondie des politiques agricoles des pays du Nord et du Sud et du fonctionnement des systèmes agroalimentaires grâce à une approche pluridisciplinaire de son sujet, ce qui lui a donné le moyen, notamment, d'exploiter diverses sources d'ordre juridique et économique.

L'auteur s'applique dans sa thèse à montrer quel est le « point nodal » où se réalise la rencontre entre les diverses perspectives. Car, selon lui, une des faiblesses des sciences juridiques en général tient à leur insuffisante réflexivité : Ainsi, jusqu'à quel point une sociologie du droit, une réflexion économique sur le droit, une théorie du droit, une histoire du droit, sont-elles vraiment possibles sans trahir l'esprit de la discipline juridique, c'est-à-dire sans passer franchement dans le camp des disciplines évoquées.

Si, au premier abord, sa démarche paraît sinuer, de manière erratique, entre plusieurs approches (en effet, une première partie porte sur la complémentarité entre divers effets de la libéralisation des marchés sur l'alimentation et sur le comportement des consommateurs, mais s'élargit en outre à d'autres phénomènes qui concernent de façon quasi universelle le secteur de l'agroalimentarité, à savoir une concentration croissante dans le secteur de la distribution, le développement de nouvelles technologies et de nouveaux usages pour les terres agricoles, la question du contexte économique de la production des agrocarburants étant à cette occasion abordée), ces différentes approches qui font appel autant à l'histoire, à la sociologie et à l'économie qu'aux institutions juridiques, permettent de dégager une certaine permanence des données qui concernent le commerce mondial et sont autant de composantes de l'histoire des politiques agricoles. Bien plus qu'une introduction aux négociations qui se déroulent au sein de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), ce travail de M. Gonzalez apporte une clef de lecture pour comprendre les tendances en œuvre dans le champ agroalimentaire. Enfin, l'auteur élabore une analyse consacrée aux transformations du droit international, soit dans le registre des institutions internationales, soit dans un registre purement jurisprudentiel.

Il faut signaler que l'analyse menée par M. Gonzalez s'inscrit pleinement dans le sillage des travaux du Comité Européen de Droit Rural sur les rapports entre agriculture, environnement et alimentation et sur les effets des régulations internationales sur les structures juridiques nationales et régionales.

Il faut aussi souligner l'intérêt de l'étude menée par l'auteur sur l'activité de l'Organe de Règlement des différends (ORD) de l'Organisation Mondiale du Commerce, dont il reconnaît l'efficacité limitée mais dont il pense qu'elle peut être le germe d'une évolution positive. Il s'agit là, écrit-il, d'un défi posé à

¹ Thèse en droit international soutenue à l'Université Panthéon-Sorbonne (dans l'UFR 07 : Droit international et européen, Droit international public, Droit international économique) le 18 janvier 2012.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France, professeur émérite de l'université Paris I Panthéon-Sorbonne.

l'institution, le juge, en interprétant les accords qui régulent le commerce international, leur donne un sens et ce sens influe sur leur finalité. Ce juge peut ainsi nuancer, infléchir, pervertir voire contrarier la politique économique voulue par les accords signés par les Etats. Et cela même si la capacité de ce juge à jouer ce rôle n'est pas apparemment parvenue à faire l'unanimité.

L'auteur rappelle à cette occasion que dans le cas des marchés agroalimentaires, les produits qui y sont échangés ne sont pas comme les autres. Et il fait le constat du caractère fictif d'un ordre économique international porté par la « main invisible » où la préoccupation alimentaire apparaîtrait dès lors que l'intérêt public se retire. Il n'est plus concevable, écrit-il « de compter sur la finalité des données qui circulent par la voie des prix entre les producteurs et les consommateurs, *Wall Street* ou le *Minneapolis Grain Exchange* font fi de la stabilité des marchés agricoles ».

En définitive, l'auteur qui constate à regret l'existence d'un système agroalimentaire internationalisé hautement concurrentiel qui ne prend en compte que des intérêts sectoriels et où n'existe pas, à son avis, la dimension de l'intérêt général, souhaiterait que se substitue peu à peu un système dans lequel l'enjeu devrait être global et coopératif. En effet, conclut-il, la croissance des échanges au nom de l'intérêt de certains qui ne recherchent qu'à accroître leur profit, ne doit pas s'exonérer de conditions politiques dans lesquelles la planète devrait se développer. Sa conviction est qu'il est indispensable d'établir une régulation qui permette la stabilité et la redéfinition du rôle du public quant à ce qui est de l'intérêt général dans le système agroalimentaire mondial.

INFLUENCE DE LA DIVERSITÉ EN ESPÈCES D'ARBRE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE ET CARBONE DES FORÊTS EN EUROPE¹

IMPACT OF TREE SPECIES DIVERSITY ON CARBON AND WATER RELATIONS IN EUROPEAN FORESTS

par Charlotte **Grossiord**

Yves Birot² – Le travail de thèse de Charlotte Grossiord constitue un travail pionnier sur l'influence des interactions des espèces d'arbres dans les forêts mélangées³ en Europe sur leur fonctionnement hydrique et carboné et sur leur capacité à résister aux événements de sécheresse. Cette problématique s'intègre dans les questions actuelles en écologie des communautés, dans le contexte des changements climatiques, sur le rôle potentiellement bénéfique pour les forêts de ces interactions. Il est suggéré en effet que les forêts mélangées sont plus productives et plus résistantes à des attaques de bioagresseurs que les forêts pures, en raison de processus tels que la facilitation entre les espèces pour l'acquisition des ressources (eau, lumière, éléments minéraux) ou la complémentarité de niche écologique.

L'objectif central de la thèse est de tester pour les principaux types forestiers en Europe (de la forêt boréale aux forêts Méditerranéennes, en passant par les forêts tempérées de hêtre, les forêts tempérées de montagne, les forêts héli-boréales, ou les forêts thermophiles décidues) si les forêts composées d'une plus forte diversité en espèces d'arbre présentent un fonctionnement hydrique et carboné différent de celles en monoculture et si les forêts diversifiées semblent mieux adaptées aux futures contraintes climatiques (principalement l'intensification des sécheresses).

La démarche associe des concepts de l'écologie des communautés (interactions des espèces) et de l'écologie fonctionnelle (réponse des arbres à leur milieu). Elle s'intéresse au gradient de conditions climatiques en Europe et associe des mesures sur le fonctionnement actuel ou passé (dendro-isotopie) des arbres en lien avec les conditions de stress hydrique.

¹ Thèse de Doctorat en Biologie Forestière (Université de Lorraine, Nancy) dirigée par Damien BONAL, UMR INRA-UL Ecologie et Ecophysiologie Forestières et Arthur Gessler, WSL, Suisse, soutenue en octobre 2014 – 155 pages.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

³ Forêt composée d'au moins deux espèces d'arbre dans le peuplement dominant.

C. Grossiord s'est attachée à publier les résultats issus de ses travaux dans des revues internationales à comité de lecture ; elle propose alors un rapport de thèse qui se compose d'une synthèse globale de son travail en une soixantaine de pages et des différents articles publiés, au nombre de huit.

Dans la partie synthèse, elle présente de façon judicieuse le contexte global de ce travail, l'intérêt porté pour les forêts mélangées à travers le monde, le contexte des changements climatiques. Elle rappelle rapidement les concepts de l'écologie des communautés qui permettent d'élaborer les hypothèses sur les conséquences positives que peuvent engendrer les interactions des espèces d'arbre dans ces forêts mélangées. Elle souligne par ailleurs que les questions abordées dans ce travail ne prennent pas source au sein de la communauté scientifique, mais ont pour origine les incertitudes des gestionnaires privés ou publics sur l'adaptation des modes de gestion des forêts dans le contexte des changements climatiques : est-il pertinent, voire nécessaire, aujourd'hui de privilégier la gestion des forêts au profit de forêts mélangées, plutôt que des forêts pures monospécifiques, afin d'assurer le maintien, voire d'augmenter, les niveaux de production de ces écosystèmes dans un contexte où le climat sera plus chaud et les sécheresses plus fréquentes et intenses ?

Afin d'aborder ces questions pour les principaux types forestiers en Europe, l'auteure a mené de façon rigoureuse d'intenses campagnes de prélèvement de feuilles ou de carottes de bois dans différents peuplements à travers l'Europe. Elle a mis en place également des expérimentations ciblées permettant de répondre à des questions spécifiques, pour mesurer par exemple la transpiration des arbres tout au long de l'été ou leur profondeur d'extraction de l'eau. Pour ce faire, elle s'est appuyée sur un réseau unique de placettes forestières mises en place en Europe dans le cadre d'un projet Européen intitulé « FunDivEurope ».

Cette activité exceptionnelle sur le terrain accompagné d'un intense travail de laboratoire lui a permis d'acquérir un ensemble de données pionnières sur l'effet de la diversité en espèces d'arbre sur la transpiration et la composition isotopique du carbone des arbres et des peuplements en Europe, cette dernière mesure permettant entre autre de discuter des différences de résistance à la sécheresse de ces différents peuplements. A l'issue de ce travail, il apparaît clairement que le fonctionnement hydrique et carboné des peuplements forestiers en Europe dépend de la composition en espèces d'arbre dans ces peuplements. L'auteure apporte des éléments de réflexion très importants quant à l'origine de ces effets. De plus, elle démontre que les forêts mélangées ne sont pas nécessairement plus résistantes à la sécheresse que les forêts pures. En disséquant les différentes situations, elle a pu mettre en évidence que tout semble dépendre des espèces considérées dans ces peuplements et du contexte pedo-climatique local. Des effets positifs apparaissent dans les régions qui subissent de fréquentes et intenses sécheresses. Au contraire, dans d'autres régions (forêt boréale par exemple), les forêts mélangées sont plus sensibles à la sécheresse que les forêts pures de ces mêmes espèces.

Dans son travail, C. Grossiord ne s'est pas limitée à associer les concepts de l'écologie des communautés et l'écologie fonctionnelle avec succès. Elle a su également accompagner ses résultats scientifiques de recommandations à destination des gestionnaires forestiers. Ce travail alimente ainsi les discussions sur l'adaptation des modes de gestion forestière aux changements climatiques. Il soulève par ailleurs de nombreuses questions, sur les mécanismes biologiques ou biophysiques aériens ou souterrains à l'origine des effets des interactions des espèces.

La qualité du travail réalisé par C. Grossiord et son dynamisme sont illustrés par le nombre impressionnant d'articles scientifiques publiés (8 dont 7 en premier auteure) et par les conférences données sur son sujet, en Europe et aux USA. Ce niveau de production scientifique est exceptionnel pour une jeune chercheuse, considérant la durée de ce travail (3 années).

ÉTUDE DES CONSÉQUENCES DE L'ADAPTATION DE LA GESTION FORESTIÈRE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA BIODIVERSITÉ DU SOL ET LES INTERACTIONS PLANTES-LITIÈRE-SOL EN FUTAIE RÉGULIÈRE DE CHÊNE

par Ludovic **Henneron**

Jacques Ranger¹. – Le travail de thèse de **Ludovic Henneron**, intitulé « **Étude des conséquences de l'adaptation de la gestion forestière au changement climatique sur la biodiversité du sol et les interactions plantes-litière-sol en futaie régulière de chêne²** », a pour objectif d'étudier les effets possibles d'une atténuation des effets des changements climatiques, par une intensification des éclaircies sylvicoles, censées diminuer l'évaporation du peuplement et améliorer sa résistance à la sécheresse.

L'étude a porté sur un réseau de peuplements de chêne du Nord de la France, soumis à des éclaircies plus ou moins fortes ; l'humus est l'indicateur sensible du fonctionnement du sol. Une large gamme de situations écologiques a permis d'analyser les interactions entre type d'humus, croissance des peuplements et intensités d'éclaircies

Les collemboles ont été retenus parmi les organismes cibles pour étudier la réponse aux modifications de la litière de chêne liée aux éclaircies, induisant changement du microclimat et de la végétation spontanée : en fonction de leur caractère épi- ou hypogée, la réponse est différente. La macrofaune saprophage de macroarthropodes et de vers de terre a été analysée sur le même dispositif où des données concernant la respiration du sol, la production et le turnover de litières ont acquises. Les résultats montrent des effets très variables avec les groupes faunistiques considérés. Dans la litière, les diplopedes réagissent négativement à l'éclaircie contrairement aux isopodes et aux vers épigés. Les vers souterrains sont contraints de manière variée : les anéciques sont défavorisés tandis que les populations d'endogés augmentent, parallèlement avec la respiration du sol.

La quantité et la qualité des litières décroissent avec l'intensité de l'éclaircie, diminuant leur dégradabilité et ralentissant le recyclage de l'azote. La conceptualisation du phénomène conduit à un effet complexe de compétition entre le chêne et la végétation spontanée (ici peu décomposable) dont la diversité et la croissance sont sous la dépendance de la disponibilité en lumière et en nutriments ; le sol ne jouant qu'un rôle secondaire dans cette interaction.

Les répercussions sur le carbone du sol et sa dynamique sont étudiées en prenant en compte les modifications du climat, la végétation spontanée, la quantité et la qualité des litières restituées au sol, et les caractéristiques de la faune. Les résultats sont conformes à ceux de l'approche *ex situ* : l'éclaircie diminue le turnover dans les jeunes peuplements bien que la quantité de litière tombant au sol diminue. Le stock de carbone du sol reste inchangé. Le rôle du type d'humus est majeur.

Le travail utilise des méthodes *ex* et *in situ*, des méthodes statistiques pertinentes et élaborées, le plus souvent multi-variées, pour étudier les relations causales entre l'environnement et les peuplements faunistiques, ou entre l'environnement, la faune et la végétation pour analyser le fonctionnement du sol. Les nombreuses interactions sont prises en compte et le travail aboutit à une conceptualisation très pertinente.

L'atténuation de l'évaporation des peuplements forestiers par le jeu des éclaircies, conduit donc à des résultats contrastés en fonction des groupes faunistiques considérés, qui réagissent à des stimuli différents. Cette thèse met en lumière les conséquences fonctionnelles complexes pour les interactions plantes-litière-sol, des modifications biotiques et abiotiques liées à la modification du couvert forestier

¹ Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France. Directeur de recherche à l'INRA, Centre de Nancy Lorraine.

² Thèse soutenue le 29 septembre 2015, Université de Rouen, École doctorale normande de Biologie intégrative, Santé, Environnement.

Outre les apports à l'Écologie fondamentale, ce travail s'intéresse aux conséquences pratiques pour la gestion sylvicole. Atténuer les effets du changement climatique, contraint le sylviculteur à rechercher des compromis pour assurer à la fois le développement des arbres et le maintien des paramètres biotiques et abiotiques déterminantes quant à la décomposition des litières et au maintien de la qualité du sol.

Le jury a décerné le grade de Docteur en Biologie – Écologie de l'Université de Rouen à Ludovic Henneron, avec la plus haute distinction.

VULNÉRABILITÉ ET CAPACITÉ D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE DEUX SYSTÈMES VITICOLES MÉDITERRANEENS. UN CAS D'ÉTUDE COMPARATIF FRANCE (ROUSSILLON) – AUSTRALIE (MCLAREN VALE)¹

par Anne-Laure **Lereboullet**

Nicole Mathieu². – Cette thèse constitue un travail pionnier qui ouvre une nouvelle piste de recherche sur la problématique de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation à un changement environnemental. Cette problématique s'est imposée peu à peu comme un complément indispensable à l'étude des impacts du changement climatique menée à partir du régional vers le local des simulations numériques du climat futur.

L'objectif central de la thèse est de construire une méthode d'analyse originale de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation de professionnels dans deux vignobles – le Roussillon en France et le McLaren Vale en Australie - considérés comme des « systèmes socio-écologiques ». L'efficacité du choix de cette approche est justifiée par le fait qu'elle permet de comprendre comment dans un Système socio-écologique le changement d'une variable d'entrée a des répercussions sur les autres variables.

La démarche associe donc la climatologie prospective, l'agronomie et l'écologie des vignobles, l'économie de la production vinicole, la sociologie des acteurs et des organisations viti-vinicoles ; elle impose une confrontation entre la singularité des deux vignobles étudiés et la problématique globale de l'adaptation au changement climatique.

L'auteure s'applique d'abord à définir le concept de vulnérabilité, qui se décompose en exposition, sensibilité puis celui de capacité d'adaptation ; ces concepts sont rattachés à l'héritage et à l'évolution de la géographie des risques. Le concept d'adaptation est présenté avec un éclairage particulièrement pertinent en mobilisant l'analyse dynamique des systèmes et la notion de cycle adaptatif.

L'étude comparative des deux vignobles décline ensuite les trois volets de la vulnérabilité : 1. L'exposition au changement climatique est étudiée de façon rigoureuse à partir des données climatiques d'observation et de simulation, avec un soin apporté à la critique de la qualité de ces données et des incertitudes ; 2. L'étude de la sensibilité est menée essentiellement à travers l'agronomie des vignobles confrontée aux perturbations climatiques de la dernière décennie, considérées (à juste titre ?) comme les premières manifestations du changement climatique en cours. Est approfondi le lien entre climat et dates des vendanges, qui sont souvent utilisées, sans précaution, comme un « proxy » révélateur du changement climatique ; 3. L'analyse de la capacité d'adaptation, est abordée par la perception des risques, les mentalités et comportements face à l'innovation, le poids des structures démographiques et sociales, du contexte législatif et des organisations, le rôle identitaire de la production vinicole.

En s'interrogeant sur les notions de réflexivité et d'intentionnalité, est posée la question du paradoxe des conséquences d'une action humaine. Comment anticiper les conséquences d'une action ? Quels freins et quelles résistances se dévoileront et viendront détourner l'action de ses objectifs initiaux ? Les passages concernant la capacité d'adaptation et la résilience sont réussis. Dans la quatrième partie les stratégies d'adaptation des viticulteurs au changement climatique sur ces deux terrains d'étude sont analysées avec

¹ Thèse de doctorat en Géographie et Environnement soutenue en 2014 (Université Paris-Diderot – Paris), 491 pages.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

finesse sur la base des entretiens. Les pratiques actuelles mises en place par les viticulteurs, s'appuyant sur des évolutions techniques, se fondent sur l'empirisme. Des tentatives expérimentales sont menées pas à pas en tenant compte et des prescriptions législatives notamment contre lesquelles les critiques sont vives, et des fluctuations économiques. On pourrait croire à une belle capacité de résilience mais de fortes résistances sont à l'œuvre quant-il s'agit d'anticiper l'avenir. En effet, les viticulteurs semblent avoir une faible perception du changement climatique en cours et donc peu de vision prospective quant à une intention de se préparer à un futur dont ils ne veulent rien savoir. Ils semblent comme dépassés par leur condition d'homme. Seuls les événements extrêmes sont retenus et apparaissent comme emblématiques. Finalement, seules les questions ayant un impact direct sur leurs productions les sensibilisent et notamment la question de la vente de leur production.

Les propositions d'action : améliorer les perspectives économiques des viticulteurs (agriculture bio, diversifications horizontales et verticales) d'une part, et, d'autre part, créer un processus d'entraînement à partir des expérimentations de leaders ne sont certes pas nouvelles mais A-L. Lereboullet fait l'effort de proposer une vision prospective. Pour l'auteure la dynamique n'a de chance de se maintenir et de se développer que si elle s'appuie sur une identité viticole solide et donc une cohésion sociale et culturelle, elle-même soutenue par un appui institutionnel fort.

Ce travail soulève incontestablement des questions à approfondir sur l'adaptation au changement climatique : celle du terroir et de l'identité territoriale, celle du risque et de la capacité à le percevoir et l'anticiper, la question de la finesse des modèles et de leur portée prédictive aux différentes échelles, le rôle des différences institutionnelles... Un des intérêts majeurs du travail est de tenter de relier les dimensions physiques et sociales de la question en donnant toute son importance au choix et à la critique des concepts mais aussi à l'enquête et à la connaissance du « terrain ».

Peu de travaux ont jusqu'ici abordé de façon aussi complète et précise, à cette échelle, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation face au changement climatique. Ce travail est pionnier par la définition d'une évaluation rigoureuse de la vulnérabilité, et prouve l'efficacité d'une approche géographique et comparative appliquée à des territoires précis.

RÔLE DE LA FAUNE SAUVAGE DANS LE CYCLE ÉPIDÉMIOLOGIQUE DE *M. BOVIS* ET RISQUE DE TRANSMISSION ENTRE FAUNE SAUVAGE ET BOVINS. ÉTUDE EXPERIMENTALE EN CÔTE D'OR¹

par Ariane **Payne**

Barbara Dufour². – La situation actuelle de la France au regard de la tuberculose bovine est préoccupante. Après plus de quarante ans de lutte contre cette maladie zoonotique, la France obtenait en 2001 le statut européen convoité de pays officiellement indemne de tuberculose (statut cependant compatible avec la persistance de quelques foyers sporadiques). Cependant, certains signes dès le début des années 2000 étaient alarmants : ainsi, en 2000 un premier foyer d'infection par *M. bovis* dans la faune sauvage était découvert en Normandie sur un cerf élaphe ; parallèlement de 2002 à 2004 le nombre de foyers sporadiques dans certaines régions de Bourgogne (Côte-d'Or) et du Sud-Ouest (Dordogne) augmentait de manière inquiétante (10 puis 20 et jusqu'à 50 foyers par département dans des élevages bovins). Enfin, des investigations dans ces départements mirent en évidence des animaux sauvages infectés : cervidés mais également sangliers et blaireaux notamment à proximité d'élevages bovins ayant subi des plus infections successives.

¹ Soutenue le 14 mars 2014 à [Lyon 1](#), dans le cadre de [École Doctorale Evolution Ecosystèmes Microbiologie Modélisation](#), en partenariat avec [Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive](#) (équipe de recherche). 366 pages.

² Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Docteur d'Université en épidémiologie et HDR, Docteur vétérinaire, Enseignant chercheur en maladies contagieuses et épidémiologiques à l'École vétérinaire d'Alfort.

La tuberculose bovine a pour réservoir initial les bovins mais, comme la situation le montre dans de nombreux pays du monde, la faune sauvage peut non seulement s'infecter, mais également, dans certaines situations, pérenniser l'infection en jouant le rôle de réservoir, comme c'est le cas pour le blaireau en grande Bretagne, pour le sanglier en Espagne ou le possum en Nouvelle Zélande ! Il était donc particulièrement important de mieux connaître la situation en France et de répondre aux questions légitimes des éleveurs sur le rôle possible des espèces sauvages dans la contamination de leurs élevages. C'est dans ce contexte et dans un climat particulièrement tendu entre chasseurs et éleveurs de Côte d'Or que le travail de cette thèse s'est inscrit. Il a bénéficié d'un financement multiple (Région, Département, Etat, ONCFS, GDS) et a fait l'objet d'une forte attente de la part des partenaires.

L'objectif du travail était de cerner le rôle des espèces sauvages de Côte d'Or dans le maintien et la retransmission de l'infection à *M. bovis*, aux espèces domestiques.

Ariane Payne, jeune vétérinaire très motivée par l'épidémiologie et la faune sauvage a réalisé un travail considérable comme les épidémiologistes les affectionnent, c'est-à-dire avec une très grosse part de collecte de données sur le terrain avant une analyse épidémiologique fine et spécialisée. Elle a commencé son travail par presque 15 mois sur le terrain pour piéger, puis équiper de colliers GPS, une vingtaine d'animaux (sangliers et blaireaux) ; parallèlement elle a également, pendant plus d'un an, posé des caméras de vidéo-surveillance dans les principaux lieux de contacts entre bovins et animaux d'élevage. Toutes ces données récupérées, elle s'est livrée dans la deuxième moitié de doctorat, à une analyse complexe (modèles multivariés). Puis elle a couplé ces résultats à des données de densité d'animaux et des données d'excrétion de *M. bovis* par les individus infectés, également en partie recueillies pendant la thèse, afin de formuler des hypothèses sur le rôle que pouvaient jouer les différentes espèces sauvages locales dans le maintien et la transmission de *M. bovis*.

Outre la quantité et surtout la diversité (du terrain au modèle) du travail fourni finalement pas si fréquent pour des doctorants, Ariane Payne a toujours eu le souci de replacer son travail de recherche dans un concret opérationnel notamment en restituant régulièrement aux acteurs de terrain ses résultats, ainsi qu'en témoigne la plaquette de vulgarisation entièrement conçue par ses soins (et éditée par le GDS local). Ses qualités humaines, soulignées par tous les partenaires de son travail ainsi que par les éleveurs qui l'ont accueillie sur leurs exploitations et les chasseurs qui l'ont accompagnée dans ses piégeages de terrain, lui ont en effet permis de fédérer localement des acteurs initialement en conflit sur ce sujet, ce qui a été unanimement salué.

Thèse téléchargeable à : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01081144>.

ÉTUDE DE LA REMOBILISATION DES MÉTAUX AU COURS DE LA SÉNESCENCE FOLIAIRE DANS LE CADRE DE LA RÉHABILITATION DES SOLS POLLUÉS¹

par Mathieu **Pottier**

François **Blondon**². – Les activités industrielles du siècle précédent, l'intensification de l'agriculture et l'urbanisation ont engendré d'importantes pollutions des sols par les éléments traces métalliques (ETM) tels que le zinc et le cadmium, qui constituent un risque pour l'environnement comme pour l'homme. Depuis le début des années 1990, différentes stratégies de phytoremédiation ont été proposées pour réhabiliter les zones polluées par les ETM. Parmi ces stratégies, la phytoextraction consiste en l'absorption et l'accumulation par les plantes des ETM présents dans les sols. Dans le but de mettre en place cette voie de réhabilitation, il a été proposé d'utiliser le peuplier en raison de sa croissance rapide, de son importante biomasse et de la possibilité de valorisation énergétique de son bois, même contaminé par les ETM.

¹ Thèse de doctorat de l'Université Paris-Sud (Discipline : Biologie) soutenue le 13/03/2014, 175p.

² Membre de l'Académie d'Agriculture. ISV-CNRS 91190 Gif-sur-Yvette.

Cependant, la majeure partie des métaux absorbés par cet arbre n'est pas accumulée dans le bois mais se trouve drainée jusqu'aux feuilles alors que celles-ci chutent à l'automne. L'efficacité de phytoextraction du peuplier peut donc se trouver limitée si aucun mécanisme de remobilisation des ETM n'est mis en place au cours de la sénescence automnale.

Les principaux objectifs de ces travaux réalisés à l'Institut des Sciences du Végétal sous la direction de Dr Sébastien Thomine, étaient de rechercher au sein de la diversité génétique du genre *Populus*, des cultivars efficaces pour remobiliser les ETM des feuilles vers les parties pérennes et d'identifier des mécanismes nécessaires à ce processus. Pour cela, une étude a été réalisée sur la parcelle expérimentale de Pierrelaye, polluée suite à un siècle d'épandage d'eaux usées provenant de la ville de Paris. Des mesures de contenu en métaux, d'expression de gènes et des analyses corrélatives ont ouvert de nouvelles pistes concernant la gestion des métaux foliaires. Parce que la vacuole constitue le principal lieu de stockage des métaux de la cellule, les protéines d'efflux vacuolaire NRAMP (Natural Resistance-Associated Macrophage Protein) représentent de bons candidats pour stimuler la remobilisation des métaux foliaires. La caractérisation de leurs homologues chez le peuplier a donc été entreprise. De plus, afin de contrôler indépendamment le transport des métaux essentiels et non-essentiels, il a été recherché et identifié les déterminants structuraux impliqués dans la discrimination entre les métaux chez les NRAMP. Enfin, dans le but d'étudier l'implication dans la remobilisation des métaux, de mécanismes plus généraux, le rôle de l'autophagie a été testé chez *A. thaliana*. Ces travaux ont indiqué pour la première fois que l'autophagie est nécessaire pour assurer une efficace remobilisation des métaux essentiels au cours de la sénescence. En combinant des études en champ sur le peuplier et de génétique moléculaire chez *Arabidopsis*, ce travail permet de proposer différentes pistes pour diminuer spécifiquement l'accumulation des ETM dans les feuilles de peuplier.

Cette thèse de Mathieu Pottier présente toutes les qualités pour la médaille d'argent, comme l'avait déjà reconnu notre Section en 2014. Médaille d'argent qui récompense les excellentes thèses.

ATTRACTIVITÉ DES ALIMENTS ET CONSOMMATION ALIMENTAIRE CHEZ LES PERSONNES AGÉES SELON LEUR STATUT COGNITIF¹

par Virginie Pouyet

Hervé This². – Les travaux de Virginie Pouyet touchent à un domaine particulièrement important au plan sociétal : l'alimentation des personnes âgées, spécifiquement la population atteinte de troubles cognitifs.

Avec le vieillissement de la population, on observe une augmentation des pathologies neurodégénératives liées à l'âge, la plus représentée et la plus connue étant la démence de type Alzheimer. La population accueillie en EHPAD (Établissement d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes) souffre donc de plus en plus de troubles cognitifs associés à ces pathologies.

Dans ce contexte, le repas constitue un enjeu de taille pour au moins deux raisons. Premièrement l'alimentation doit fournir des apports nutritionnels suffisants pour cette population à risque de dénutrition. En effet, la dénutrition touche 15 à 38 % des personnes âgées en EHPAD et davantage encore de personnes qui souffrent de troubles cognitifs. Deuxièmement le repas reste une des dernières activités de la journée en EHPAD, surtout pour les personnes âgées qui souffrent de troubles cognitifs. Il est donc important de favoriser le plaisir à travers l'alimentation dans une optique d'amélioration de la qualité de vie.

¹ Thèse menée en collaboration avec le Centre de Recherche de l'Institut Paul Bocuse, ABIES - AgroParisTech et Orpea. Soutenue le 9 janvier 2015.

² Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Physico-chimiste INRA, Directeur de l'International Center for Molecular Gastronomy, Directeur scientifique de la Fondation Science et Culture Alimentaire (Académie des Sciences).

L'étude des préférences alimentaires des personnes âgées s'est aujourd'hui diversifiée, étant donné l'importance du marché que représentent les personnes âgées dans le secteur alimentaire. En revanche, peu d'études ont été spécifiquement consacrées aux personnes âgées atteintes de troubles cognitifs. Pourtant les troubles cognitifs, notamment ceux qui atteignent les sens et la mémoire, peuvent modifier la façon dont les aliments sont perçus, appréciés et consommés.

Au cours de sa thèse, Virginie Pouyet (École doctorale ABIÉS) a eu pour objectif de mieux comprendre les déterminants de l'appréciation et de la consommation alimentaire chez les sujets âgés, en considérant le niveau de leur atteinte cognitive et en développant des méthodologies d'étude et des solutions alimentaires adaptées. Il a été conduit conjointement entre le centre de recherche de l'Institut Paul Bocuse, l'UMR GENIAL AgroParisTech-INRA et la Société ORPEA, dans le cadre d'une convention CIFRE.

Un premier axe de recherche a porté sur la compréhension des mécanismes de l'attractivité des aliments chez le sujet âgé. Les résultats montrent que des facteurs sensoriels (liés à l'aliment et à ses propriétés sensorielles, tels que son goût ou son apparence visuelle), mais aussi des facteurs cognitifs (liés au sujet et ses représentations en mémoire, telle la familiarité pour un aliment) participent ensemble à son appréciation.

Un second axe de recherche a été consacré à la comparaison de l'influence du goût, de l'apparence visuelle et de la familiarité sur l'appréciation et la consommation alimentaire de sujets âgés, selon le niveau de leur atteinte cognitive (statut cognitif). Les résultats indiquent, d'une part, que les facteurs sensoriels sont des facteurs d'attractivité chez les sujets âgés quel que soit leur statut cognitif et, d'autre part, que la familiarité n'a pas d'influence sur la consommation alimentaire des sujets qui souffrent de troubles cognitifs. Chez les sujets sans troubles cognitifs, la familiarité, et aussi l'accessibilité alimentaire ou la motivation à manger, apparaissent comme des facteurs supplémentaires de consommation.

Le travail conduit souligne bien que les mécanismes de l'attractivité et de la consommation alimentaire sont modifiés chez les personnes âgées atteintes de troubles cognitifs et qu'il est donc nécessaire de mettre au point des offres alimentaires spécifiques pour ces patients. Dans cette optique, le travail de Virginie POUYET identifie des leviers potentiels de l'appréciation et de la consommation alimentaire chez les sujets âgés selon leur statut cognitif. Plus globalement, ce travail de thèse argumente la nécessité de travailler davantage sur l'offre alimentaire en EHPAD au cours du repas. Il montre qu'il existe des moyens de valoriser le repas en EHPAD pour le rendre plus attrayant, de sorte qu'il soit davantage consommé. Un effort conjoint des politiques de prévention, des professionnels de santé, des professionnels de la restauration et des administrateurs des établissements est nécessaire pour faire valoir le repas comme un levier pour lutter contre la dénutrition et améliorer la qualité de vie des sujets âgés vivant en EHPAD.

PLACE DE L'AZOTE DANS L'INTERACTION PLANTE - PLANTE PARASITE : *Brassica napus* L. - *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel¹

par Zachary **Gaudin**

Yves Lespinasse² – Le travail de thèse de Zachary Gaudin constitue une percée remarquable sur un sujet peu abordé mais dont l'incidence agronomique devient très préoccupante. L'orobanche rameuse (*Phelipanche ramosa*) dépend entièrement, pour son développement, des nutriments qu'elle prélève dans le

¹ Thèse de Doctorat en Biologie et Agronomie – Spécialité : Physiologie végétale. Ecole doctorale VENAM – année 2013. Université de Nantes – UFR Sciences et Techniques – Laboratoire de Biologie et de Pathologie végétale. Soutenue le 11 octobre 2013 – directeur de thèse Philippe Simier, Professeur – 433 pages.

² Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

phloème de sa plante hôte. Le sujet de thèse portait sur le rôle de l'azote dans l'interaction orobanche rameuse - colza d'hiver (*Brassica napus* L.).

Les résultats obtenus montrent l'importance de la fertilisation soufrée pour l'exsudation du stimulant principal de germination des graines d'orobanche ainsi que la diminution de la sensibilité du colza à l'orobanche lors d'une carence en azote. L'analyse des flux globaux d'azote a souligné l'importance du puits précoce que représente l'orobanche vis-à-vis de l'azote réduit circulant dans l'interaction. L'analyse des composés transférés de l'hôte vers le parasite et accumulés dans ce dernier a permis de souligner l'importance des aminoacides et plus particulièrement de la Glutamine comme transporteur d'azote longue-distance, mais également d'autres composés azotés spécifiques du colza (S-méthyl-L-cystéine sulfoxide, glucosinolates...). Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes dans le contexte actuel, notamment vers la sélection de variétés de colza plus économes en azote, selon des critères découlant des résultats de la thèse.

Au final, la thèse de Zachary Gaudin apporte des résultats fondamentaux de premier plan sur l'interaction orobanche rameuse - colza d'hiver. L'ensemble de ces résultats ouvre des perspectives d'applications très intéressantes pour la sélection de nouvelles variétés de colza plus tolérantes à l'orobanche rameuse.

VISITE DE LA FERME DE GALLY

Claude Sultana¹. – Le mardi 19 mai Xavier **Laureau** accueillait à la ferme de Vauluceau un groupe de confrères de l'Académie d'Agriculture de France pour une visite de la Ferme de Gally, plus précisément des Fermes de Gally, qu'il a préparée avec Christian **Maréchal**. Cette visite aurait pu s'intituler « *de l'agriculture traditionnelle à l'agriculture de services* ».

Située au sud du triangle de Rocquencourt, au nord-ouest du parc du Château de Versailles, Les Fermes de Vauluceau et de Gally sont en situation périurbaine. Ce n'est pas la position la plus favorable pour une production agricole traditionnelle, aussi Gérard **Laureau**, père de Xavier et Dominique aujourd'hui à la tête de l'entreprise, a su très tôt tourner à son avantage cette situation en abordant l'intensification et la diversification de ses activités.

Avec l'appui de notre confrère Jean-Paul **Charvet**, Xavier **Laureau** réfléchit à la valorisation des opportunités périurbaines, en allant depuis plus de trente ans à la recherche d'exemples aux USA et au Canada notamment.

Aujourd'hui l'entreprise compte trois exploitations, une en nom propre de 60 ha et deux en SCEA, l'une de 180 ha dont 40 dans le parc de Versailles et l'autre d'environ 100 ha vers Thiverval.

Dans les années 60, Gérard **Laureau** développe un atelier de poules pondeuses à Bois d'Arcy. En 1968 il crée des serres horticoles et une pépinière de plein champ. Ces diversifications lui donnent déjà à l'époque l'idée d'ouvrir, au sein de La Ferme de Gally, un magasin pour y vendre les œufs et les végétaux produits sur place.

Par la suite les activités se sont diversifiées dans trois directions :

- A partir de 1973 en créant les activités de services de paysagisme d'extérieur et d'intérieur à destination des entreprises.

- A partir de 1983 en créant la cueillette.

D'abord développée sur des parcelles de fraises et de haricots, la cueillette occupe maintenant 60 ha. La fréquentation peut y être très irrégulière. Elle est, entre autres contraintes, très dépendante du climat... On peut imaginer la flexibilité du personnel pour s'ajuster à la demande!

- En 1995, création de la première Ferme pédagogique dans l'aile nord de la Ferme de Gally, anciens bâtiments d'élevage reconvertis par la suite en séchoir à maïs.

La Ferme pédagogique vise à la fois un public scolaire en semaine et les familles durant les weekends, jours fériés et vacances scolaires.

Les enfants peuvent prendre part à différents ateliers : fabrication de pain, extraction de miel, fabrication de jus de pommes, d'huile de colza, de beurre... A proximité de la Ferme pédagogique, différents labyrinthes (maïs, seigle et plus récemment de charmilles), complètent l'offre ludique à destination des enfants.

Une deuxième Ferme pédagogique a été créée en 2005 à Sartrouville sur une exploitation maraîchère de 2ha dont le propriétaire avait cessé son activité en exprimant le souhait que les bâtiments conservent une vocation agricole.

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien Directeur de l'ITL.

Aujourd'hui l'activité agricole représente moins de 5 % du CA de l'entreprise, elle occupe une trentaine de personnes sur un effectif total de 500 personnes. Elle est néanmoins essentielle car liée aux racines de cette PME familiale.

D'autres métiers se sont développés ou ont pris de l'ampleur :

- La partie commerce continue son développement. Le premier magasin créé en 1968 (vente d'oeufs et de plantes produits sur la ferme) existe toujours au niveau de la Ferme de Gally. Il est articulé autour d'une offre végétale, de produits de décoration de la maison et du jardin et d'un important espace alimentaire axé autour des produits du terroir. Depuis quelques années le Café Gally y propose un vrai espace de restauration. Un second point de vente propose sur Sartrouville une offre de produits classiques du milieu de la jardinerie. Un autre magasin axé sur les produits alimentaires du terroir, auquel sera adossé un espace de restauration, ouvrira prochainement à Feucherolles.
- Les activités de paysagisme se sont fortement développées durant la dernière décennie. Initialement développées depuis la Ferme de Gally puis sur celle de Vauluceau, différentes agences ont par la suite vu le jour en régions (Nantes, Lyon, Bordeaux...). Les dépôts sont d'importance variable, nécessitant de trois à quarante personnes. L'objectif est d'amener la nature dans les entreprises et dans différents lieux publics de la ville (centres commerciaux, gares, aéroports etc.). C'est un métier de savoir-faire dans des lieux où les risques de dégradations sont permanents.
- Une activité de décors événementiels a également été développée. Elle fait appel à des produits naturels et/ou de substitution comme les arbres semi-naturels. Les murs de nature alliant végétaux et rondins sont très appréciés.
Cette activité est particulièrement exigeante, la réactivité et la créativité sont ici indispensables.

Les activités de paysagisme ont généré la création d'un bureau d'études paysage avec des compétences dans les domaines de l'expertise, du diagnostic et l'élaboration des projets, ainsi que d'une cellule de conseil en agriculture urbaine.

- Enfin, depuis une dizaine d'année, Les Vergers de Gally développent en Ile de France le premier service de livraison de fruits au bureau. Ce service se met en place depuis peu dans d'autres régions.

Après cette présentation de l'entreprise, Xavier **Laureau** présente Bruno **Gansel**, responsable de la communication, qui prend le relais pour conduire le groupe dans les visites extérieures.

Depuis la cour de la ferme, on constate bien cette situation en limite du parc de Versailles et de l'Arboretum de Chèvreloup au sud, Rocquencourt à l'est, la bifurcation des autoroutes A 12 et A 13 au nord/nord-ouest et le plateau céréalière de Gally à l'ouest. Heureusement, depuis 1976 la zone a été classée zone naturelle d'équilibre ce qui assure la survie des activités agricoles.

La visite commence par les grandes serres de Vauluceau. Elles servent pour la préparation des événements et l'hivernage des grands végétaux. On y voit différents types de murs végétalisés sur feutre, laine de roche, sphaigne etc.

Le groupe se déplace ensuite dans les parcelles de fraises sur gouttières de cueillette. Les plants y sont cultivés dans des bacs surélevés, plantés dans un substrat contenu dans un boudin en matière plastique, qui reçoit une irrigation fertilisante en goutte-à-goutte. La cueillette est ainsi facilitée : les fruits ne sont pas souillés de terre et le cueilleur n'a pas à se baisser pour récolter.

La cueillette est ouverte du 1^{er} avril au 15 novembre avec une pointe de fréquentation entre juin et octobre. Les cueilleurs ont à disposition des brouettes et des paniers et ils passent par une caisse à la sortie pour la pesée et le règlement. On comprend la difficulté qu'il peut y avoir à mettre à disposition un nombre de caisses suffisant pour que les délais d'attente des visiteurs soient supportables. A une question sur le gaspillage et le devenir des fins de récolte, il est répondu que le gaspillage est négligeable, la consommation

sur place très limitée et que les fins de récolte sont abandonnées, la valeur des produits ne couvrant pas les frais de récolte.

La Ferme de Gally est l'étape suivante de la visite. C'est une concession de l'état. Les bâtiments sont répartis autour d'une grande cour carrée. Les plus anciens datent du 11^{ème} siècle, d'autres du 12^{ème}, 13^{ème}, 17^{ème} et 18^{ème}. Un inventaire de la ferme est conservé au Vatican car c'est une ancienne grange d'abbaye. Le corps de bâtiment en façade ouest est partiellement habité et l'aile nord abrite depuis 1995 la ferme pédagogique où les jeunes visiteurs peuvent pratiquer les activités citées précédemment.

Après un déjeuner pris au Café Gally, le groupe se rend sur le démonstrateur d'agriculture urbaine, situé sur la commune de Saint-Cyr l'École. Ce site a pris place sur une ancienne décharge de produits inertes (essentiellement du remblai issu de la création de l'autoroute A12). Ici, une série de panneaux retrace l'histoire de la parcelle. Au 18^{ème} siècle elle faisait partie du territoire de chasse du Roi, jouxtant la faisanderie de Moulineaux. Vers 1930, il s'agissait de terres agricoles. Vers 1950, avec les aménagements du secteur on observe un début de dépôt de terre. En 1970, la topographie est fortement modifiée par des apports de terre. En 1987, la parcelle commence à se végétaliser, et le site est utilisé comme terrain de motocross. L'activité de décharge reprend en 1993 avec l'apport de terre en provenance de chantiers voisins comme l'élargissement de l'autoroute A12. A partir de 1999, le site sert occasionnellement de décharge sauvage.

En 2012, Les Fermes de Gally font l'acquisition du foncier et permettent le développement du projet "Les Fermes en Ville", 1^{er} démonstrateur de l'association le Vivant et la Ville. L'objectif est de démontrer la faisabilité d'une valorisation innovante aux plans économique, social et environnemental de surfaces délaissées ou dégradées en zone urbaine ou périurbaine. Les travaux d'aménagement de la plateforme ont débuté en 2012 après avis favorable de la commission des sites. Ils ont bénéficié de l'opportunité d'un apport de terre d'un chantier d'excavation voisin (station d'épuration), suffisant pour niveler la plateforme avec une couche d'une épaisseur moyenne de 1 m. La plateforme est conçue avec une pente qui collecte et dirige vers l'axe central les eaux pluviales et de drainage pour les déverser dans un bassin où elles sont épurées avant d'être recyclées en irrigation.

Sur la plateforme est prévue une vitrine des techniques de culture hors sol et l'installation de jardins en cours de réalisation. Ces jardins sont constitués de lots de 50 m² comportant des banquettes surélevées bordées de rondins, chacune d'une surface de 10 m² (5 x 2 m). Chaque lot dispose de 2 banquettes et demie avec possibilité d'irriguer. Il s'agit bien de jardins hors-sol qui sont loués.

Gérard **Tendron**, Secrétaire perpétuel de l'Académie d'agriculture, remercie Bruno GANSEL et, par son intermédiaire, Xavier **Laureau** pour cette journée de découverte des diversifications qui ont été trouvées pour s'adapter au contexte des changements dans les zones périurbaines. Il est frappé par la pérennité du site et la réponse aux évolutions de la société.

Enfin il note que le mode de conduite des cultures pour la cueillette est une idée de génie pour le producteur qui s'affranchit de la contrainte de gestion d'un personnel pour une activité saisonnière en offrant des conditions de facilité pour la clientèle.

Le groupe se disperse autour de 16 h.

VISITE DE L'ACADEMIE D'AGRICULTURE A L'INRA DE LUSIGNAN.

(25 Juin 2015)

Gilles Lemaire¹. – Cette visite, organisée par l'Académie d'Agriculture de France, dans le cadre du Colloque « **Utilisation du potentiel biologique des sols, un atout pour la production agricole** » qui a eu lieu le 24 Juin à Paris avait pour but d'illustrer le rôle des sols et de la biodiversité qu'ils hébergent sur la régulation des cycles biogéochimiques et des impacts environnementaux qui découlent des modes d'utilisation et de gestion des terres par l'agriculture.

Le dispositif expérimental SOERE-ACBB de l'INRA, installé en 2005 sur une superficie de 25 ha, permet de mesurer l'évolution de l'ensemble des variables d'état du sol sur le long terme en fonction de diverses modalités d'occupation du sol par l'agriculture: cultures arables vs prairies, fauche vs pâturage, niveaux contrastés d'apport de N, introduction de légumineuses... Les variables d'état du sol concernent les caractérisations physiques et chimiques du sol, aussi bien que les diverses composantes biologiques. Le dispositif permet de mesurer en continu les principaux flux d'éléments entrants et sortants du sol afin d'établir des bilans et expliquer d'une part les évolutions de variables d'état constatées et les émissions environnementales qui en découlent vers l'atmosphère et vers l'hydrosphère : flux de C et capacité de séquestration du CO₂ atmosphérique du sol, bilans hydriques et capacité de recharge des aquifères, bilans des exportations d'éléments minéraux, évolution des stocks et de la fertilité des sols, lixiviation du nitrate et des autres éléments et qualité des eaux souterraines, émissions de N₂O et bilans de GES. Après 10 ans d'acquisition de données des résultats quantifiés mettent en relation des modes d'occupation des sols contrastés avec des évolutions constatées et différenciées du fonctionnement du sol et de ses conséquences agronomiques et environnementales. La visite de ce dispositif est une illustration concrète des débats scientifiques qui auront eu lieu lors du Colloque au cours duquel le couplage entre les processus physiques, chimiques et biologiques aura été au centre des discussions.

Après l'accueil des 40 participants au Domaine Expérimental INRA des Verrines à Lusignan, propriété de la **Fondation Xavier Bernard**, un exposé d'Abad **Chabbi**, responsable du dispositif ACBB (Agrosystème, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité) a permis de présenter les enjeux scientifiques aux niveaux national, européen et international d'un tel dispositif d'observatoire et d'expérimentation multidisciplinaire de long terme pour intégrer les connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes continentaux face aux pressions humaines et au changement climatique. Puis Cornélia **Rumpel** a montré la complexité spatiale aux différentes échelles de l'organisation des sols sur le site et ses conséquences sur les études des dynamiques de C et N. Une visite sur le terrain a permis de montrer à la fois l'étendue du dispositif qui occupe 25 hectare et permet d'étudier l'impacts de plusieurs facteurs de gestion des sols : (i) introduction de séquences de prairies de durées différentes (3-6 et >20 ans) dans des rotations céréalières (maïs-blé-orge) ; (ii) intensité des apports de fertilisation N ; (iii) intensité du recyclage des éléments nutritifs (fauche vs pâturage)...et l'intensité et la diversité des mesures de contrôle des variables d'état du sol et des flux vers l'atmosphère et l'hydrosphère : profils de température et d'humidité du sol, prélèvement et analyse de la solution du sol, lysimétrie, échantillonnage et analyse de sol, indicateurs de biodiversité du sol (microflore et faune), adventices et stocks de graines du sol, lixiviation du nitrate et de l'ensemble des autres éléments, flux de CO₂ et H₂O vers l'atmosphère, émissions de N₂O...

Après un buffet copieux et excellent offert par la **Fondation Xavier Bernard**, les débats ont repris en salles autour d'un certain nombre d'exposés de résultats obtenus après 10 années d'expérimentation ayant permis de faire évoluer de manière divergente les différents traitements.

¹ Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

François **Gastal** (INRA Lusignan) a présenté les résultats d'une comparaison entre prairies fauchées et prairies pâturées sur les différents termes du bilan de C des sols. Il ressort que les prairies fauchées, bien qu'incorporant un flux net de C plus important que les prairies pâturées, présentent une incorporation plus faible de C dans le sol que les prairies pâturées du fait d'une plus forte exportation de C par les foins et ensilages. Une analyse à l'échelle du système entier, prenant en compte l'utilisation des fourrages produits à l'étable et le devenir des déjections (fumiers et lisiers) doit venir compléter cette analyse restreinte à l'échelle de la parcelle.

Sylvie **Recous** (INRA Reims) a présenté des résultats sur les flux couplés de C et N et des dynamiques de communautés microbiennes lors des changements d'occupation des sols : retournement et remise et culture de prairies et réinstallation de nouvelles prairies après culture. La minéralisation de C et N est très rapide mais assez fugace après retournement des prairies...alors que la reconstitution des stocks lors de la réinstallation d'une nouvelle prairie est beaucoup plus lente. Les activités dénitrifiantes des communautés microbiennes restent toujours assez élevées sous prairies en terme potentiel (forte concentration en C soluble) mais elles restent en fait très limitées du fait du très faible temps de résidence du nitrate dans le sol du fait de l'activité d'immobilisation et de réorganisation par les plantes et les communautés microbiennes.

Jean-Louis **Durand** (INRA Lusignan) a montré que sur une période de 9 ans, l'introduction de séquences de prairies dans les rotations céréalières avait un fort pouvoir d'abattement de la concentration en nitrate des eaux de drainage. Il s'avère que la remise en culture d'une prairie temporaire ne provoque pas de risque accrue de lixiviation de nitrate lors des séquences de culture ultérieures. De plus, la fertilisation azotée de la prairie n'accroît que de façon très marginale les teneurs en nitrate de ses eaux drainées. Il ressort donc que la prairie exploitée en fauche, même intensifiée, présente un moyen puissant pour diminuer la charge en nitrate au niveau d'un bassin versant. La contre partie étant qu'on provoque ainsi une diminution notable de la hauteur de la lame d'eau drainante et donc de la recharge potentielle des nappes.

Abad **Chabbi** (INRA Lusignan) a montré que l'émission de N₂O sous prairie restait très faible de manière générale et limitée aux périodes suivant les apports d'engrais suivies par des fortes pluies. Ceci est à rapprocher des résultats montrant les très faibles concentrations en nitrate dans le sol sous prairie. Lorsque la prairie est retournée il y a par contre d'importantes émissions liées à la forte production de nitrate (flush de minéralisation). Ceci est donc tout à fait cohérent avec les résultats présentés ci-dessus.

Guénola **Peres** (AgroCampus Rennes) a montré la forte incidence de la prairie sur les communautés de lombriciens dans le sol. Les différentes espèces ne sont pas impactées de la même manière par le mode d'utilisation des terres (culture-prairies). L'intensification de la prairie via la fertilisation azotée semble jouer un rôle important via la production primaire épigée.

En résumé, l'ensemble des exposés et de la visite a permis de dégager la forte cohérence existant entre les différents résultats obtenus sur différents paramètres et fonctions des sols. C'est cette cohérence d'ensemble qui est le point central d'un tel dispositif, montrant que l'analyse du fonctionnement d'un agro-écosystème nécessite avant tout d'explicitier les interactions entre les processus élémentaires que seule une approche résolument interdisciplinaire de long terme permettent de révéler.

Au nom de l'ensemble des participants, l'Académie d'Agriculture remercie chaleureusement les chercheurs et le personnel de l'INRA de Lusignan qui ont organisé cette visite sur le terrain, pour la qualité de leur accueil et le grand intérêt des discussions et des débats.

Responsables de l'édition :

Christian Ferault : christian.ferault@voila.fr

Jean-Claude Mounolou : mounoloujcm@orange.fr

Secrétariat de rédaction

Christine Ledoux-Danguin
christine.ledoux@academie-agriculture.fr