

COMPTES RENDUS
DE L'ACADÉMIE
D'AGRICULTURE DE FRANCE

SÉANCE D'INSTALLATION DU NOUVEAU BUREAU

GÉNIE ÉCOLOGIQUE

DÉTERMINATION DU SEXE

AUTOUR DE LA FERME DE CLAUDE MONNIER

LA PISCICULTURE, UNE PRODUCTION D'AVENIR

LA GÉNOMIQUE AU SERVICE DE LA GESTION DES TRUFFIÈRES

LES INSECTES COMME NOUVELLE SOURCE DE PROTÉINES ANIMALES

MENACES, COHÉSION SOCIALE ET RÉGULATION

**GESTION DE LA FLORE ADVENTICE EN GRANDE CULTURE ET
RÉSISTANCE AUX HERBICIDES**

SOMMAIRE

SÉANCES DE JANVIER À MARS 2015

- 3 **SÉANCE D'INSTALLATION DU NOUVEAU BUREAU**
(7 janvier 2015)
Rapport de Monsieur **Gérard Tendron** sur les travaux de l'Académie d'agriculture de France.
Discours de Monsieur **Jean-Marc Boussard**, Président de l'Académie pour l'année 2014.
Discours de Madame **Jeanne Grosclaude**, Présidente de l'Académie pour l'année 2015.
- 19 **GÉNIE ÉCOLOGIQUE : MAÎTRISE DE L'ÉCOLOGIE MICROBIENNE ET SES APPLICATIONS – ACQUIS ET PERSPECTIVES**
Séance animée par **Jean-Claude Germon** et **Marc Lalande** (14 janvier 2015)
Biofilm : la cité des microbes, par **Romain Briandet**.
Vers une ingénierie écologique des bioprocédés pour l'environnement, par **Théodore Bouchez**.
Écologie microbienne au service de la compréhension et de la maîtrise de fonctions écosystémiques des sols, par **Fabrice Martin-Laurent**.
- 27 **DÉTERMINATION DU SEXE**
Séance interacadémique Académie d'agriculture – Académie des sciences
Séance animée par **Michel Caboche**, **Margaret Buckingham** et **Jeanne Grosclaude** (21 janvier 2015)
Évolution des systèmes de reproduction chez les escargots, par **Patrice David** et **Philippe Jarne**.
Les déterminismes génétiques et environnementaux du sexe chez les poissons, par **Yann Guiguen**.
Vers la compréhension du déterminisme du sexe chez les plantes, par **Abdelhafid Bendahmane**.
Nouveaux facteurs génétiques impliqués dans la détermination du sexe chez les mammifères, par **Ken Mc Elreavey**.
- 33 **AUTOUR DE LA FERME DE CLAUDE MONIER**
Séance animée par **Bernard Le Buanec** (28 janvier 2015)
Culture intensive et agriculture durable. La ferme de Bailleterie 1935–2015, par **Claude Monnier**.
Eure et Loir (28), des agriculteurs en pointe dans la maîtrise des milieux et la modernisation de l'agriculture, par **Daniel Tessier**.
La ferme de Bailleterie : évolution des assolements, des rendements et des sols, par **Bernard Le Buanec**.
- 49 **LA PISCICULTURE, UNE PRODUCTION D'AVENIR**
Séance animée par **René Lésel** (4 février 2015)
Quelles protéines mangerons-nous demain ? Contraintes et impacts globaux de la pisciculture, de la pêche et de l'élevage terrestre tels que vus par l'analyse du cycle de vie, par **Joël Aubin**.
Poissons herbivores, poissons carnivores : quels choix pour développer la pisciculture et fournir à tous des aliments sains et nutritifs, par **Sadasivam Kaushik**.

- 57 **LA GÉNOMIQUE AU SERVICE DE LA GESTION DES TRUFFIÈRES**
Séance animée par **Marie-Thérèse Esquerré-Tugayé** (11 février 2015)
La génomique au service de l'écologie microbienne des truffières, par **Claude Murat, Herminia de la Varga, Christophe Robin, François Le Tacon** et **Francis Martin**.
De la naissance à la mort des truffières naturelles, par **Marc-André Selosse**.
Production des plants truffiers et diversification sylvicole, par **Damien Berlureau**.
- 61 **LES INSECTES COMME NOUVELLE SOURCE DE PROTÉINES ANIMALES**
Séance animée par **Charles Descoins** (11 mars 2015)
Vers une production, transformation et utilisation industrielle des insectes dans l'alimentation animale et humaine, par **Samir Mezdour**.
Quelques réalisations industrielles en cours de développement, par **Cédric Auriol**.
Aspects réglementaires et toxicologiques liés à la consommation humaine d'insectes ou de protéines d'insectes en Europe, par **Dominique Parent-Massin**.
- 67 **MENACES, COHÉSION SOCIALE ET RÉGULATION**
Séance animée par **Lucien Bourgeois** (18 mars 2015)
2050, menaces pour l'alimentation du monde, par **André Neveu**.
Bilan de l'Année internationale de l'agriculture familiale (AIAF) : l'exploitation familiale facteur de cohésion sociale, par **Henri Rouillé d'Orfeuil**.
- 75 **GESTION DE LA FLORE ADVENTICE EN GRANDE CULTURE ET RÉSISTANCE AUX HERBICIDES**
Séance animée par **Jean-Louis Bernard** (25 mars 2015)
Résistance aux herbicides : mécanismes, sélection et situation en France, par **Christophe Délye**.
Herbicides et stratégies anti-résistance, par **Jacques Gasquez**.
Conseil de terrain et alternatives pratiques aux phénomènes de résistance aux herbicides, par **Marc Delattre**.
- 81 **Analyses d'ouvrages**
Présentation de thèses
- 93 **Vie de l'Académie**

Séance du 7 janvier 2015

ACTUALITÉS DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE

Intervention de Gérard Tendron

Secrétaire perpétuel

Chers consœurs, chers confrères,

Lors de notre séance solennelle de rentrée du 1^{er} octobre dernier, je vous ai rendu compte des activités de notre Compagnie pour l'année 2013-2014 et présenté le programme de travail pour l'année académique 2014-2015. Je n'y reviendrai pas.

Je souhaite aujourd'hui évoquer devant vous les sujets sur lesquels nous travaillons actuellement et qui traduisent les évolutions engagées récemment pour mettre en mouvement l'Académie, mobiliser ses membres et mieux faire connaître ses travaux.

– Le nouveau règlement intérieur de l'Académie

Il a été adopté par 95 % des suffrages exprimés, le 26 novembre dernier. Il marque l'aboutissement de deux ans de réflexions et de débats pour moderniser nos statuts, dont un décret du Président de la République en date du 4 juin 2014 a approuvé le nouveau contenu. Il a conduit notamment à actualiser nos missions et le rôle des instances de gouvernance.

Le règlement intérieur qui en précise les modalités de mise en œuvre, prévoit notamment :

- l'abaissement progressif de l'âge de l'éméritat et de l'honorariat de 80 à 75 ans, avec une première étape en 2015 à 78 ans. Cette mesure va permettre, dès cette année, de procéder à des recrutements plus nombreux, 24 membres titulaires et 26 membres correspondants, de rajeunir et de féminiser davantage l'Académie. Nous sommes convenus de recruter de nouveaux confrères dont l'image personnelle concourra à la notoriété de notre Compagnie, mais aussi des confrères motivés qui s'engagent à s'investir dans nos travaux et permettent par leurs compétences et leurs expériences de couvrir le champ de nos activités, précisé dans notre programme de travail. *A contrario*, il est prévu la mise en congé des confrères qui ne participent plus à nos travaux pendant une année, afin de les remplacer aussitôt ;
- la simplification de l'intitulé des sections et le rééquilibrage de leurs effectifs, afin de tenir compte de l'émergence de nouveaux domaines de spécialités ou de sujets à traiter ;
- les modalités de préparation, de déroulement et de valorisation des séances publiques ;
- les principes déontologiques qui président à l'exercice des missions et en particulier les modalités de publication des avis de l'Académie et les obligations de ses membres.

– L'Académie et l'enseignement supérieur agronomique

Un groupe de travail a été mis en place en 2013 sur ce thème, animé par notre confrère Michel **Candau**. Il a pour mission d'étudier les actions que l'Académie est prête à conduire en direction des établissements d'enseignement supérieur agronomique, afin de mieux faire connaître les travaux de notre Compagnie auprès des étudiants, ainsi que les prix et bourses susceptibles de leur être attribués; de les aider dans la recherche de stages; de leur proposer de participer à des réflexions sur des thèmes sélectionnés par l'Académie.

Après un an de fonctionnement, différentes actions ont été concrétisées ou vont l'être prochainement :

– 9 zones géographiques ont été définies (Région parisienne ; Grand-Ouest ; Sud-Est ; Rhône-Alpes-Auvergne ; Bourgogne-Franche-Comté ; Midi-Pyrénées ; Aquitaine ; Nord et Est.) Pour chaque zone, un correspondant, membre d'un des établissements d'enseignement supérieur de la zone, a été candidat pour assurer l'animation interne et faire le lien entre les directions d'école, les enseignants-chercheurs, les étudiants et l'Académie. J'ai adressé aux directeurs de tous les établissements concernés un courrier pour les remercier de leur concours et officialiser la mise en fonction du groupe de travail. Une quarantaine d'écoles et d'universités intéressées ont été identifiées ; cette première liste vient d'être enrichie par une trentaine d'écoles doctorales et une soixantaine de laboratoires de recherche universitaires ;

– une lettre d'information est diffusée. La première a notamment présenté les outils de communication de l'Académie : site Internet, revue, lettre, annuaire, diffusion et comptes rendus des séances publiques, dont le contenu peut être utilisé dans des programmes de formation ;

– la présentation de notes de recherche. Il est proposé d'offrir à de jeunes chercheurs la possibilité de présenter leurs travaux (recherches scientifiques et innovations technologiques) sous forme de notes de recherche publiées sur le site Internet de l'Académie après acceptation par un académicien référent choisi en fonction de ses domaines d'expertise. Un document en a précisé l'objectif et les modalités, en particulier les instructions aux auteurs, et a été envoyé, *via* le réseau des correspondants régionaux, aux différentes structures de recherche concernées. Notre Confrère Michel-Claude **Girard**, en tant que responsable de publication de ces notes de recherche, est susceptible d'apporter son concours à chaque étape de l'examen de la note, de sa réception à sa publication. L'objectif est qu'une note soit publiée sur le site de l'Académie dans un délai de 3 mois après sa réception ;

– le parrainage d'élèves-ingénieurs par des académiciens va être prochainement proposé. Le but est d'instaurer une proximité entre les étudiants de l'enseignement supérieur agronomique et les membres de l'Académie d'agriculture de France et de développer un réseau. Pour cela chaque étudiant intéressé entrera en contact avec un membre de l'Académie volontaire, qu'il choisira selon son projet d'avenir et ses centres d'intérêt. Parrainer un étudiant consistera à le conseiller dans l'élaboration de son parcours professionnel, lui faire partager son expérience et son réseau. Les parrainés garderont, grâce au parrainage, un contact étroit avec l'Académie d'agriculture de France.

– Le plan d'actions de l'Académie

Depuis 2012, l'Académie d'agriculture s'est dotée d'un programme de travail qui est un instrument de communication externe, présenté en octobre lors de la séance solennelle de rentrée. De même, la publication de la Revue de l'Académie, depuis 2013, contribue à nous faire connaître.

Cependant, il apparaît nécessaire d'aller plus loin, afin d'améliorer la notoriété de notre Compagnie et de valoriser son image. Il en va de notre utilité sociale et de la possibilité de dégager des moyens nouveaux, indispensables au bon fonctionnement de l'Académie.

Le Bureau a conduit une première réflexion dans ce sens afin de préciser les objectifs poursuivis en fonction de cibles identifiées et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir.

Le document de travail a été discuté lors de la réunion de la Commission des programmes du 2 décembre dernier, et amendé et soumis ce matin pour approbation à la Commission académique. Elle en a approuvé les orientations, qu'on peut résumer comme suit :

– L'objectif prioritaire consiste à développer des relations avec plusieurs cibles privilégiées : les cabinets ministériels et les administrations centrales des ministères de l'Agriculture, de l'Écologie, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, de l'Économie, des Affaires étrangères ; les commissions et groupes de travail des assemblées et des conseils régionaux, les entreprises, les universitaires et les chercheurs, le Conseil économique, social et environnemental, l'Assemblée permanente des chambres d'agriculture. Pour chacune des cibles et selon des procédures adaptées à chacune, le but est d'être écouté, consulté, auditionné ou de recevoir des commandes de rapports ou d'avis, pouvant déboucher sur des financements nouveaux.

– L'objectif second concerne une série d'actions concourant à l'objectif général :

- cibler les recrutements vers des personnalités ayant une image personnelle forte et des confrères s'engageant à une participation active à nos travaux, que j'ai déjà évoqué ;
- diffuser régulièrement des avis de l'Académie ;
- démultiplier les actions conduites au siège de l'Académie, en suscitant la création de relais territoriaux en province, représentation décentralisée de l'Académie, susceptibles d'organiser des conférences ou des colloques, mettant en valeur l'Académie ;
- valoriser notre bibliothèque et notre fonds documentaire, d'une richesse exceptionnelle ;
- participer aux débats internationaux dans nos domaines de compétence, en envoyant des académiciens participer à des réunions à l'étranger.

– Le troisième objectif concerne la mise en œuvre d'actions concourant à améliorer les moyens et relais d'information et de communication :

- mettre en œuvre un plan de communication, avec des personnes compétentes, afin de développer une identité propre à l'Académie, définir nos domaines de compétence les plus porteurs, développer des partenariats avec des relais médiatiques. Ce qui devrait conduire à identifier un membre de notre compagnie responsable de la communication, mettre au point et diffuser des documents informatifs présentant l'Académie et ses travaux, diffuser à des cibles externes la Lettre de l'Académie et étendre la diffusion de la Revue à partir d'un fichier élargi et tenu à jour, faire relayer notre communication par les services spécialisés de ministères proches ;
- augmenter la fréquentation des séances publiques, par des invitations ciblées à l'initiative des sections concernées, à partir d'un fichier renouvelé.

– Un dernier objectif concerne l'augmentation de nos moyens de fonctionnement qui passe par :

- la consolidation de nos partenariats avec nos bailleurs de fonds habituels : Crédit agricole SA, Crédit mutuel, Groupama, qui devrait conduire à leur fournir de véritables prestations ;
- l'engagement des sections à rechercher des financements externes ;
- l'obtention de l'affectation de personnels par des ministères pour nous aider, notamment dans les domaines de la communication, du site Internet, des archives et de la bibliothèque ;
- l'obtention de legs, afin de renouer avec une pratique traditionnelle fort utile à l'Académie dans le passé et qui mériterait d'être de nouveau recherchée.

– Le renouvellement des membres et des responsables

Les élections qui ont eu lieu le 10 décembre dernier ont permis de renouveler en partie le Bureau et d'élire de nouveaux membres titulaires et correspondants.

Le départ de notre Vice-Trésorier, Claude **Sultana**, dont le mandat arrivait à son terme doit conduire à son remplacement, différé au printemps, lorsque le décret approuvant les élections du 10 décembre,

permettra de procéder à une élection, aucune candidature n'ayant pu être recueillie en 2014, parmi les membres titulaires. En attendant, Daniel-Eric **Marchand** a bien voulu accepter de remplir les missions attachées à la fonction de Vice-Trésorier. Pour ce qui est des autres fonctions, le Bureau est constitué, pour l'année 2015, de Jeanne **Grosclaude**, Présidente ; Luc **Guyau**, Vice-Président ; Jean-Marc **Boussard**, ancien Président ; Gérard **Tendron**, Secrétaire perpétuel, Patrick **Ollivier**, Trésorier perpétuel.

Par ailleurs, je rappelle que dix huit nouveaux membres correspondants font leur entrée parmi nous, dont quatre femmes et trois correspondants étrangers dont une femme. Sept nouveaux membres titulaires siègent parmi nous, dont une femme et six nouveaux membres étrangers, dont une femme.

Enfin l'année 2015 est marquée par le changement de deux secrétaires de section. En section 7, Denis **Couvet** devrait succéder à Alain **Perrier** ; en section 10, Lucien **Bourgeois** succède à André **Neveu**.

À cette occasion, je tiens à remercier chaleureusement, les membres du Bureau et les secrétaires de section qui passent la main et qui par leur engagement et leur disponibilité ont beaucoup contribué au bon fonctionnement de notre Compagnie et à son rayonnement. La plupart vont d'ailleurs continuer à nous apporter leur concours dans les sections et les groupes de travail où leurs compétences et leurs expériences enrichiront les travaux, certains d'entre eux continuant à avoir des responsabilités opérationnelles comme Jean-François **Colomer** comme Rédacteur en chef de la Revue, Christian **Ferault** en tant que chargé de mission du Secrétaire perpétuel et ou Christian **Maréchal** comme Responsable des visites et des sorties.

Enfin, je félicite les nouveaux membres du Bureau et secrétaires de section d'avoir bien voulu accepter de prendre des responsabilités opérationnelles dans notre Compagnie. Je ne doute pas que leur arrivée permettra d'engager de nouvelles évolutions pour l'Académie d'agriculture, toujours à la recherche d'innovations, afin de remplir au mieux ses missions.

LE FINANCEMENT DE LA RECHERCHE : REMARQUES D'UN ÉCONOMISTE

par Jean-Marc **Boussard**

Président de l'Académie d'agriculture pour l'année 2014

D'une façon assez surprenante, de nos jours, alors que nous n'avons jamais autant bénéficié des acquis de la technologie, il est de bon ton de vilipender la recherche, et cela, au nom même de la science : on s'appuie sur des théories génétiques ou écologiques sommaires et mal digérées pour tenter d'interdire les recherches en génétique ou en écologie. Et l'argent étant le nerf de la guerre, pour y parvenir, on s'attaque aux modes de financement de la recherche, au nom d'une science économique extravagante, combinant marxisme sommaire et libéralisme nunuche¹. Je voudrais ici remettre les choses au point en discutant du financement de la recherche du point de vue de l'économiste froid et calculateur...

Faut-il donner de l'argent aux chercheurs pour chercher ? Il n'est pas interdit de se poser cette question pour reprendre tout à zéro, comme le voulait Descartes. Deux points sont à considérer : d'abord, l'argent dépensé dans la recherche est-il bien placé ? En d'autres termes, la recherche est-elle rentable ? Ensuite, même si la recherche est rentable, n'est-il pas possible de l'avoir en quelque sorte gratuitement, du seul fait que les chercheurs aiment chercher, et le font par plaisir ?

La recherche est elle rentable ?

Contrairement aux apparences, la question est très compliquée. Cela tient à trois circonstances :

D'abord, la recherche ne peut pas être rentable toute seule, car elle ne peut par elle-même fournir aucun bien ou service consommable. Tout résultat de recherche, pour être appliqué, exige d'être associé à du capital (des machines, des immeubles, de la terre, etc.) et du travail. Ainsi, les travaux sur les médicaments ne peuvent conduire à des remèdes que dans la mesure où il existe des laboratoires pharmaceutiques pour fabriquer les pilules et les mettre dans des boîtes en carton, ainsi que des pharmaciens pour distribuer les boîtes... Cela complique beaucoup les calculs de rentabilité, puisque, en présence de bénéfices liés à l'apparition d'un nouveau produit, il faut arriver à démêler ce qui est dû à l'accumulation des moyens de production d'un côté, et à la recherche proprement dite d'un autre.

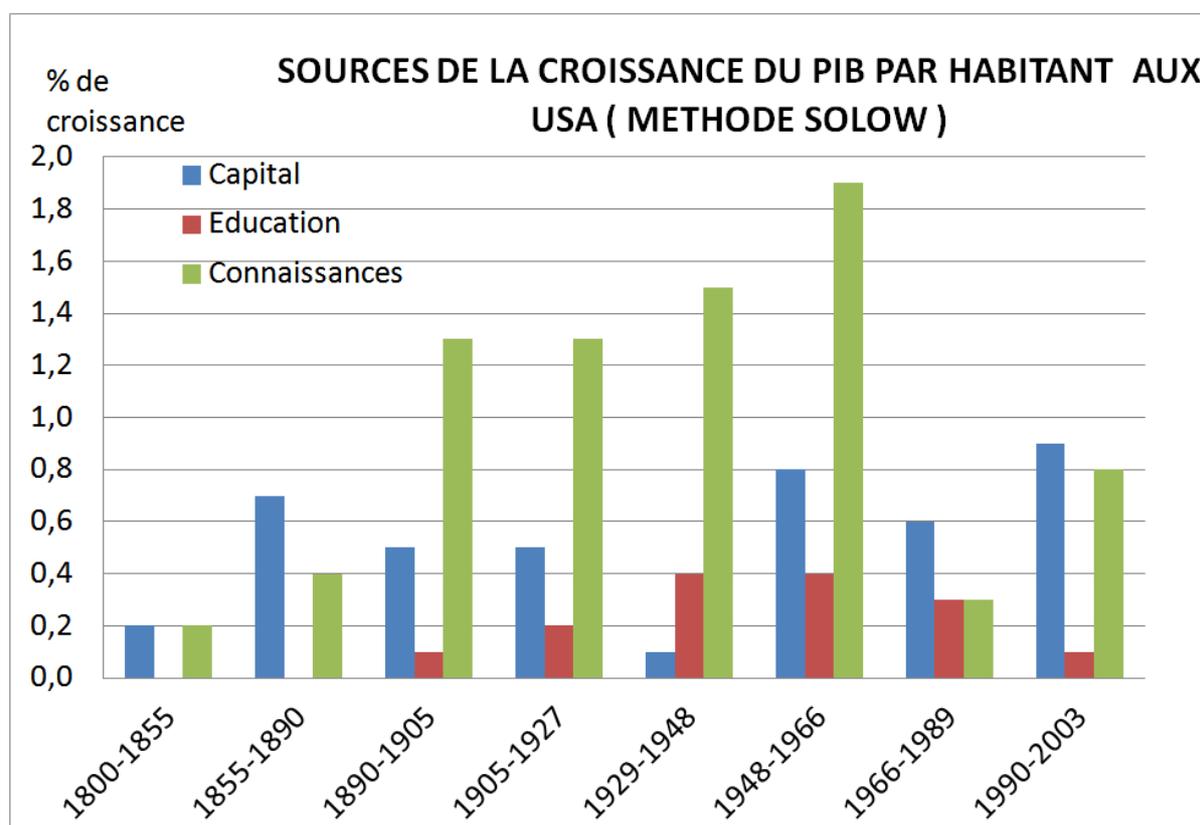
Ensuite, il faut se demander pour qui ou pour quoi la recherche est elle rentable. Un résultat de recherche peut contribuer à augmenter le chômage : Évidemment, ce n'est pas à encourager... Ainsi faut-il ici se préoccuper non des bénéfices individuels, mais de ceux de la société tout entière.

Enfin, même en restant dans un cadre visiblement utile, la pratique de la recherche est une activité extrêmement aléatoire. On sait toujours bien ce que l'on dépense et le temps qu'on y passe, mais on ne sait jamais ce qui va en sortir. On peut toucher le jackpot : ainsi Christophe Colomb, qui cherchait modestement une nouvelle route pour le Japon, tombe-t-il sur l'Amérique... Mais, hélas bien souvent, on n'obtient rien du tout (cela est arrivé à nous tous ici !).

¹ Contrairement à une tenace idée reçue, les économistes de « l'équilibre général » comme Gérard Debreu, ou K.J. Arrow (des « prix Nobel » d'économie) n'ont jamais prouvé la supériorité du marché sur tout autre mode d'administration des ressources rares, mais bien plutôt que les conditions à réunir pour que cela soit vrai n'ont aucune chance de se rencontrer en réalité...

Quelques économistes (en particulier Robert Solow, prix Nobel d'économie 1987) ont essayé de calculer la rentabilité de la recherche en tenant compte de ces trois remarques. Ils l'ont fait de manière indirecte, en essayant d'expliquer (au sens statistique du terme) l'évolution dans le temps du PIB² par les quantités de travail et de capital utilisées à chaque époque. Ils ont montré qu'il existe un « résidu » inexplicable par ces facteurs. Il est raisonnable de l'attribuer à l'accroissement des connaissances.

Dans les années 60 à 80, ce résidu était loin d'être négligeable (figure 1) : de l'ordre de ce qui était imputable à l'accroissement des stocks de capital et de main-d'œuvre disponibles. Comme les ressources allouées à la recherche à l'époque était très loin d'être du même ordre de grandeur que celles qui étaient dévolues à l'accroissement des capacités de production, il fallait donc admettre que la recherche était exceptionnellement rentable, à condition de raisonner « en moyenne » au niveau national, en négligeant les incertitudes associées à chaque projet individuel, et en supposant que le PIB est un bon indicateur du bien-être collectif...



Sources : N. Crafts: « Solow and Growth accounting » Paper prepared for the Hope Conference: *Solow and the development of growth* Duke University 2008

Ce raisonnement a été très critiqué pour de bonnes raisons : il n'est pas sûr que le « résidu » soit dû à la recherche. Le PIB est un très mauvais indicateur du « bonheur national », car il donne plus de poids aux riches qu'aux pauvres dans tout calcul de ce type, en même temps qu'il néglige les effets négatifs comme la

² Le Produit intérieur brut est la somme des « valeurs ajoutées » obtenues par les agents économiques d'une zone géographique. Il est « brut », parce qu'on n'en déduit pas la valeur des amortissements. Il dépend du système de prix, et donc aussi, de la répartition des revenus.

production d'armes ou les atteintes à l'environnement. Enfin, maintenant que les taux de croissance sont très bas, le même procédé ne donnerait peut être pas les mêmes résultats³.

Il n'en demeure pas moins que, à l'évidence, « rentabilité » ou non, sans la science, nous n'aurions pas les éléments de confort, tels que réfrigérateur, anesthésie, automobile, ou même « sécurité alimentaire⁴ », dont nous jouissons à présent sans même nous en rendre compte, et dont nous aurions beaucoup de peine à nous passer.... Cela vaut toutes les mesures de rentabilité du monde...

Faut-il donner de l'argent aux chercheurs ?

Dans ces conditions, ne faut-il pas consacrer une partie de l'épargne nationale à recruter des chercheurs, les payer, et leur fournir des instruments (coûteux) pour leur permettre de travailler? Ce n'est pas forcément évident, car, pour ceux qui la pratiquent, la recherche est une activité gratifiante. Il y a des gens prêts à payer pour éprouver les satisfactions qu'on en tire⁵. De fait, jusqu'au début du 19^e siècle, la recherche était le fait de gens riches, tels que Plin l'ancien, Pascal, ou Lavoisier. Ils se lançaient dans l'aventure à leurs frais pour le plaisir, et n'entendaient pas en faire commerce. Pourquoi alors ne pas compter sur cet intérêt personnel fort des gens riches pour produire de la connaissance ?

La réponse est évidente : en réservant les activités de recherche aux gens qui ont par ailleurs les moyens de les payer, on restreint considérablement la prospection des gisements de matière grise et d'inventivité. Il y a des riches intelligents et aventureux, capables de produire de la bonne recherche, comme le montrent les exemples cités plus haut. Mais il y a aussi des pauvres dans cette situation, et il serait vraiment dommage de se priver de leurs lumières. Or les pauvres, si l'on veut profiter de leurs talents, il faut les entretenir, et leur donner des moyens : c'est bien pour cela qu'il faut « financer la recherche » d'une manière ou d'une autre...

Il reste à savoir jusqu'où le faire, par qui, et comment. C'est là tout le problème des « politiques de recherche ». Il n'est pas simple à résoudre. La réflexion économique peut elle nous y aider ?

La recherche purement privée est elle possible ?

La logique économique standard nous dit que, en principe, le marché devrait suffire à diriger les efforts de recherche dans les directions les plus utiles à la collectivité : En incitant les chercheurs à élaborer des produits vendables, et les épargnants à les financer pour cela, l'appât du gain conduirait tout naturellement des entrepreneurs avisés à investir dans les recherches susceptibles, grâce à l'alliance des connaissances et du capital, de conduire aux progrès techniques les plus désirés. Il n'y aurait donc pas de raison pour l'État d'intervenir dans cette affaire. Un système entièrement privé donnerait les meilleurs résultats possibles. Hélas, les choses sont un peu plus compliquées.

Un premier point essentiel à considérer est qu'il n'y a pas, dans la recherche, de « fonction de production » - une relation bien établie entre les quantités d'*inputs* injectées dans un processus de production et les quantités d'*outputs* qui en résultent. On peut très bien gaspiller d'énormes quantités de moyens sans aucun résultat, ou obtenir des résultats fascinants presque sans rien, ou le contraire... Une telle situation d'extrême incertitude ne favorise pas l'investissement par un entrepreneur privé qui n'est jamais sûr de faire face à ses prochaines échéances. Il y a tout de même des limites à l'ampleur des risques admissibles. En matière de recherche, le niveau de risque-limite est vite atteint.

Par ailleurs, la connaissance est un « bien libre » : une fois qu'elle existe, elle est disponible pour tout le monde. Cela est bon pour la recherche : une recherche fructueuse s'appuie presque toujours sur une masse

³ Voir: C.R. Hulten "Total Factor Productivity. A Short Biography" in: *New Developments in Productivity Analysis*, Hulten *et al.* ed. , Univ of Chicago press 2001, chapitre 1.

⁴ Avec les bonnes vieilles méthodes du 19^e siècle tant vantées par les « écologistes », la surface agricole de la France n'aurait pas pu nourrir plus de 20 à 30 millions d'habitants. Le retour complet à ces techniques impliquerait donc la nécessité d'euthanasier de 30 à 40 millions de personnes – un assez vaste programme !

⁵ L'archéologue Heinrich Schliemann se ruina pour fouiller le site de Troie.

de connaissances disparates, à laquelle on ajoute un petit supplément qui fait toute la différence. La diffusion de l'information fait donc l'affaire du chercheur. Mais elle ne fait pas celle de l'entrepreneur. Si celui-ci finance une recherche qui va lui permettre d'accroître ses ventes ou de diminuer ses coûts, il ne tient pas à ce que ses concurrents puissent profiter des résultats sans bourse délier... Cela conduit à des politiques de secret et de rétention de l'information au total préjudiciables à la recherche dans son ensemble.

Les licences et les brevets⁶ permettent, dans une certaine mesure, de remédier à cela. Ces instruments donnent à leurs titulaires un monopole temporaire sur les produits d'une invention. Par là, ils sécurisent l'innovateur, et augmentent ses chances de se rembourser de ses frais. En même temps, ils assurent la publicité des résultats de recherche correspondants, permettant à d'autres chercheurs de poursuivre les travaux sur le sujet, même s'ils ne peuvent les exploiter immédiatement sans redevances. Le procédé reste très imparfait, cependant, parce que, le plus souvent, une innovation implique l'utilisation d'une multitude de brevets qui se commandent les uns les autres. Cela permet d'utiliser le système pour bloquer l'innovation au lieu de la favoriser comme le voudrait l'esprit de la chose. Il y a donc sûrement beaucoup à revoir concernant les législations sur les brevets, en principe l'un des modes de financement de la recherche les plus séduisants qui soient⁷.

Il reste que, pour l'ensemble des raisons indiquées plus haut, il est très peu probable qu'une recherche strictement privée puisse donner autant de résultats qu'il serait possible d'obtenir à partir d'une quantité donnée de moyens.

La recherche publique est elle gérable ?

Reste alors la possibilité du financement public de la recherche. Cela résout en grande partie le problème du risque financier : comme le faisait remarquer K.J. Arrow (prix Nobel d'économie 1972), l'État est l'un des rares agents économiques à n'avoir aucune « aversion pour le risque ». Il serait donc normal qu'il soit en charge du financement de l'une des activités à la fois les plus risquées qui soient et les plus profitables en moyenne pour la collectivité. Mais ce n'est là qu'un aspect du problème.

En se fondant sur les travaux de Robert Solow mentionnés plus haut (et tout en restant conscient de leur caractère discutable), il est assez raisonnable d'allouer chaque année à la recherche une fraction définie du PIB. C'est du reste une pratique à peu près admise dans les pays développés. Mais il reste à allouer ces sommes aux recherches les plus utiles. On ne peut évidemment pas consulter le peuple pour cela, comme il le faudrait en toute rigueur démocratique. Il faut donc faire confiance à un despote éclairé. Mais comment et sur quelles bases éclairer ce dernier ?

On retrouve ici le problème de la « fonction de production » de la recherche : s'il était possible, en allouant une somme donnée à un chercheur (ou un groupe de chercheurs), d'obtenir un résultat donné, par exemple trouver le remède à une épizootie dévastatrice, il serait relativement facile de prévoir les budgets correspondants au mieux des intérêts à long terme de la collectivité. C'est d'une certaine façon ce que tentent de faire beaucoup de directions d'instituts de recherche. Hélas, pour les raisons indiquées plus haut, ce n'est guère possible : même en y mettant beaucoup de moyens, le résultat n'est jamais sûr. On peut interroger les chercheurs eux-mêmes sur les chances de succès de tel ou tel projet. Ils sont sans doute les mieux placés pour répondre. Mais ils ont aussi beaucoup de chances de ne pas être d'accord entre eux, et les désaccords sont exacerbés par la concurrence entre les différents individus et les différentes équipes.

⁶ Un système qui remonte tout de même au 17^e siècle...

⁷ De ce point de vue, en autorisant l'obtention d'une nouvelle variété à partir d'une autre variété protégée, à condition qu'elle en soit différente de la première, les règles qui s'appliquent aux « obtentions végétales » en Europe constituent un système assez remarquable. Le système pourrait être généralisé. Il est très surprenant que les agronomes européens aient tant de peine à se glorifier d'avoir mis ce système au point, et même à le promouvoir contre le système des brevets dans le cadre étroit des variétés végétales...

En outre, se pose le problème de la qualité de l'information : il est rare qu'un administrateur, qu'il soit public ou privé, soit capable de comprendre le véritable enjeu de ce qui intéresse un chercheur. Cela conduit ce dernier à plaider sa cause en parlant de ce que les mécènes supposés ont envie d'entendre⁸ plutôt que de la vraie nature de ses activités⁹. En définitive, c'est le plus beau parleur qui emporte le morceau, pas forcément le plus qualifié... Ce phénomène que les économistes appellent « d'asymétrie d'information », préjudiciable à la sincérité des débats, peut conduire à de vraies catastrophes. Le « beau parleur » a tout intérêt à s'appuyer sur l'avis du « peuple » pour montrer l'intérêt de son projet, et comme les avis du public sont bien souvent discutables en la matière (la vérité scientifique ne se décide pas à la majorité des votants) cela peut conduire à de graves dérives¹⁰.

On pourrait aussi essayer le « test de descendance » : donner à ceux qui ont déjà trouvé. Ce n'est pas une méthode à dédaigner, mais elle n'est pas infaillible, loin de là¹¹, en particulier du fait que l'insatisfaction (qui n'exclut pas l'admiration!) vis-à-vis des travaux du voisin constitue justement l'un des moteurs de l'action pour chaque chercheur fécond, alors même que celui qui a réussi quelque chose est en général peu porté à le remettre en question....

Dès lors, le problème est insoluble...

Alors, que faire ?

Ainsi la recherche est elle très utile. Mais elle n'est guère gérable, que ce soit par le marché ou par une bureaucratie, qu'elle soit publique ou privée. Faut-il donc pour ce motif renoncer à la financer ? A l'évidence, ce serait dommage ! Mais il faut évidemment des règles particulières à cette activité.

La première est d'avoir beaucoup d'humilité vis-à-vis de la recherche : « le vent souffle où il veut... ».

La seconde est de diversifier les projets : c'est un vieux précepte que connaissent tous les boursicotiers et les agriculteurs : il faut diversifier les portefeuilles et les cultures. C'est aussi le cas des projets de recherche (ce que les administrateurs, épris de simplicité, ne comprennent pas toujours)... Loin d'être un signe d'anarchie et d'inefficacité, la multiplication des guichets, est une excellente méthode de gestion des risques...

Enfin, la discussion précédente montrerait, si c'était encore nécessaire, à quel point le rôle de la circulation de l'information est crucial. Elle doit évidemment se faire entre tous les chercheurs et administrateurs de la recherche. Mais elle est spécialement importante entre les chercheurs financés par le « public » et ceux qui dépendent du « privé ». Les premiers disposent de résultats (qu'ils croient souvent accessoires) susceptibles d'intéresser les seconds, cependant que ces derniers, au contact des réalités quotidiennes, mettent parfois le doigt sur les problèmes ignorés qui ne peuvent que stimuler les premiers C'est pourquoi les collaborations « public/privé » doivent être encouragées autant que faire se peut.

Il y a donc beaucoup à faire pour créer les conditions favorables à une recherche à la fois intellectuellement féconde et économiquement efficace. Ce qui précède ne représente que des considérations préliminaires au lancement d'un vaste projet d'ingénierie institutionnelle qui serait en lui-même un programme de recherche. Il faut souligner à ce propos que l'ingénierie institutionnelle ne doit pas pas

⁸ Un bon exemple de cela est la fameuse lettre de Louis Pasteur au ministre de l'Éducation nationale de Napoléon III en 1864, exhumée par Bruno Latour (1995, pp 282-284). Le fondateur de la microbiologie demandait 1200 F afin de passer ses vacances à Arbois. Il justifie la demande par le fait qu'en ces temps de libéralisation du commerce agricole (on y pensait déjà !) il est essentiel de maintenir la compétitivité des producteurs de vin français, ce qui impose évidemment d'étudier la fermentation alcoolique, ce qu'il pourra faire dans cette localité...

⁹ Un cas extrême est celui de la théorie de la relativité, financée par l'administration helvétique, qui n'accablait pas de travail ses préposés au bureau des brevets...

¹⁰ Peut être une partie des oppositions à la recherche que l'on observe aujourd'hui vient-elle de ce que, dans les années 50 ou 60, trop de chercheurs ont trop promis, présentant la recherche comme de la magie susceptible de résoudre tous les problèmes de l'existence, et aboutissant de ce fait à décevoir le public qui n'y croit plus....

¹¹ Ainsi, Einstein ne croyait pas à la physique quantique au fameux motif que « Dieu ne joue pas aux dés ».

oubliée dans les programmes de recherche français. C'était le sujet du regretté Jean-Jacques Laffont à Toulouse, et c'est toujours celui de Jean Tirole, son élève, successeur et prix Nobel d'économie français 2014. Peut-être conviendrait-il de s'intéresser à leurs travaux, dont certains sous-produits pourraient féconder la recherche...

DISCOURS D'INSTALLATION

par Jeanne Grosclaude¹

Présidente de l'Académie d'agriculture pour l'année 2015

Monsieur le Secrétaire perpétuel, Chères Consœurs, Chers Confrères,
Mesdames, Messieurs,

Je mesure l'honneur que vous m'avez fait, il y a un an, en m'élisant Présidente de notre Compagnie pour 2015. Je prends ainsi la suite de ceux qui, dans leur diversité d'origines, ont eu la charge de conduire nos travaux.

Je vous expliquerai comment je débute ce mandat, et quelles questions je voudrais y voir abordées.

En tout premier lieu je veux adresser un salut amical à celle, unique, qui m'a précédée dans la fonction, Suzanne **Mériaux**, dont le talent pour évoquer poétiquement le monde qui nous entoure, eaux ou terres, m'émerveille. La Terre, pour elle, est d'abord celle des hommes, qui l'habitent, la façonnent, la transmettent, et non pas un milieu qu'il faudrait sanctuariser sous la désignation d' « environnement » et préserver de toute modification, voire de toute intrusion humaine (*Fig 1*).

Terre multiple
Suzanne Mériaux, 2014

Elle était sa terre
Depuis toujours

Du fond du sillon
A la fleur du pommier
Où passaient les abeilles

Avec le chant du coq
Eveillant le soleil
Aux marches du jour

Jusqu'aux secrets blottis
A l'ombre du clocher

Il vivait avec elle
Terre d'héritage

Merci, Suzanne, de rappeler cette évidence avec tant de douceur face à l'agressivité militante et politique de ceux qui veulent dissocier Histoire des Hommes et Nature.

¹ Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

Je veux aussi évoquer le nom d'Alain **Rérat**, qui nous a quittés en Juillet 2014, et qui m'a fait bénéficier, ainsi que mes confrères de la section 3, de sa longue expérience de l'Académie, qu'il présida il y a huit ans. Il était dans ma mémoire le ferme Administrateur du Centre national de recherches zootechniques (le nom historique du centre INRA de Jouy-en-Josas), en responsabilité en mai 1968, lieu où je débutai ma carrière professionnelle et mes activités de toutes sortes. Son épouse Kirsten me le rappelait : « Il a toute sa vie défait les frontières entre les mondes des vétérinaires, des agronomes et des médecins ». Il fut à l'origine des séances communes entre l'Académie nationale de médecine et l'Académie d'agriculture de France. Dès les années 90, il s'est intéressé aux problèmes concernant l'évolution des productions agricoles et leurs répercussions sur l'environnement et la qualité des aliments, poussant précocement notre Compagnie à s'exprimer sur l'encéphalopathie spongiforme bovine (la maladie de la vache folle), la consommation des farines animales ou encore la surmortalité des abeilles, ou la « malbouffe ». Esprit libre et éclectique, il a honoré notre Compagnie et l'a enrichie de son expérience de nutritionniste.

Je veux saluer enfin tous ceux qui ont accepté de porter la même charge, et bien sûr le dernier d'entre eux dans la chronologie, le volubile Jean-Marc **Boussard**... Ainsi que celui ou celle qui prendra la relève en 2016.

M'inscrivant dans cette continuité, je veux vous exposer comment j'aborde ce mandat.

Notre Compagnie, en modifiant ses statuts sous l'impulsion déterminée de notre Secrétaire perpétuel, Gérard Tendron, a choisi d'être « dans le siècle », et d'adapter lucidement son rôle au nouveau contexte de la production des connaissances d'une part, de leur acceptation par la société profane d'autre part.

En effet, notre Compagnie fut créée au Siècle des Lumières pour diffuser le progrès des sciences en Agriculture, en étant elle-même productrice incontestée de nouvelles connaissances (Fig. 2, *schéma linéaire*). En attestent les noms illustres qui couvrent nos murs. Mais, au fil des siècles nous avons pu dessiner désormais une sorte de triangle (Fig. 2b *l'évolution de la diffusion des connaissances en Agriculture du XVIII^e au XX^e siècle*) reliant trois séries d'acteurs, ceux d'une agriculture mondialisée indissociable de son débouché, l'industrie agro-alimentaire, ceux d'une recherche scientifique et technique qui n'est plus incontestée, qu'elle soit conduite par des organismes publics ou des sociétés innovantes, et ceux de la société « profane » qui revendique un droit de critique à l'égard des précédents.

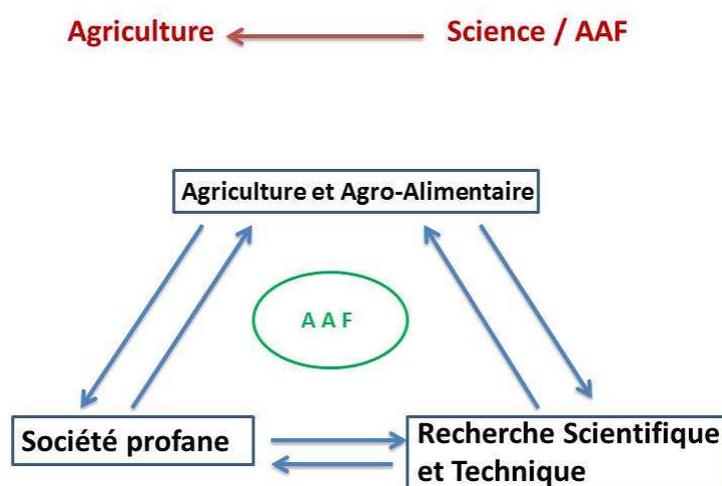


Fig 2 : La diffusion des connaissances en agriculture (XVIII^e au XX^e siècle).

Où est alors la place de l'Académie ? Tout l'enjeu de nous prétendre « médiateurs » entre ces trois composantes est de ne pas être expulsé du centre de gravité de ce triangle, en n'étant qu'observateur muet des échanges et frictions.

Je ne suis pas du nombre des pessimistes qui considèrent que nous sommes hors-jeu, dépassés, inutiles. Je ne m'affligerai pas sur la difficile quadrature communication / notoriété / visibilité / survie financière. Pauvres nous sommes, mendiants presque, mais apparences et dignité sont toujours sauvées...

Car nous avons une richesse : c'est notre composition plurielle, qui doit nous permettre (et nous a permis) d'avoir une vision équilibrée (ce qui ne veut pas dire distante) des conflits entre les logiques des trois catégories d'acteurs. N'associons-nous pas des membres dont l'expérience relève des trois domaines ? Les compositions de notre tribune et de notre Bureau l'attestent. Je dis bien l'expérience, et non l'expertise. Cette dernière est ailleurs : des organismes de recherche, des entreprises, produisent aujourd'hui la connaissance, fondamentale ou immédiatement utile à l'agriculture et à la société. Acceptons, quelle que soit la nostalgie de beaucoup, de ne pas être des producteurs primaires en matière scientifique et technologique, mais des « transformateurs », des « adaptateurs » de connaissances en une langue compréhensible, et les vecteurs d'une connaissance dont nous évaluons bien les impacts.

Ce pluralisme, pour remplir cette fonction, est un atout à condition de respecter deux règles

La première est de jouer collectivement, chacun restant attentif à la sensibilité de l'autre et cherchant la compatibilité qui conduit à s'exprimer d'une voix unique et à proposer la synthèse consensuelle. Nos débats sont ouverts, les groupes de travail associent ceux qui veulent témoigner de leur expérience : le tout est de prendre le temps d'y participer, de s'y exprimer en temps réel : il y va de la loyauté envers le collectif.

La deuxième est de renoncer à l'idée que l'Académie est un champ de manœuvre pour poursuivre des combats personnels qui relèvent de l'activité passée ou actuelle de tel ou tel, combats que l'on n'aurait pas gagnés dans sa vie professionnelle, ou même que l'on a perdus. Nous comporter en *lobby* nous ferait perdre instantanément le peu d'autorité que nous détenons : dans le système de pensée et de clivage d'aujourd'hui, ne pas être contre c'est être pour, définitivement, constamment, et une opinion sur tout sujet nous serait attribuée d'office, comme écrite d'avance, nous amalgamant à un clan.

C'est pourquoi, et je le dis même si je sais que des confrères et consoeurs ont une autre opinion, nous n'avons pas à réagir dans la minute même à l'actualité (et encore moins à engager la signature de l'Académie) sans être sûrs que ce que nous mettons sur la place publique est partagé en interne et porté par la majorité de nos membres (ce qui ne veut pas dire l'unanimité).

A ce titre, je le dis publiquement et très loyalement, j'ai délibérément freiné et tempéré au sein du Bureau toute velléité de réagir au coup pour coup sur telle ou telle intrusion dans les activités de recherche sur les PGM (Plantes génétiquement modifiées), et elles furent nombreuses dans les derniers mois. Vous connaissez pourtant mon point de vue sur le sujet.

Ce n'est ni dans notre rôle ni dans nos capacités de réactivité (des associations existent qui savent s'exprimer sans délai) et cela nous entraînerait dans une spirale d'expressions lapidaires, sur la base d'informations et d'analyses partielles, vite clivantes dans notre Compagnie.

Gardons-nous de tomber, en interne, dans l'inversion de la règle démocratique observée dans le débat et la décision publics : une minorité, convaincue sincèrement qu'elle voit juste, impose son mode d'expression à la majorité, au risque de constater trop tardivement qu'une meilleure concertation pouvait entraîner une meilleure appréciation et une conciliation constructive. Cela est vrai pour toutes les parties et nous avons évité ce manichéisme sur les PGM. Deux sensibilités cohabitent dans notre Compagnie, et cela ne nous a pas empêchés de produire une synthèse, informative, non contestée. Jean-Claude **Pernollet**, qui a fait vivre ce groupe de travail, a su le faire déboucher sur la publication d'un ouvrage chez l'éditeur Quae. Il en fut de même sur l'Agriculture Biologique, où l'opuscule coordonné par Bernard **Le Buanec**, a été apprécié par toutes les parties. Chaque fois notre expression fut le fruit d'un travail collectif, long, non précipité, mais productif.

Notre force est de travailler en intelligence collective, plurielle, dans la loyauté réciproque, entre sections, entre membres, parce que des enjeux existentiels nous attendent.

Je voudrais maintenant vous présenter quelques questions que j'aimerais voir approfondir transversalement cette année même si elles furent esquissées auparavant.

Nous sommes et serons de plus en plus bousculés par les nouvelles contestations de la connaissance. Longtemps nous avons gardé l'illusion que l'évaluation à la source des connaissances produites par les professionnels était un système garant de la fiabilité des nouvelles informations. Sans nous alarmer qu'au regard des autres composantes de la société, cette évaluation est une évaluation interne aux milieux de la science, une sorte d'autoévaluation et de construction quelque peu autiste de l'expertise.

Pour éviter un clivage entre « ceux qui font la science » et ceux qui la « reçoivent », certains chercheurs ont proposé des associations entre profanes et « savants » pour définir des protocoles expérimentaux, des collectes de données de terrain, et intégrer des questionnements plus larges, des explorations d'hypothèses alternatives : on a parlé de science participative. C'est ce qui se passa à Colmar, artisanalement et sans soutien institutionnel, autour de l'expérience de la vigne transgénique, et n'empêcha pas le sabotage final de l'expérimentation.

Nous voyons l'émergence, et la légitimation, d'autres acteurs qui revendiquent d'apporter des connaissances, hors système de validation traditionnel, et qui contestent l'expertise basée sur des connaissances objectives et des faits scientifiques : je veux parler de l'émergence des Sciences dites « citoyennes », de l'apparition de chercheurs « engagés » voire « militants ». J'ai représenté ces nouveaux pôles sur les sommets d'un tétraèdre :

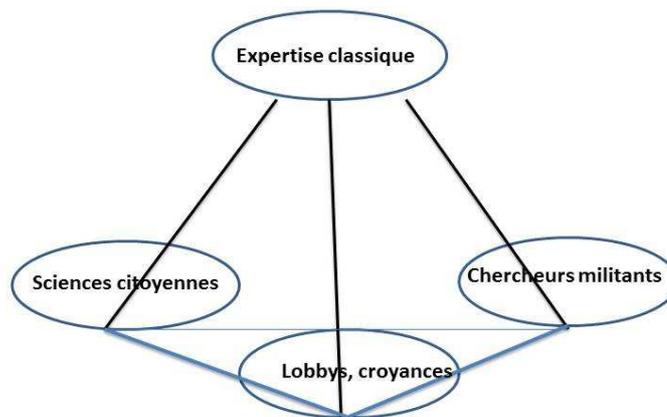


Fig 3 : *Le tétraèdre de la connaissance au XXI^e siècle.*

Je vais m'écarter d'un vocabulaire objectif : la science serait « citoyenne » lorsqu'elle émane d'acteurs non professionnels scientifiques mais porteurs de connaissances « de terrain », que les experts ignoreraient, et qui permettent de porter la controverse à l'encontre de la science « conformiste » basée sur des faits expérimentaux. Tout comme des semences seraient « paysannes », parce que produites sans recours aux nouvelles méthodes d'amélioration des plantes pratiquées par les semenciers, et non validées par des caractérisations génomiques qui seraient les outils de la « technoscience ».

Des chercheurs, notamment dans les communautés anglo-saxonnes environnementalistes, affichent leur engagement militant, et affirment que cela donne plus de force à leurs assertions scientifiques : les *media* s'en font l'écho, et récemment Stéphane Foucart (du journal *Le Monde*), journaliste dont l'objectivité

orientée est bien connue, affirmait que cette science pesait plus que la science validée par les pairs et les experts. Je ne reparlerai pas de « l'affaire Séralini », où la formulation de la conclusion a précédé et orienté le protocole expérimental mis en place... Parmi ces chercheurs militants convaincus combien restent accessibles au doute, pourtant le socle de toute démarche scientifique ?

Les contempteurs des approches scientifiques classiques, supposées imperméables au souci de l'acceptabilité sociétale, connaissent-ils seulement les exigences imposées aux chercheurs qui sollicitent des financements européens ? Respecter ici le bien-être animal, là avoir évalué les impacts environnementaux potentiels, réfléchir toujours, *a priori*, aux conséquences économiques, sociales et environnementales du projet. La science classique européenne n'est pas si dépourvue de conscience que certains veulent le faire croire.

Mais, et cela nous interpelle, nous qui voudrions être entendus des décideurs, il y a plus d'écoute chez les gouvernants pour les affirmations militantes que pour les connaissances validées par l'expérimentation scientifique.

Quelques exemples de cette politisation de la connaissance : l'année qui s'ouvre est « l'année des sols » : elle est déjà brandie par certains pour s'opposer à la loi Macron... C'est aussi la préparation d'un grand rendez-vous sur les évolutions climatiques. Dans les controverses politiques et idéologiques sans merci qui écouteront ?

Comment parler de territoire fonctionnel en pleine actualité d'une réforme territoriale qui obéit d'abord à des considérants administratifs ou politiques ? Comment parler d'élevage quand les *lobbies* animalistes font perdre de vue aux parlementaires que tout animal n'est pas un animal de compagnie et que l'humanité a chassé les animaux puis les a apprivoisés puis domestiqués pour les manger ?

La pensée dominante, même si elle n'est pas aussi majoritaire qu'on veut bien le dire ou l'écrire, flatte le refus de la science traditionnelle, la suspicion envers les experts. Dans notre grande majorité nous sommes issus d'une culture qui fait confiance à la science et à la technologie, car nous les connaissons de l'intérieur, y ayant apporté notre pierre. Le défi qui s'impose à notre Compagnie est de surmonter toute réaction défensive ou corporatiste et de trouver les lignes de cohésion de ce tétraèdre du conflit des connaissances pour en extraire une synthèse accessible et acceptée.

Nous aurons besoin d'aide, et notre conférencier invité, **Gérald Bronner**, est particulièrement qualifié pour nous donner une première leçon. Je vais donc lui passer la parole.

GÉNIE ÉCOLOGIQUE : MAÎTRISE DE L'ÉCOLOGIE MICROBIENNE ET SES APPLICATIONS - ACQUIS ET PERSPECTIVES

INTRODUCTION

par Marc Lalande¹

Madame la Présidente,
Monsieur le Secrétaire perpétuel,
Chères Consœurs, Chers Confrères,
Mesdames, Messieurs,

C'est avec beaucoup d'enthousiasme que Jean-Claude **Germon** et moi-même avons proposé d'organiser cette séance sur le Génie écologique, à nos sections respectives, Sciences de la vie (la section 6) et Environnement et territoires (la section 7), animés par une vraie connivence interdisciplinaire, issue du partage commun, au cours de ces dernières années, de l'expérience enrichissante de l'évaluation des structures de recherche et d'enseignement supérieures nationales en Agronomie et Ecologie que nous avons pilotée.

Nous avons envisagé à la genèse de cette séance d'y associer également la section Alimentation humaine (la section 8), mais cela n'a pu se réaliser. Souhaitons que cette tentative puisse aboutir à l'avenir, car nous sommes de fervents défenseurs de l'interdisciplinarité.

Il convient peut-être, tout d'abord, en deux mots, de définir le Génie écologique². De façon générique, le Génie écologique consiste à préserver, développer et utiliser la biodiversité par des actions adaptées, qu'elles soient technologiques ou de gestion, et ceci dans la durée, pour, sur des écosystèmes ciblés, en tirer profit au bénéfice de l'environnement, environnement s'entendant au sens large, milieux et territoires bien sûr, mais aussi environnements confinés tels que, par exemple, l'usine alimentaire ou le bioréacteur d'épuration, générant ainsi un véritable **service écosytémique**.

Ce thème s'inscrit donc pleinement dans les priorités du programme de travail de l'Académie, notamment dans la première des thématiques retenues « produire mieux et plus pour nourrir les hommes ».

Nous avons choisi, pour cette séance, de nous focaliser sur le Génie écologique microbien, le domaine de l'ingénierie écologique étant tellement vaste que plusieurs séances auraient été nécessaires pour en traiter tous les aspects. Le Génie écologique microbien est sans doute aussi le domaine où les concepts académiques ont le plus progressé, ce qui a finalisé notre choix.

Je vais maintenant vous présenter les trois orateurs qui se succéderont à cette tribune.

¹ Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

² *Génie écologique* : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-genie-ecologique-une-filiere-d.html>
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

Romain **Briandet** est docteur d'Agrocampus Rennes, directeur de recherche à l'INRA ; il est responsable de l'équipe Bioadhésion-Biofilm et Hygiène des matériaux de l'UMR Micalis de l'INRA de Jouy-en-Josas (Microbiologie alimentaire au service de la santé), unité mixte entre l'INRA et AgroParisTech. Ses recherches portent sur la connaissance et la maîtrise des biofilms des filières alimentaires. Son exposé s'intitule : « **Biofilms, la cité des microbes** ».

Théodore **Bouchez** est Ingénieur en Chef des Ponts, des Eaux et des Forêts, Docteur d'AgroParisTech ; il est chef de l'équipe BIOMIC de l'Unité HBAN (Hydrosystèmes et bioprocédés) de l'IRSTEA d'Antony. Ses recherches portent sur les biotechnologies environnementales. Son exposé s'intitule « **Vers une ingénierie écologique des bioprocédés pour l'environnement** ».

Fabrice **Martin-Laurent** est Docteur de l'Université de Bourgogne, directeur de recherche à l'INRA ; il est chercheur au sein de l'UMR Agroécologie de l'INRA de Dijon, unité mixte entre l'INRA, AgroSup Dijon, l'Université de Bourgogne et le CNRS ; il est membre de nombreux groupes de travail et comités d'experts français et européens, dans le domaine de l'écotoxicologie microbienne, en particulier à l'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) et à l'ISO (équivalent de l'AFNOR au niveau européen). Ses recherches portent sur le devenir des intrants chimiques dans le sol, notamment les pesticides. Son exposé s'intitule « **Écologie microbienne au service de la compréhension et de la maîtrise de fonctions écosystémiques des sols** ».

Avant de leur céder la parole, je voudrais aussi maintenant, et pour finir, introduire brièvement et plus spécifiquement cette séance.

Les microorganismes sont présents dans tous les milieux et constituent une part immense de la biodiversité. Longtemps étudiés isolément et souvent *in vitro* par les microbiologistes depuis les travaux des écoles de Koch ou de Pasteur, ensuite grâce aux progrès de la biologie moléculaire et de la génétique microbienne de ces dernières décennies, ils sont désormais regardés à travers le fonctionnement global de leurs communautés, dans une approche écosystémique, car c'est ainsi qu'ils « œuvrent » réellement dans les environnements naturels où ils se trouvent, ou dans les environnements confinés où ils sont introduits.

La gestion de ces communautés microbiennes passe par une meilleure connaissance de leur écologie, c'est-à-dire de leur interaction avec leur environnement ou entre les différentes populations qui les constituent et un enjeu majeur pour le futur est de les observer et de les étudier *in vivo*.

Au cours des dernières décennies le développement des méthodes moléculaires, de la biologie à haut débit et des approches méta-omiques³ a ainsi révolutionné les approches d'écologie microbienne, mais en donnant parfois l'impression d'un décalage entre la caractérisation fine de ces populations et la compréhension de leur rôle fonctionnel *in situ*. Ce décalage se comble aujourd'hui grâce au développement d'une véritable **ingénierie écologique** transverse aux différents domaines de la microbiologie, rendant possible un début de maîtrise des écosystèmes concernés et de leur contrôle pour des perspectives d'application données.

Les trois exposés qui vont maintenant se succéder illustreront cette démarche conceptuelle de génie écologique à travers trois exemples. Le premier concernera la stratégie de survie des biofilms présents sur les surfaces (qu'il s'agisse de milieux naturels, industriels ou médicaux), le deuxième montrera le rôle de la pression de sélection dans l'émergence du service écosystémique attendu dans les bioprocédés pour l'environnement, le troisième analysera le rôle de l'impact écotoxicologique des intrants chimiques sur la qualité de la composante biologique des sols et sur ses fonctions écosystémiques.

Les trois exposés se dérouleront successivement et le débat avec la salle interviendra globalement à leur issue, avant que Jean-Claude **Germon** tire les conclusions de cette journée.

Je vous remercie de votre attention.

³ Métagénomique, métaprotéomique, métatranscriptomique et métabolomique.

BIOFILMS : LA CITE DES MICROBES

par Romain Briandet¹

La vie microbienne fourmille sur la plupart des surfaces de notre planète. Un support, de l'eau et quelques nutriments suffisent aux microbes pour amorcer la construction de véritables forteresses microbiennes dénommées biofilms. La matrice organique qui assure la cohésion de ces structures biologiques est essentiellement constituée d'un gel gluant de polymères complexes. Ces architectures microscopiques impactent notre quotidien de bien des manières puisqu'elles peuvent se former dans les milieux naturels, industriels et médicaux. Et pour les colocataires de la matrice, il y a bien des avantages à ce mode de vie communautaire. Tolérance aux antimicrobiens et aux systèmes de défense immunitaires de l'hôte dans le cas d'infection chroniques ; résistance au stress hydrodynamique et aux opérations de nettoyage sur les équipements industriels ; protection vis-à-vis du broutage amibien et de l'action des polluants toxiques dans l'environnement.

La diversité des stratégies de survie développées par ces écosystèmes de surface commence juste à être décryptée dans le cas de systèmes modèles rudimentaires. Loin d'être de simples assemblages tridimensionnels de cellules identiques, les biofilms sont constitués de sous-groupes hétérogènes dotés d'activités sociales qui participent très largement à leur succès écologique. Les récentes avancées dans la compréhension des mécanismes moléculaires impliqués et leurs régulations autorisent aujourd'hui les chercheurs à proposer de nouvelles stratégies ciblées pour mieux les maîtriser. Et si historiquement les recherches se sont d'abord focalisées sur la lutte contre les biofilms nuisibles, le détournement pour des utilisations biotechnologiques des singularités de la vie microbienne en biofilm est en plein essor. Transformation de nos déchets en gaz ou biopolymères, production d'électricité par des biopiles, bioprotection des aliments et même restauration de monuments historiques... Ces colonisateurs de surface pourraient rapidement devenir de précieux alliés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BRIDIER A, BRIANDET R, BOUCHEZ T, JABOT F. 2014. – A model-based approach to detect interspecific interactions during biofilm development. *Biofiling* **30**, 761-771
- (2) HOURLY A, GOHAR M, DESCHAMPS J, TISCHENKO E, AYMERICH S, GRUSS A, BRIANDET R. 2012. – Bacterial swimmers that infiltrate and take over the biofilm matrix, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **109**, 13088-13093.
- (3) BRIDIER A, BRIANDET R, THOMAS V, DUBOIS-BRISSONNET F, JABOT F. 2014. Resistance of bacterial biofilms to disinfectants: a review. *Biofiling* **27**, 1017-1032
- (4) Romain BRIANDET, Lise FECHNER, Murielle NAÏTALI, Catherine DREANNO. 2012. – Biofilms, quand les microbes s'organisent. *QUAE EDITIONS, Collection Carnet des Sciences*. ISBN : 978-2-7592-1764-9.

¹ Institut Micalis (Microbiologie alimentaire au service de la santé), UMR1319 INRA – AgroParisTech, Jouy-en-Josas.

<https://www.micalis.fr>
romain.briandet@jouy.inra.fr

VERS UNE INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE DES BIOPROCÉDÉS POUR L'ENVIRONNEMENT

par Théodore **Bouchez**¹

À la différence des biotechnologies industrielles (biotechnologies blanches) qui mettent en œuvre et maintiennent des agents biologiques particuliers, soigneusement sélectionnés (micro-organismes, enzymes...), dans des environnements fortement contrôlés et confinés, les biotechnologies environnementales (stations d'épuration, méthaniseurs...) utilisent des cultures mixtes auto-organisées de microorganismes dans lesquelles l'application d'une pression de sélection – par exemple le maintien de conditions anaérobies conduit à l'émergence d'un service écosystémique ou par exemple la production de méthane à partir de déchets organiques. Les biotechnologies environnementales procèdent donc d'une logique d'ingénierie différente et nécessitent l'intégration d'une composante écologique (Kleerebezem et van Loosdrecht, 2007). Il est en effet important de comprendre comment, à partir d'une pression de sélection donnée, il est possible d'induire un ensemble de bifurcations écologiques dont émerge finalement le service écosystémique attendu.

Aujourd'hui, l'avènement des approches analytiques haut débit (métagénomique, métatranscriptomique, métaprotéomique, métabolomique) nous permettent d'avoir accès avec à un niveau d'information sans précédent sur les communautés microbiennes complexes des bioprocédés pour l'environnement et lèvent progressivement le voile sur le fonctionnement de ce "moteur microbien". Toutefois, l'intégration de ces jeux de données souvent massifs dans un cadre conceptuel cohérent constitue aujourd'hui une vraie gageure, et nous sommes plus que jamais entrés dans "the epoch during the growth of a science during which facts accumulate faster than theories can accommodate them" (Pluto's Republic. Peter Medawar. Oxford Univ. Press (1982)).

Pour le moment en effet, notre capacité à prédire l'évolution des écosystèmes microbiens est relativement limitée. Pourtant, l'observation des bioprocédés suggère qu'il existe un principe thermodynamique de convergence fonctionnelle. Quel que soit l'inoculum et malgré la multiplicité des micro-organismes impliqués, une communauté microbienne complexe placée dans un digesteur finit toujours par développer un processus de méthanisation, alors que, placée dans une station d'épuration, les processus biochimiques qu'elle catalyse évoluent systématiquement vers une minéralisation du carbone organique et une nitrification de l'azote ammoniacal... L'émergence des mêmes propriétés fonctionnelles chez des communautés microbiennes variées, en réponse à des conditions thermodynamiques, suggère que toutes les interactions écologiques complexes s'établissent selon un principe commun et amènent le système à converger vers un même type de propriété fonctionnelle. Cette constatation nous a amené à revisiter les principes théoriques qui sous-tendent la croissance microbienne et à établir une théorie thermodynamique de la croissance microbienne (Desmond-Le Quemener et Bouchez, 2014). Nous pensons que ce travail constitue un premier pas vers le développement d'une ingénierie véritablement écologique des écosystèmes de bioprocédés, c'est-à-dire une ingénierie qui prenne en compte explicitement les principes écologiques d'évolution de ces communautés, et qui serait ainsi capable de tirer pleinement parti de leurs capacités d'auto organisation et d'optimisation énergétique.

¹ IRSTEA, UR HBAN, équipe BIOMIC (Bioprocédés et biotechnologies Microbiennes pour la valorisation des déchets), Antony.

<http://www.irstea.fr/la-recherche/themes-de-recherche/led/biomic>
theodore.bouchez@irstea.fr

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) DESMOND-LE QUEMENER E, BOUCHEZ T. 2014. – A thermodynamic theory of microbial growth. *ISME J*, <http://www.nature.com/ismej/journal/vaop/ncurrent/full/ismej20147a.html>
- (2) KLEEREBEZEM R, VAN LOOSDRECHT MCM. 2007. – Mixed culture biotechnology for bioenergy production. *Current Opinion in Biotechnology*, **18**, 207-212.

ÉCOLOGIE MICROBIENNE AU SERVICE DE LA COMPRÉHENSION ET DE LA MAÎTRISE DE FONCTIONS ÉCOSYSTÉMIQUES DES SOLS

par Fabrice **Martin-Laurent**¹

Les sols, longtemps vus comme un matériau inerte, utilisés entre autres comme support de la production végétale, sont maintenant reconnus comme un habitat fragile qui héberge une multitude d'organismes vivants (microfaune, microorganismes...), et dont la biodiversité reste encore largement inexplorée. Ils constituent des écosystèmes complexes où siègent de nombreuses fonctions supportant des services écosystémiques qui représentent un patrimoine inestimable pour l'humanité. Pourtant malgré cette valeur patrimoniale, les sols sont menacés par des pratiques agricoles faisant appel de manière quasi-généralisée à des intrants chimiques (engrais et pesticides) qui conduisent à leur contamination mais également à celle des compartiments adjacents (aquatique et aérien). Dans ce contexte, l'estimation du risque environnemental des pratiques agricoles et, notamment, de l'impact écotoxicologique des intrants chimiques sur la qualité de la composante biologique des sols et sur ses fonctions écosystémiques, constitue un enjeu de premier ordre. Au-delà de l'effet délétère des intrants chimiques sur ces fonctions, l'exposition répétée à un contaminant peut conduire à l'adaptation génétique de populations microbiennes capables de le biodégrader rapidement en composés simples utilisés comme source de nutriments et d'énergie pour leur croissance. L'émergence de ces populations dégradantes, qui contribuent à la fonction d'épuration des sols et sont le support de la biofiltration de l'eau, représente un enjeu environnemental important car elle permet d'envisager la résilience de la contamination des sols par différents composés xénobiotiques.

Les derniers développements de l'écologie microbienne moléculaire reposant sur l'extraction des acides nucléiques (ADN/ARN) des sols et leur analyse par des techniques de « omic's » (transcriptomique, génomique) offrent de nouvelles perspectives permettant d'appréhender l'impact écotoxicologique des intrants chimiques sur différentes fonctions microbiennes. Ainsi pour ce qui concerne la fonction d'épuration, des avancées significatives ont été réalisées dans la description et la compréhension (i) des processus impliqués dans l'adaptation des communautés microbiennes à la biodégradation des pesticides mais également (ii) du fonctionnement de ces communautés sous l'influence de différents paramètres de l'environnement. Au-delà de ces éléments de compréhension, ces données permettent d'envisager de modéliser à l'échelle de la parcelle agricole la variabilité spatiale de la fonction de biodégradation microbienne, et également de développer des indicateurs moléculaires permettant d'estimer la capacité d'atténuation naturelle de différents compartiments environnementaux (parcelle agricole, bande enherbée, sédiments).

La connaissance des processus qui contrôlent l'adaptation et le fonctionnement des communautés microbiennes dégradant les pesticides a permis d'accompagner le développement de procédés d'ingénierie écologique. On a pu, par exemple, développer des modes de traitement à la ferme d'effluents liquides contaminés par des pesticides dans des dispositifs rustiques de décontamination (du type lit biologique) ou encore envisager l'aménagement de zones tampons de deuxième génération ('*in-field bioreactor*') permettant d'intercepter et de biodégrader les flux d'intrants chimiques provenant des parcelles agricoles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) MARTIN-LAURENT F, KANDELER E, PETRIC I, DJURIC S, KARPOUZAS D. 2013. – ECOFUN-MICROBIODIV: an FP7 European project for developing and evaluating innovative tools for assessing the impact of pesticides on soil functional microbial diversity: towards new pesticide registration regulation? *Env. Sci. Poll. Res.* **2**, 1203-1205.
- (2) PÊSCE S, MARGOUM C, ROUARD N, FOULQUIER A, MARTIN-LAURENT F. 2013. – Freshwater sediment pesticide biodegradation potential as an ecological indicator of microbial recovery following a decrease in chronic pesticide exposure : a case study with the herbicide diuron. *Ecol. Indic.*, **29**, 18-25.

¹ UMR Agroécologie INRA-AgroSup-Université de Bourgogne-CNRS 1347, Dijon.

<http://www6.dijon.inra.fr/umragroecologie>
fabrice.martin@dijon.inra.fr

CONCLUSION

par Jean Claude **Germon**¹

Le titre de cette séance, « Génie écologique : maîtrise de l'Écologie microbienne », renvoie à notre conception de la relation de l'homme à son environnement. L'histoire de l'humanité, et plus spécifiquement de l'agriculture, est une tentative permanente de maîtrise du milieu ambiant, physique et biologique, pour en tirer subsistance et permettre des conditions de vie partiellement affranchies des fluctuations de ce milieu, tout en devant veiller à en préserver la durabilité.

Ce titre de séance correspond à une vision partagée avec Marc **Lalande**, qui prend en compte les capacités d'adaptation et de transformations des microorganismes, dans différents milieux, dont nous pouvons tirer parti pour satisfaire nos besoins dans différents domaines : la production et la transformation d'aliments, la santé, la production de sources d'énergie utilisables, la gestion de notre environnement, qu'il soit naturel ou artificialisé par notre développement.

Parler de Génie Écologique et de maîtrise de l'Écologie Microbienne, c'est aussi mettre en avant un mode d'approche de la microflore et de son écologie, reposant sur l'analyse de mécanismes biologiques et d'évolution de populations microbiennes à partir de fonctions clairement identifiées par leurs implications dans le fonctionnement de leurs environnements respectifs et par les services écosystémiques que l'on peut en attendre.

Quelles conclusions de portée générale pouvons-nous dégager de ces présentations :

- il m'apparaît tout d'abord nécessaire de souligner que ces trois interventions illustrent une même préoccupation de compréhension des dynamiques écologiques des populations microbiennes dans des environnements différents – les process industriels de production d'aliments, la production de bio-énergie par fermentation de déchets organiques et le devenir dans le sol des molécules organiques de synthèse – afin de mieux prévoir et maîtriser la dynamique de ces populations et leurs activités dans ces environnements ;
- ces interventions illustrent bien la nécessité et l'intérêt d'étudier les microorganismes dans les milieux où ils se développent réellement. L'observation de la capacité des microorganismes à se développer en biofilms a fortement modifié la conception du fonctionnement des cultures microbiennes en milieu homogène et la modélisation de leur développement. La présentation de Romain **Briandet** montre que par des techniques d'observation *in situ*, il est maintenant possible de mieux comprendre les stratégies de survie développées par ces écosystèmes de surface et les avantages qu'ils tirent de ce mode de vie communautaire, tels que la tolérance aux agents antimicrobiens et aux systèmes de défense immunitaire de l'hôte dans le cas d'infection chroniques ou la résistance aux stress hydrodynamiques et aux opérations de nettoyage sur les équipements industriels. Les récentes avancées dans la compréhension des mécanismes moléculaires et des régulations impliquées dans la construction de ces biofilms, caractérisées à la fois par une augmentation de la plasticité génétique et une diversification fonctionnelle au sein de ces structures organisées, autorisent aujourd'hui les chercheurs à proposer de nouvelles stratégies ciblées pour mieux les maîtriser ;

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

- associant les lois de la physique aux observations sur le développement des communautés microbiennes impliquées dans la méthanisation, Théodore **Bouchez** souligne l'impossibilité de rendre compte de la convergence de sélection observée chez les populations microbiennes de ces fermentations à partir des équations caractéristiques de la croissance proposées par Monod. Il met un avant un principe thermodynamique de convergence fonctionnelle basé sur l'observation d'une constance des quantités d'énergie dissipées au cours de la division cellulaire des micro-organismes, formalisé par une équation reliant la croissance à la quantité d'énergie utilisable. Il met ainsi l'accent sur le rôle déterminant de la disponibilité énergétique dans les mécanismes d'adaptabilité des microorganismes et souligne l'intérêt de connaître leurs réponses aux pressions environnementales pour prévoir l'évolution des communautés microbiennes impliquées et tenter d'en tirer un meilleur parti en termes d'application ;
- Fabrice **Martin** complète et nuance cette vision sur l'adaptabilité des populations microbiennes. Les travaux qu'il conduit sur la microflore des sols lui permettent de confirmer cette plasticité microbienne avec l'observation de la mise en place de mécanismes de biodégradation de différentes molécules xénobiotiques apportées au sol. Mais parallèlement il observe aussi que certains produits ou certaines pratiques culturales peuvent perturber le fonctionnement des microflores, tandis que certains produits apportés ou néoformés ne peuvent être transformés par ces microflores, conduisant de ce fait à la notion de faillibilité microbienne ;
- à partir des approches présentées je voudrais souligner l'importance du facteur temps dans les démarches de génie écologique et les divergences d'approche auxquelles il peut conduire en fonction des différents systèmes microbiens que l'on cherche à maîtriser. Dans les bioréacteurs industriels ou dans le domaine de la santé, la maîtrise de la dynamique des communautés microbiennes en fonction du temps est directement corrélée à celle de coûts de fonctionnement que l'on cherche à limiter. Dans le domaine de l'environnement, ce facteur temps est un paramètre qu'il convient parfois de laisser se développer. A partir des travaux de l'équipe de Fabrice **Martin** et de ses prédécesseurs, je voudrais seulement rappeler qu'il a suffi de quelques années pour mettre en évidence l'adaptation de la microflore du sol pour biodégrader certaines molécules de synthèse, mais qu'il en a fallu près d'une quarantaine pour que se manifeste, en plusieurs endroits du globe, la biodégradation effective d'une molécule comme l'atrazine. Le caractère actuellement récalcitrant à la biodégradation de certaines autres molécules ne signifie pas que celles – ci ne deviendront pas biodégradables dans un avenir que l'on ne sait prévoir, avec pour conséquence le problème de la gestion de ces molécules dans le temps présent ;
- je me permettrai un message de conclusion plus personnel à ces collègues qui associent dans leurs travaux des préoccupations d'avancées des connaissances dans des domaines prospectifs pouvant conduire à des avancées technologiques (bioénergie, bioadaptation), tout en ayant en tête la nécessité de maîtriser les dérives de ces systèmes biologiques (approche écotoxicologique, mécanismes de bioprotection). Je les remercie d'avoir démontré par leurs présentations que l'on peut développer des travaux fondamentaux de qualité scientifique reconnue tout en gardant en arrière-plan des préoccupations très concrètes en phase avec une demande sociale bien formulée.

Je vous remercie de votre attention.

DÉTERMINATION DU SEXE

Séance interacadémique Académie d'agriculture – Académie des Sciences

Organisateurs : Michel **Caboche** (Académie des sciences)
Margaret **Buckingham** (Académie des sciences)
Jeanne **Grosclaude** (Académie d'Agriculture)

La plupart des organismes sexués ont deux sexes. Chez de nombreuses espèces, la détermination du sexe est génétique : les mâles et les femelles ont des allèles différents ou même des gènes différents qui spécifient leur morphologie sexuelle. La différenciation sexuelle est généralement déclenchée par un gène principal (un «locus de sexe»), avec une multitude d'autres gènes suivants dans un effet domino. Dans d'autres cas, le sexe est déterminé par les variables environnementales (par exemple la température) ou des variables sociales (par exemple la taille de la population).

Les mécanismes moléculaires de la détermination du sexe font l'objet de nombreuses recherches. Le but de cette séance est de préciser ces mécanismes chez l'homme, les animaux et les plantes.

ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE REPRODUCTION CHEZ LES ESCARGOTS

et Patrice **David**¹ et Philippe **Jarne**

On pense toujours, en parlant de sexe, à des espèces où des individus distincts assurent les fonctions sexuelles mâle et femelle. Pourtant, dans l'arbre de la vie, nombreuses sont les espèces, végétales et animales, où les deux sexes sont réunis chez le même individu. Cette uniformité apparente cache une diversité de stratégies potentielles, chaque individu hermaphrodite pouvant simultanément, ou alternativement, assumer le rôle de mâle et de femelle, voire féconder ses ovules avec son propre sperme (autofécondation). Cette diversité est étudiée depuis l'époque de Darwin chez les plantes, mais a été relativement moins bien étudiée chez les animaux, bien que deux tiers des grandes familles du règne animal abritent des espèces hermaphrodites.

Les escargots, parmi lesquels se trouvent des groupes entièrement hermaphrodites (tous les pulmonés d'eau douce par exemple) nous ont permis d'étudier cette diversité, et de chercher à comprendre comment la sélection naturelle agit sur la stratégie de reproduction, que ce soit pour décider de l'investissement dans la voie mâle ou dans la voie femelle, ou de la quantité d'ovules proposés à l'autofécondation. Je montrerai à l'aide d'exemples que parfois il existe au sein d'une même espèce des polymorphismes sexuels, où coexistent différents types d'hermaphrodites ayant des stratégies différentes. Je montrerai également comment, au travers d'études théoriques et expérimentales, nous avons mis en évidence les forces qui sous-tendent l'évolution de ces caractères.

Nous mettons notamment en évidence un type de sélection très particulier sur ces stratégies, favorisant souvent une évolution en « tout-ou-rien » vers des types entièrement autofécondants ou

¹ Centre d'Écologie fonctionnelle et évolutive, CNRS/Université Montpellier 2, Montpellier.

<http://www.cefe.cnrs.fr>
patrice.david@cefe.cnrs.fr

entièrement allofécondants. Les systèmes de reproduction des animaux hermaphrodites, au même titre que le sex-ratio des espèces à sexes séparés, apparaissent au travers de ces études comme un des terrains d'étude où la théorie évolutionniste trouve des applications particulièrement claires et fécondes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) OSTROWSKI M.F., JARNE P., DAVID P., 2000. – Quantitative genetics of sexual plasticity: the Environmental Threshold Model and genotype-by-environment interaction for phallus development in the snail *Bulinus truncatus*. *Evolution* **54**, 1614-1625.
- (2) ESCOBAR J-S., AULD J-R., CORREA A-C., ALONSO J-M., BONY Y-K., COUTELLEC M-A., KOENE J-M., POINTIER J-P., JARNE P., DAVID P., 2011. – Patterns of mating-system evolution in hermaphroditic animals: correlations among selfing rate, inbreeding depression and the timing of reproduction. *Evolution* **65**, 1233-1253.
- (3) PELISSIE B., JARNE P., DAVID P., 2012. – Sexual selection without sexual dimorphism: Bateman gradients in a simultaneous hermaphrodite. *Evolution* **66**, 66-81.
- (4) JANICKE T., VELLNOW N., LAMY T., CHAPUIS E., DAVID P., 2014. – Inbreeding depression of mating behavior and its reproductive consequences in a freshwater snail. *Behavioral Ecology* **25**, 288-299.

LES DÉTERMINISMES GÉNÉTIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DU SEXE CHEZ LES POISSONS

par Yann Guiguen¹

Le groupe des poissons téléostéens, super-ordre de poissons osseux regroupant plus de vingt mille espèces, présente une étonnante diversité des types d'expression de la sexualité avec une majorité d'espèces gonochoriques mais aussi beaucoup d'espèces hermaphrodites, ce qui est une spécificité au sein des vertébrés. Les déterminismes du sexe chez les poissons sont extrêmement variables et peuvent être soit génétiques, soit environnementaux, soit génétiques et modulables par l'environnement (1). Les systèmes génétiques les plus fréquents sont soit des systèmes mono-factoriels à hétérogamétie mâle (comme chez les mammifères XX/XY), soit à hétérogamétie femelle (comme chez les oiseaux ZZ/ZW) mais il existe aussi des cas d'espèces possédant des chromosomes sexuels multiples (X, Y et W) ou des systèmes polygéniques pour lesquels c'est la combinaison de plusieurs allèles qui va déterminer le sexe phénotypique des individus. Les gènes déterminants majeurs du sexe qui contrôlent ce déterminisme génétique évoluent extrêmement rapidement et peuvent être différents même au sein d'espèces relativement proches. Ces déterminants majeurs du sexe sont aussi souvent des copies issues de la duplication de gènes impliqués dans la différenciation gonadique, comme par exemple le facteur de transcription « Doublesex and mab-3 related transcription factor 1 », ou des facteurs de croissance et des récepteurs de la famille des TGFb (2). Mais l'innovation évolutive reste possible, comme par exemple dans le cas des salmonidés, où le déterminant majeur du sexe est issu de l'évolution d'un gène impliqué dans la réponse immunitaire (3).

¹ Laboratoire de Physiologie et Génomique des poissons, INRA, Rennes <http://www6.rennes.inra.fr/lpgp/>
e-mail : Yann.Guiguen@rennes.inra.fr

Le déterminisme environnemental du sexe le plus connu chez les poissons est celui dépendant de la température (4), mais d'autres facteurs de l'environnement sont susceptibles de jouer sur le déterminisme du sexe des poissons, tels que le pH ou le taux d'oxygène de l'eau.

Enfin, il existe des espèces dont le déterminisme sexuel est dépendant des interactions sociales au sein d'un groupe (effets de la dominance ou de la densité de population). Ces facteurs sociaux ont été particulièrement bien étudiés chez les espèces hermaphrodites lors du processus d'inversion sexuelle, mais il semble aussi qu'un tel contrôle social puisse exister chez certaines espèces gonochoriques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) MANK J-E., AVISE J-C., 2009. – Evolutionary diversity and turn-over of sex determination in teleost fishes. *Sexual Development* **3**, 60-67.
- (2) KIKUCHI K., HAMAGUCHI S., 2013. – Novel sex-determining genes in fish and sex chromosome evolution. *Developmental Dynamics* **242**, 339-353.
- (3) YANO A., GUYOMARD R., NICOL B., JOUANNO E., QUILLET E., KLOPP C., CABAU C., BOUCHEZ O., FOSTIER A., GUIGUEN Y., 2012. – An immune-related gene involved into the master sexdetermining gene in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Current Biology* **22**, 1423-1428.
- (4) OSPINA-ALVAREZ N., PIFERRER F., 2008. – Temperature-dependent sex determination in fish revisited: prevalence, a single sex ratio response pattern, and possible effects of climate change. *PLoS One* **3**, e2837

VERS LA COMPRÉHENSION DU DÉTERMINISME DU SEXE CHEZ LES PLANTES

par Abdelhafid **Bendahmane**¹

How the gender of a flower or a plant is determined is an important issue in plant developmental biology. Understanding this process also has practical applications in agriculture, as manipulation of sex expression can influence fruit quality, yield, cropping methods and breeding strategies. For example, varieties with a long vegetative or male phase prior to production of carpel-bearing flowers have a long growing season, which can be a disadvantage depending on location (e.g., ability to avoid frost).

Sex determination is a process that leads to the physical separation of male and female gamete producing structures in separate flowers on the same plant (monoecious species) or on separate individuals (dioecious species). Several species of the Cucurbitaceae, a plant family that contains some of the most nutritious, delicious and versatile food items in the human diet, including cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*Cucumis melo*), have bisexual floral primordia, but often have flowers limited to a single sex. Sex determination occurs by the selective arrest of either the male stamen or female carpel during development.

In melon, sex determination is governed by the *andromonoecious a* gene and the *gynoecious g* gene, and the interplay of alleles of these two genes results in a range of sexual types. Monoecious (*A-G-*) and andromonoecious (*aaG-*) individuals bear male flowers on the main stem and, respectively, female or hermaphrodite flowers on axillary branches, whereas *gynoecious (AAGg)* and hermaphrodite (*aagg*) individuals only bear female and hermaphrodite flowers, respectively. In addition, cucurbit sex expression patterns can be modified by hormones such as ethylene, and by environmental factors.

¹ Unité de recherche en Génomique végétale, UMR INRA/CNRS/Université d'Evry-Val d'Essonne, Evry
<http://www.versailles.inra.fr/urgv/> e-mail : bendahm@evry.inra.fr

Cloning of the *a* gene revealed that andromonoecy results from a mutation in the active site of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase, *CmACS-7*, which is one of the key regulatory enzymes in the biosynthesis pathway of the plant hormone ethylene. Likewise we cloned the *g* gene and showed that the transition from male to female flowers in gynoeious lines results from epigenetic changes in the promoter of a transcription factor, *CmWIP1*. Thus, expression of *CmWIP1* leads to inhibition of carpel primordia, while methylation-induced silencing of this gene allows for carpels to develop. Moreover, we showed that *CmWIP1* represses indirectly *CmACS-7* expression to allow stamen development. Together our data suggest a model in which the two genes interact to control the development of male, female and hermaphrodite flowers in melon. Translating the outreaches to other Cucurbitaceae will be discussed.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BOUALEM A., FERGANY M., FERNANDEZ R., TROADEC C., MARTIN A., MORIN SARI M., COLLIN F., FLOWERS M., PITRAT M., PURUGGANAN M., DOGIMONT C., BENDAHMANE A., 2008. – A conserved mutation in an ethylene biosynthesis enzyme leads to andromonoecy in melons. *Science* **321**, 336-338.
- (2) MARTIN A, TROADEC C, BOUALEM A, RAJAB M, FERNANDEZ R, MORIN H, PITRAT M, DOGIMONT C, BENDAHMANE A., 2009. – A transposon-induced epigenetic changes leads to sex determination in melon. *Nature* **461**, 1135-1139.
- (3) MING R., BENDAHMANE A., RENNER S., 2011. – Sex chromosomes in land plants. *Annual Review of Plant Biology* **62**, 485-514.
- (4) WANG YH., BEHERA TK., KOLE C., (Eds). 2011. – Genetics, genomics and breeding of cucurbits. *CRC Press*, ISBN-13: 978-1118016237.

NOUVEAUX FACTEURS GÉNÉTIQUES IMPLIQUÉS DANS LA DÉTERMINATION DU SEXE CHEZ LES MAMMIFÈRES

par Ken Mc Elreavey¹

Human sex determination is a tightly controlled and highly complex process where the bipotential gonad anlage develops to form either a testis or an ovary. Several genes, including *Cbx2*, *Nr5a1* and *Wtl* are required for development of the early genital ridge and may control the expression of the testis-determining gene *Sry*. The H3K9 demethylase *Jmjd1a* positively controls the expression of *Sry* by regulating H3K9me2 marks. In mice and humans *SRY* expression is also positively regulated by apparently different mitogen-activated protein kinase signal transduction pathways. In rodents, *Sry* acts during a restricted window of time during embryonal development to activate the downstream effector *Sox9*, which results in the induction of Sertoli cells. Upregulation of *Sox9* in males is due to a synergistic action of *Sry* with NR5A1/SF1, through binding to a testis-specific *Sox9* enhancer. The mechanism leading to the downregulation of *Sox9* expression in the female may involve miRNAs. *Sry* also initiates a positive feedback loop between *Sox9* and *Fgf9*, which results in the up-regulation of *Fgf9* and the repression of the ovarian genes in the male gonad. *Fgf9* may itself upregulate *Sox9* expression by negatively regulating a *Sox9* repressor. Ovarian sex-determination requires both *Rspo1/Wnt4/b-catenin* and *Foxl2* signaling pathways although the degree to which these factors are instructive or permissive is not entirely clear. Available data suggest that *Rspo1* cooperates with *Wnt4* to stabilize β -catenin, thereby counteracting the establishment of the *Sox9/Fgf9* positive feedback loop. *Foxl2* is required to maintain the ovarian phenotype at the postnatal stage. Targeted

¹ Génétique du Développement humain, Institut Pasteur, Paris <http://www.pasteur.fr/fr/recherche/biologie-du-developpement-cellulesouches/unites-et-groupes/genetique-du-developpement-humain> kenneth.mcelreavey@pasteur.fr

ablation of *Foxl2* in the adult ovary leads to molecular transdifferentiation of the supporting cells of the ovary into the supporting cells of the testes that show expression of *Sox9*. Human chr 9p deletions that remove the *DMRT1* gene are associated with a failure of testis determination. Although DMRT1 determines sex in birds, the role of DMRT1 in mammalian sex-determination is unclear. Recent data suggest that it may function by repressing female development. The loss of *Dmrt1* in mouse Sertoli cells, even in adults, results in the activation of *Foxl2* and Sertoli cells transdifferentiate into granulosa and theca cells.

The choice of somatic cell fate occurs following the activation of *Sox9* expression by *Sry* and the subsequent maintenance of gonadal fate can be viewed as a battle for dominance between the male (*Dmrt1*, *Fox9*) and female (*Foxl2*, *Wnt4/b-catenin*) pathways. The initiation and maintenance of the mammalian gonad is an unusual biological process that is regulated by a double repressive system where an equilibrium of mutually antagonistic pathways must be attained for normal development of either the testis or ovaries. Changes in this delicate balance may result in disorders of sex development (DSD) or infertility in the human. Indeed as we will see the analyses of these human cases carrying errors of sexdetermination using new high-throughput genetic technologies is resulting in the identification of new genetic factors involved in sex-determination and revealing new roles for wellestablished factors.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) MC ELREAVEY K., BASHAMBOO A., 2011. – Genetic disorders of sex differentiation. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 707, 91-99.
- (2) BASHAMBOO *et al.*, 2014. – Mutations in the *FOG2/ZFPM2* gene are associated with anomalies of human testis determination. *Human Molecular Genetics* **23**, 3657-3665.
- (3) HIORT O, AHMED SF (Eds). 2014. – Understanding differences and disorders of sex development (DSD). *Karger Medical and Scientific Publishers*, ISBN: 978-3-318-02558-3.

INTRODUCTION À LA SÉANCE SUR LA FERME DE CLAUDE MONNIER.

par Bernard Le Buanec¹

L'une des activités de l'Académie d'agriculture est de réfléchir et de débattre sur les systèmes agricoles et leur durabilité. Sur ces sujets il est souvent préférable de partir d'éléments concrets et nous avons la chance, à l'Académie, d'avoir un membre de notre Compagnie qui dirige depuis 1944 une exploitation agricole, la ferme de Baillette, en Eure-et-Loir. Il a donc semblé intéressant et utile de consacrer une de nos séances hebdomadaires à cette exploitation avec deux objectifs: rendre hommage au doyen de notre Compagnie, Claude **Monnier**, et montrer, en se fondant sur des archives complètes, qu'une agriculture productive pouvait être durable.

L'exploitation de Claude **Monnier** est située dans le Thymerais, département d'Eure-et-Loir. Daniel **Tessier** nous présentera l'environnement général de l'agriculture de ce département dans l'immédiat après-guerre et son évolution, tant sur les aspects physiques qu'humains.

Rapidement, après la guerre le directeur des Services agricoles du département coordonne la rédaction d'un ouvrage « Aperçus de l'agriculture d'Eure-et-Loir en 1950 ». Le constat en était que la structure de production avait peu changé depuis 1900 et que les rendements n'avaient pas encore retrouvé leur niveau d'avant-guerre. Les raisons principales en étaient l'état des sols avec des réserves minérales en phosphore et potassium très faibles du fait de l'agriculture minière de l'époque de la guerre et une fertilisation azotée qui ne dépassait pas 30 unités par hectare pour les céréales. Peu de fermes étaient mécanisées et la question de la rentabilité de ces investissements se posait.

Très rapidement les agriculteurs prennent en main le développement en particulier par le développement des CETA, le premier exemple français étant celui, voisin du thymerais, de La Queue-les-Yvelines, fondé par Bernard **Poullain**. La Direction des Services agricoles a fortement soutenu leur création en organisant des conférences par les chercheurs de l'INRA mais aussi par les techniciens de l'agrofourmiture. En même temps, la modernisation a porté sur les infrastructures avec un remembrement significatif et d'importants travaux de drainage dans les zones à risque, notamment dans le Faux Perche. Parallèlement l'adoption des variétés modernes a été rapide, notamment grâce au travail local effectué par André **Pichot**, agriculteur- sélectionneur et agronome qui a été à l'origine de plusieurs variétés de blé. L'ancrage local des structures coopératives et mutualistes a fait la force du département.

Claude **Monnier**, qui a été un acteur important de cette évolution, nous présentera son exploitation, située aux confins de la Beauce et les évolutions qu'elle a connues en fonction des évolutions technico-économiques des soixante-dix dernières années, avec l'historique du démarrage, après les destructions par la guerre et les restrictions et les pénuries à la suite de la Libération. Il nous parlera de la création des CETA et de la façon dont il a vécu la période des années 1950-1960, en interaction constante avec la recherche et les structures coopératives, lui même ayant créé une Société d'intérêt collectif agricole pour la déshydratation de la luzerne, la SicaLuz. Il nous montrera ensuite l'évolution vers la motorisation intégrale et quelques exemples concrets de modifications nécessaires pour s'y adapter telles que l'enfouissement des pailles ou les têtes d'assolement complètement mécanisées. Il nous présentera également l'évolution des assolements, dépendant d'abord et avant tout de l'environnement économique régional, national et international. Pour terminer, il nous donnera un éclairage sur ce qu'il considère comme des outrances administratives contre lesquelles il s'est toujours battu et qui donnent une idée de la défiance qui entoure actuellement les professionnels de l'agriculture.

Enfin, j'entrerai dans les détails techniques de l'évolution de l'exploitation de 1936 à nos jours.

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Membre de l'Académie des Technologies.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

L'assolement, très diversifié dans les années 1960, avec un élevage de volaille, des cultures fruitières, de la luzerne, du maïs et des céréales à paille s'est peu à peu simplifié pour des raisons économiques qui seront détaillées et pour des raisons techniques liées à la mécanisation. L'assolement d'aujourd'hui comporte du blé, du colza et des pois.

Le brûlage des pailles est arrêté dès la fin des années 1950 et celles-ci sont enfouies. Cette technique d'enfouissement a fait l'objet de controverses importantes et, dès cette période, Claude **Monnier** la défend en publiant un article « L'enfouissement des pailles et le fumier artificiel ». Le passage au non-labour a lieu au milieu des années 1990. Il n'est pas systématique mais adapté à l'état de la parcelle, au précédent et à la culture à implanter. La fertilisation est raisonnée, ainsi que la protection des cultures par des produits phytosanitaires de synthèse.

Les résultats d'analyse des sols montrent une évolution satisfaisante avec un bon niveau minéral, une teneur en matière organique à nouveau en progression et une bonne activité de la méso-faune. Il faut rester vigilant sur le pH qui a une légère tendance à la diminution, tout en restant à des niveaux convenables.

Finalement, à l'exception du pois dont les rendements diminuent avec le temps bien qu'il n'y ait pas de présence décelée d'*Aphanomyces*, les rendements des autres cultures principales sont à des niveaux élevés et continuent à croître légèrement. Le rendement du blé est en moyenne supérieur à 80qx/ha et celui du colza à 40 qx/ha. Dans les deux cas ils sont légèrement supérieurs à la moyenne nationale.

Comme le dit Claude **Monnier**, ces résultats autorisent à penser que l'agriculture dite « conventionnelle » n'aboutit pas nécessairement à l'appauvrissement et à la dégradation des sols. Ils l'ont autorisé à penser, à dire et à écrire que ce système ne sortait pas du cadre de l'agriculture durable.

CULTURE INTENSIVE ET AGRICULTURE DURABLE

La Ferme de Baillette – 1935 - 2015

par Claude Monnier¹

Si l'attention de l'Académie se porte aujourd'hui avec intérêt sur ma ferme – dite : Ferme de Baillette –, c'est que son étude peut apporter des éléments solides, émergeant des incertitudes et opposables aux problématiques flageolantes de l'*Agriculture durable*.

Depuis 80 ans, cette exploitation agricole classiquement cultivée jusqu'alors avec un cheptel de moutons, reste assolée sans animaux. Depuis 70 ans, elle est conduite, toujours sans animaux, par mes soins, de façon intensive mais constamment contrôlée. C'est ce qui m'a conduit – à la lumière d'analyses de sol répétées au fil des ans, consignées en leur temps et méditées – à douter fortement de la validité des violents reproches adressés à l'agriculture conventionnelle quand elle est prise à parti. Il est, dès lors, permis de nier l'appauvrissement et la détérioration obligatoires des sols par ce système de culture. Bref ces chiffres m'ont autorisé à penser, à dire et à écrire² que ce système ne sortait pas du cadre de l'Agriculture durable et qu'il ne menaçait pas inévitablement la suite des événements.

Jusqu'à présent, mes propos étaient restés sans échos, mais récemment mes confrères **Le Buanec** et **Tessier**, scientifiquement animés, les ont relevés et ont bien voulu enquêter sur place et utiliser mes chiffres archivés plus ou moins élégamment mais sans discontinuité depuis 1945. Avant de donner leurs conclusions, ils m'ont demandé de présenter les lieux et les conditions dans lesquels s'étaient poursuivis les travaux dont les chiffres en cause traduisaient, à coup sûr, les résultats.

C'est donc l'objet de mon intervention de vous présenter sommairement mon exploitation et les principales péripéties de cette longue période, d'en planter le décor et de vous livrer *grosso modo* le fil directeur de l'action menée, de rappeler les espoirs et les renoncements.

En quelques tableaux, je vais m'y efforcer.

Vous pouvez trouver, aux confins de la Beauce et du Thymerais, des bâtiments en carré et des terres de 215 ha sur un sol de limon des plateaux. Pas d'irrigation faute de puits suffisants. Assolement : colza puis blé, ou pois puis blé.

Un peu d'histoire sur le démarrage. Ma formation d'ingénieur (INA Paris). Ma participation à la création du premier CETA et les leçons que j'en ai reçues.

Destructions par la guerre à la Ferme. Restrictions et pénuries partout à la suite de la Libération.

La motorisation intégrale précoce et les adaptations à réaliser progressivement. Quelques problèmes concrets : enfouissement des pailles ; tête d'assolement complètement mécanisée. Les différentes diversifications. Entrée et sortie du maïs. Les œufs et l'aviculture. L'arboriculture et ses difficultés commerciales. La luzerne déshydratée et mon implication prolongée. Les diversifications ne sont pas un gage de durabilité.

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Agriculteur, Président d'honneur du Syndicat national des déshydrateurs de France.

² L'agriculture française en proie à l'écologisme. Moissons interdites. L'Harmattan, 2005.

Il faut souhaiter que ces descriptions et détails vous garantissent un fort degré de confiance dans la validité des chiffres qui seront utilisés par les orateurs suivants.

Pour terminer, un éclairage sur les outrances administratives donne une idée de la défiance qui entoure actuellement les professionnels de l'agriculture et l'intérêt de retrouver l'autorité souveraine d'une Science humaniste et objective, restant de marbre aux partis pris.

EURE ET LOIR (28) DES AGRICULTEURS EN POINTE DANS LA MAÎTRISE DES MILIEUX ET LA MODERNISATION DE L'AGRICULTURE

par Daniel Tessier¹

Présentation

Le département d'Eure-et-Loir est localisé au sud-ouest de la région parisienne. D'une superficie de 593 200 hectares, il fait partie de la Région Centre et compte environ 400 000 habitants. Il se caractérise par de vastes étendues dont la Beauce, au Sud-Est, est la région naturelle la plus importante, avec une pluviométrie de ~550 mm. En allant vers l'Ouest, le Thymerais-Drouais et le Faux Perche plus au Sud offrent un paysage plus diversifié avec d'importantes forêts. A l'extrême Sud-Ouest, le Perche est une région accidentée, coupée de collines et vallons, avec une pluviométrie de ~750 mm. Le paysage originel de type bocager, contraste avec les vastes horizons de la Beauce. Moins présent qu'autrefois, l'élevage y occupe encore une place importante. La forêt atteint 70 000 ha, soit 12 % du territoire.

1950, un bilan précis de l'agriculture

G. Parguey, le directeur des Services agricoles, coordonne la rédaction de l'ouvrage « Aperçus de l'agriculture d'Eure et Loir en 1950 ». La parole est donnée à égalité à des praticiens représentant des filières de production et à des techniciens traitant des sujets pour lesquels ils faisaient autorité.

Jeanne Garola, directrice de la Station agronomique de Chartres, fait le point sur les grands types de milieux et leurs contraintes vis-à-vis de l'agriculture. La grande plaine n'est pas aussi homogène qu'on pourrait le croire. Les dépôts limoneux sont d'épaisseur variable et reposent sur des substrats variés. Sur calcaire de Beauce on trouve des sols profonds aux fortes potentialités. En allant vers l'ouest les sols reposent sur une couche d'argile à silex et sont de plus en plus minces. Ils sont à tendance acide, sujets à l'engorgement et à faible réserve d'eau. Ils sont aussi appauvris en argile et battants d'où de très faibles potentialités. En 1950, il fallait reconstituer les réserves minérales, P et K notamment, et remonter le pH des sols. La fertilisation azotée ne dépassait pas 30 kg/ha en culture céréalière. Déjà, dans un article, Claude Monnier posait la question des restitutions organiques aux sols dans des fermes où l'élevage allait être abandonné...

Le constat était aussi que la structure de production, (céréales, plantes sarclées, jachères, prairies naturelles) avait peu changé depuis 1900 et que les rendements n'avaient pas encore retrouvé leur niveau d'avant-guerre.

Le département alimentait Paris en lait mais les progrès dans le domaine zootechnique exigeaient une profonde amélioration (rendement laitier, état sanitaire, alimentation, qualité du lait). « Sans une sélection des taureaux, la sélection des vaches seules pour la production laitière restera d'une efficacité réduite ». La

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

coopérative laitière du Mans, qui fournissait en lait les troupes américaines en Europe, montrait la voie à suivre. Avec l'appui de la DSA la première coopérative laitière d'insémination artificielle a été créée en 1946 à La Loupe sous la direction de Robert Cassou « avec un succès fulgurant et inespéré ».

En 1950, peu de fermes étaient déjà mécanisées (tracteurs, moissonneuses-batteuses) et la question de la rentabilité de ces investissements se posait. Le cheval percheron, qui avait été exporté à travers le monde, avait retrouvé sa population d'avant-guerre. Pourtant les comptes rendus de visites aux États-Unis laissaient prévoir un changement drastique de la productivité du travail et des structures de production avec la disparition programmée du cheval de trait.

Jean Rebiffé, directeur de la SCAEL insistait sur la nécessité du mouvement coopératif et mutualiste. Le département avait été dès avant 1900 un des premiers pour le développement des mutuelles d'assurances, des coopératives et des caisses de crédit. On espérait beaucoup d'elles pour l'avenir. En 1960 citons La Société coopérative agricole d'Eure-et-Loir, la Coopérative agricole du Dunois, le Crédit Agricole de la Beauce et du Perche, le Crédit Agricole Mutuel du Dunois. Des structures syndicales se sont mises en place avec des personnalités de premier plan comme Louis Perrin.

1960 : la maîtrise des milieux et la modernisation

La prise en main du développement par les agriculteurs doit beaucoup à l'exemple donné par Bernard Poullain qui a fondé en 1944 le premier CETA de France à La Queue-les-Yvelines. La direction des Services agricoles animée par Georges Parguey a fortement soutenu leur création, avec pour chacun d'entre eux des spécificités propres à chaque région. A l'initiative de la DSA, des conférences ont été données par des chercheurs, mais aussi par l'agro-fourmiture, sur la plupart des sujets intéressant la production végétale et animale, ainsi que sur les travaux de drainage et d'irrigation. Ces formations avaient un grand succès.

La modernisation a comporté un volet « infrastructures » important. Les agriculteurs, souvent locataires, ont plutôt bien accepté le remembrement rendu nécessaire par l'extrême morcellement des exploitations. 316 000 ha étaient remembrés en 1965 et 434 780 ha en 2009, dont 175 991 ha pour le 2ème remembrement, sans compter les échanges de parcelles à l'amiable.

En 1965, le département d'Eure-et-Loir était celui qui consommait le plus d'engrais (N, P, K). Raymond Mérillon notait que « les suppléments d'engrais ne déterminent pas automatiquement les augmentations de rendements ». Très tôt le drainage avait été identifié comme pouvant être indispensable, notamment dans le Faux Perche. Dans cette région près de 100 % des parcelles sont drainées de sorte qu'à la sortie de l'hiver les dégâts sur les cultures dus à l'engorgement sont maintenant faibles et la battance/érosion diffuse est mieux contrôlée. Le développement de l'activité biologique a sans doute amélioré le fonctionnement global des sols drainés. Les données statistiques montrent d'ailleurs que la productivité est aujourd'hui peu différente d'une région à l'autre. Les prix du foncier rejoignent d'ailleurs ceux des limons profonds et bien drainants de Beauce.

L'amélioration constante des rendements doit beaucoup à la génétique, notamment au travail local effectué par André Pichot, agriculteur-sélectionneur et agronome, qui a été à l'origine de plusieurs variétés de blé (« Fidel » en particulier). Une des questions posées concernait le statut organique des sols dès lors que l'élevage avait été abandonné. Il fallait convaincre les agriculteurs de l'intérêt d'enfouir les pailles, ce qu'avait bien compris Claude Monnier... Cet objectif apparaît assez largement atteint. Aujourd'hui, les rendements des céréales semblent encore en progression (~ 8 t/ha en moyenne) et le statut organique des sols largement maîtrisé, même si la question du lessivage d'azote reste un sujet sensible.

Ces dernières années, comme ailleurs en France, le développement de l'élevage a été plus problématique. À partir des années 1960 les surfaces libérées du fait de la mécanisation et avec la révolution fourragère (labour des prairies, arrivée du maïs ensilage) ont eu un impact important sur l'élevage avec une augmentation significative de la production. La création de structures novatrices comme la SICA Perche pour la viande (développée par Robert Chouanard, éleveur reconnu du cheval Percheron) et le Groupement laitier du Perche pour le lait (équipement en tanks réfrigérants dès les années 1960, paiement à la qualité) a

permis de moderniser les filières. Cependant l'arrivée du lait longue conservation et la fermeture d'usines alimentant Paris en lait ont conduit à abandonner partiellement l'élevage laitier. Si de 1900 à 1950 la surface emblavée n'a pratiquement pas varié (270 000 ha), on est passé à 387 000 ha (céréales + oléo-protéagineux), faisant du département le premier producteur de céréales en France.

Dans le Perche l'élevage de porcs a l'avantage de valoriser des productions locales. La création d'un circuit court avec une production de qualité a permis de développer une filière non intégrée aux fabricants d'aliments du bétail. Les porcs (~130 kg) sont traités sur place avec une charcuterie sans additifs. Se pose la question de la valorisation des autres productions agricoles et des structures de commercialisation. La meunerie est un point fort du département et l'usine Ebly de Châteaudun en est un exemple. On peut regretter la trop faible implantation de structures de valorisation de produits agricoles à forte valeur ajoutée.

Dans les années 1950 l'ancrage local des structures mutualistes a fait la force du département. Quel sera l'impact de la concentration en cours des coopératives de céréales et du déplacement de centres de décision hors du département ? Les agriculteurs ne doivent-ils pas être plus proactifs dans la maîtrise de nouvelles filières de production et de commercialisation ? Quels risques pour la filière avec Internet qui permet de négocier la vente de leurs céréales en direct sur le marché international ? On remarque aussi que les agriculteurs euréliens n'ont pas significativement développé l'agriculture biologique. Un enjeu est sans doute de convaincre une population citadine de la compétence de son agriculture, notamment au regard des questions environnementales.

LA FERME DE BAILLETTE: ÉVOLUTION DES ASSOLEMENTS, DES RENDEMENTS ET DES SOLS.

par Bernard Le Buanec¹

La ferme de Baillette, à Tremblay-le Vicomte dans le Thymerais, est une ancienne ferme moutonnaire de 215 hectares. Au 19^e siècle les fermes moutonnaires étaient nombreuses en Eure-et-Loir et le commerce de la laine était une des richesses du département avec le marché très connu de Châteaudun. Puis, du fait de développement du coton et des transports maritimes, la production de laine à périclité et les exploitations ont du changer de production. Ceci est un premier exemple de l'effet des évolutions économiques sur les spécialisations agricoles et les assolements d'une exploitation.

De la même façon, bien que cela ne concerne pas la ferme de Baillette, le développement du lait UHT dans les années 1970 a signé la disparition de l'élevage laitier en Eure-et-Loir, le transport du lait de Normandie devenant alors très facile.

1) L'évolution de l'assolement.

En 1962, date pour laquelle nous avons trouvé des données complètes, l'assolement est triennal, avec une succession en tête d'assolement luzerne, maïs, lin fibre, suivi d'un blé puis d'une orge. Différents essais de diversification ont été effectués avec par exemple la production d'oignon, de semences de betterave à sucre multigerms, de tournesol, d'avoine et de blé dur. Mais ces cultures n'ont jamais eu un fort développement. La betterave industrielle n'avait pas été retenue par crainte d'un pH limite. De plus, une distillerie coopérative voisine avait disparu par suite de l'abandon progressif de cette culture dans la région.

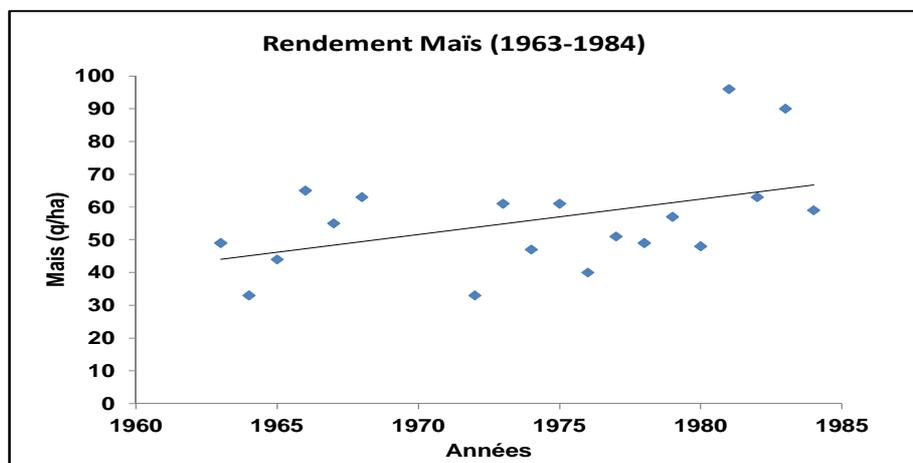
¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Membre de l'Académie des Technologies.

En 1962 il y avait également 17 ha de pommiers et poiriers et un élevage de poules pondeuses composé de 5 à 6000 pondeuses de race Leghorn et Rhodes Island. En fait la mise en place de l'atelier poules pondeuses correspondait à une volonté de valoriser sur place la production de céréales et, en particulier, du maïs. La ferme employait alors 14 personnes. Aujourd'hui trois exploitations travaillent en association pour une surface totale de 680 hectares et trois unités travailleurs. La culture de fruitiers a été abandonnée dans les années 1970 du fait de la concurrence liée au développement des vergers du le Sud-Est et du Sud-Ouest de la France par les Français rapatriés d'Algérie, les rendements y étant nettement plus élevés. De plus la commercialisation était difficile et dépendait de mandataires pas toujours très scrupuleux. L'élevage de poules pondeuses s'est également révélé rapidement peu ou non rentable. Il est intéressant de noter que l'élevage de poules a permis un bon apport de matière organique bien évoluée, comme nous le verrons plus loin.

Mais revenons aux cultures principales.

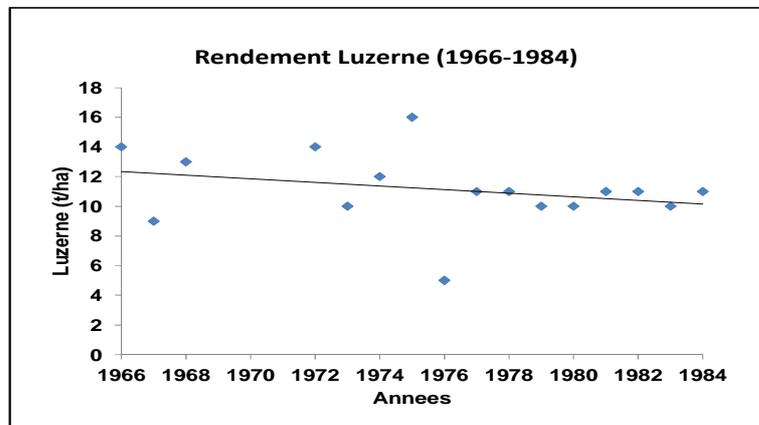
L'assolement s'est peu à peu simplifié. Il est aujourd'hui biennal avec, en tête de rotation colza et pois suivis d'un blé. Il faut noter que le maintien d'une légumineuse est une originalité dans la région, Claude Monnier souhaitant en garder sur l'exploitation. Des raisons techniques et économiques expliquent cette évolution :

– L'exploitation est située sur des less quaternaires reposant sur des argiles à silex. Il n'y a pas de nappe phréatique à profondeur exploitable. L'irrigation n'est donc pas possible. Pour cette raison le lin a été rapidement abandonné, puis le maïs en 1985. Pourtant, ainsi qu'on peut le voir, les rendements maïs étaient corrects mais, au dire de Claude Monnier, les autres faisaient mieux. En effet, toute la Beauce, au sud de Chartres, dispose d'une irrigation facile et abondante grâce à la Nappe de Beauce peu profonde, et la culture du maïs y est plus fiable que dans le Thymerais ;



– la luzerne, elle, a été abandonnée en 1995, pour trois raisons : la luzerne dans l'assolement complique beaucoup la rotation et, à partir de cette année là, la structure de l'exploitation a été simplifiée; le prix de la luzerne avait nettement diminué, sans doute en partie à cause des importations croissantes de tourteau de soja des Amériques et, ceci expliquant cela, la disparition progressive des unités de déshydratation a supprimé les débouchés. Cette évolution n'est pas limitée à l'Eure-et-Loir mais est généralisée en France. De près de 1 700 000 ha en 1960 (la SICA Luz a été créée par Claude Monnier en 1963, au pic de la production) les surfaces ont diminué très fortement pour atteindre 316 000 ha en 2001, proche du niveau actuel. La troisième raison est le développement de la révolution fourragère, préconisée à l'époque, prônant le développement de la prairie monospécifique abondamment fertilisée grâce à une disponibilité croissante des engrais minéraux

azotés à des prix attractifs. De plus on constate une diminution des rendements peut-être due, au moins en partie, à la diminution du pH, comme nous le verrons plus loin.



Cette partie un peu longue montre la difficulté de la diversification des cultures qui doit tenir compte des aspects environnementaux et économiques.

2) Les techniques culturales

Tout d'abord il faut noter que Claude Monnier est avec Bernard Poullain, qui a été également membre de notre Compagnie, l'un des pionniers des Centres techniques d'études agricoles, les CETA. Il a donc participé à l'évolution des techniques culturales à partir du milieu des années 1940. Faute d'investigations il n'est pas possible d'entrer ici dans les détails. Il y a cependant quelques dates et moments importants :

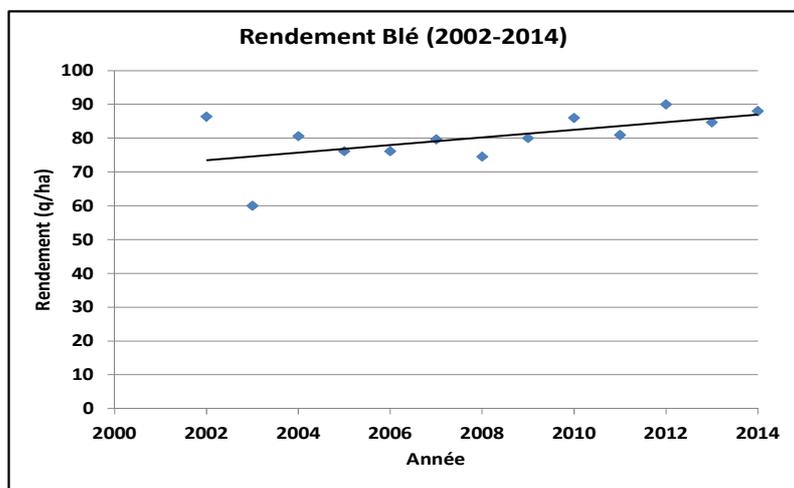
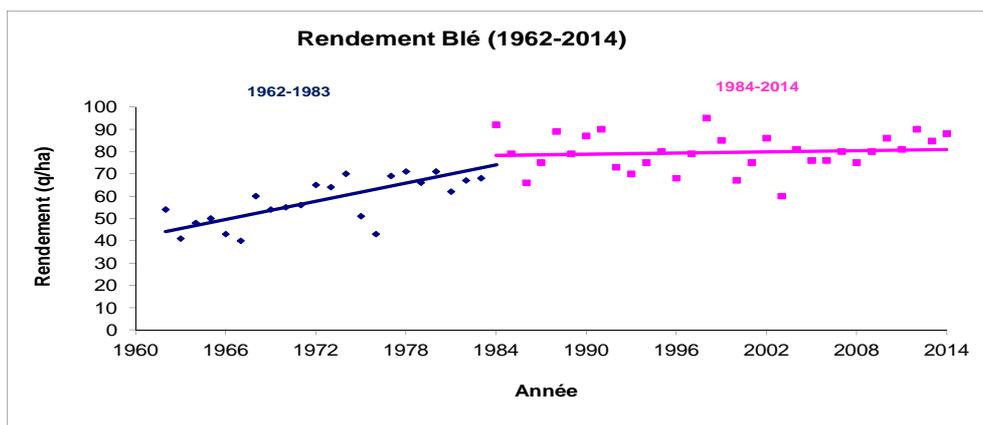
- l'arrêt du brulage des pailles dès la fin des années 1950. Celles-ci ont été enfouies à partir de cette période. Cette technique a fait l'objet de controverses importantes et l'on peut lire sur le sujet un article de Claude Monnier "L'enfouissement des pailles et le fumier artificiel" dans le document "Aperçus de l'agriculture d'Eure et Loir en 1950 et techniques modernes", publié par la direction des Services agricoles du département à cette date ;
- à partir de 1973 un bilan de l'azote minéral de printemps est effectué pour mieux maîtriser la fertilisation azotée ;
- passage au non-labour au milieu des années 1990. Le non-labour n'est pas systématique mais est adapté à l'état de la parcelle, au précédent et à la culture à implanter ;
- la fertilisation de fond était au début à base de scories phosphopotassiques. Elle a été remplacée progressivement par des engrais phosphopotassiques classiques, avec une diminution sensible de la fertilisation phosphatée dans les années 1990 ;
- la protection des cultures est assurée par une utilisation raisonnée des pesticides de synthèse. Il faut noter aujourd'hui une recrudescence de limaces de plus en plus difficiles à contrôler.

On note donc une adaptation constante et raisonnée aux évolutions techniques recommandées par l'INRA, les CETA et les prescripteurs.

3) Les résultats des cultures.

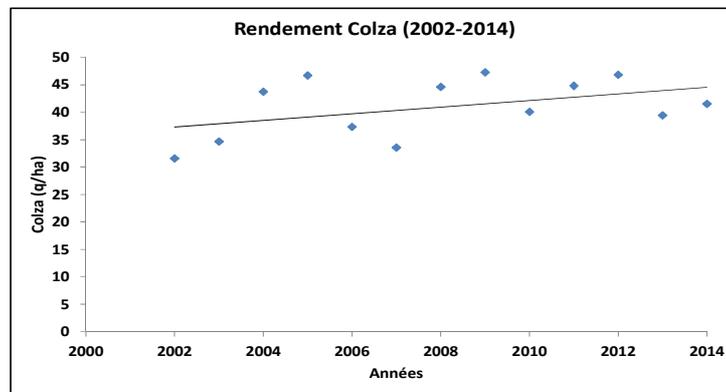
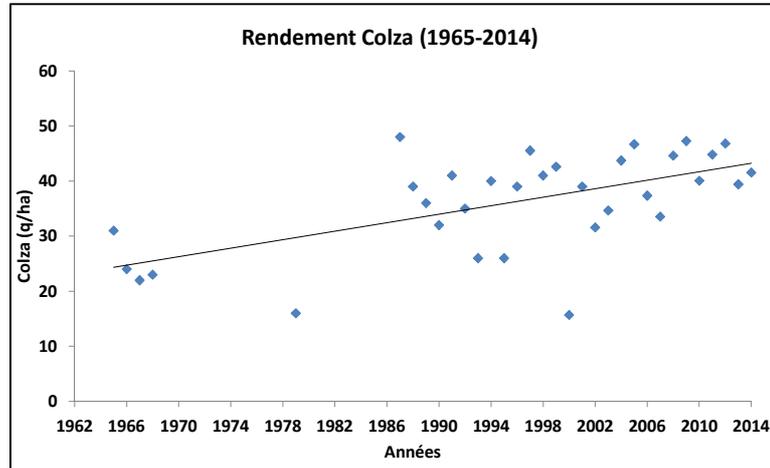
Nous nous limiterons aux trois cultures principales d'aujourd'hui.

3.1) Le blé.



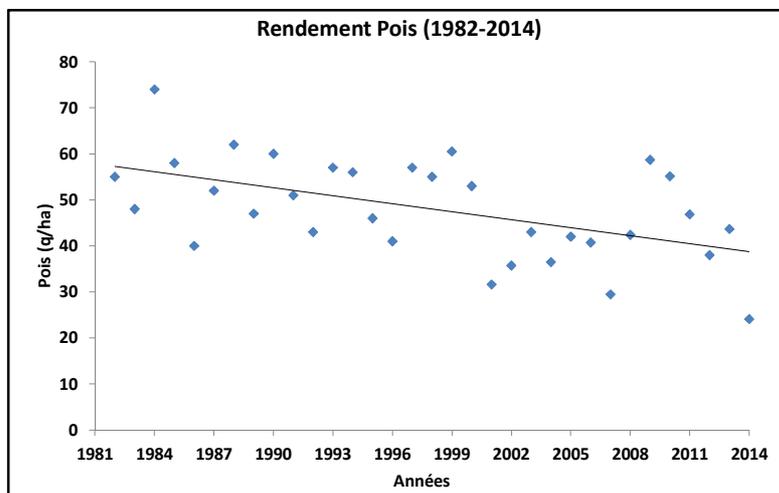
Les rendements en blé ont progressé très fortement jusqu'au milieu des années 1980, avec un pic en 1984 à 92 qx/ha, niveau jamais atteint jusque-là représentant un saut de 29% par rapport au meilleur rendement précédent de 71q/ha. Il y eu cette année-là un changement variétal, Talent et Capitole étant remplacés par Fidel, Camp Rémy et Festival mais l'explication principale est certainement un effet année que l'on retrouve également au niveau national, avec un saut de 25% par rapport au meilleur rendement précédent. Le rendement du blé chez Claude Monnier est sensiblement supérieur au rendement moyen national. De plus, contrairement à la tendance générale, on note une légère augmentation continue au cours des 12 dernières années. D'après Claude Monnier la motivation de l'agriculteur est un facteur explicatif essentiel.

3.2) Le colza.



Comme pour le blé le rendement du colza reste élevé, également supérieur à la moyenne nationale, avec aussi une légère tendance à l'augmentation au cours des douze dernières années.

3.3) le pois.



Contrairement aux deux cultures précédentes le rendement du pois est légèrement inférieur à la moyenne nationale, avec une moyenne de 41,2 qx/ha entre 2002 et 2014. Il y a une tendance à la baisse que pour le moment on ne s'explique pas très bien et les rendements se caractérisent par une très forte variation interannuelle.

3.4) Conclusion sur l'évolution des rendements.

En dehors du pois dont les rendements sont légèrement inférieurs à la moyenne nationale, avec une tendance à la diminution, les cultures de blé et de colza donnent de forts rendements avec une légère tendance à la hausse. On note pour les trois cultures de fortes variations interannuelles avec, dans un ordre décroissant le pois, le colza et le blé.

A la lumière de ces résultats on peut en conclure, *a priori*, qu'il n'y a pas de perte notable de fertilité, ce que nous allons voir par l'étude de l'évolution des sols.

4) L'évolution des sols.

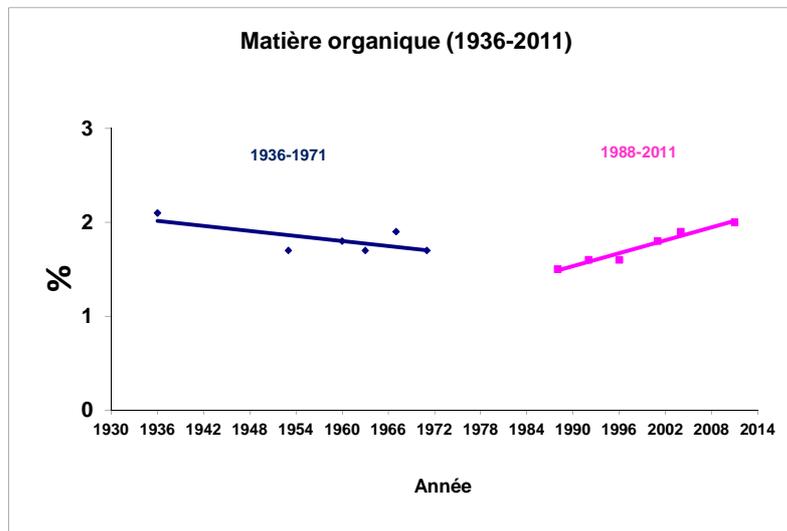
L'exploitation étant composée de parcelles à faible pente, avec des sols limoneux profonds et bien drainant, sans horizon argileux en profondeur (sols faiblement lessivés) il n'y a pas d'érosion significative, en dehors d'une très légère érosion éolienne.

4.1) Le phosphore et le potassium.

Les analyses de l'année 2011, faites sur 8 parcelles de l'exploitation donnent :

- pour le potassium, les niveaux vont de correct à très élevé avec une moyenne proche du niveau élevé,
- pour le phosphore assimilable, les niveaux vont de faible pour trois parcelles à très élevé, avec une moyenne légèrement supérieure au niveau correct. Il y aura donc lieu d'être vigilant sur certaines parcelles. La faiblesse du niveau de phosphore dans ces parcelles est due à la diminution de la fertilisation dans les années 1990 et au fait que le rattrapage prend du temps.

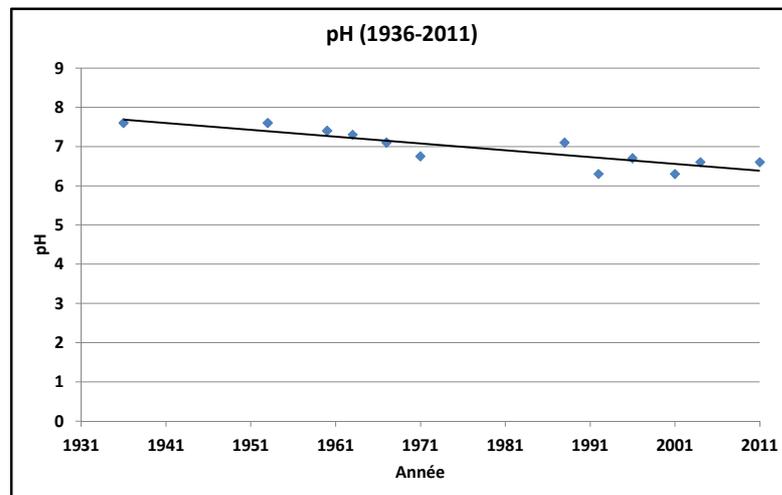
4.2) La matière organique.



De 1936 à la fin des années 1980 on note une diminution légère mais régulière du taux de matières organiques qui était en début de période de 2,1% pour atteindre un minimum de 1,5% en 1988. Depuis 1990 le taux remonte et atteint de nouveau 2,0% en 2011. Cette correction est certainement due à deux facteurs: d'une part l'augmentation des rendements qui ont doublé de 1950 à 1984. (Comme le disait Raymond Chaminade dans les années 1960, "la fertilisation minérale crée de la matière organique"). L'autre facteur est très certainement le passage régulier au non-labour au cours des années 1990. La matière organique est bien évoluée, les rapports C/N pour les analyses que nous avons pu voir étant voisin de 9. Il serait intéressant de faire quelques analyses nouvelles pour confirmer cet état. La vie dans le sol semble bonne, avec de nombreux vers de terre dont on mesure indirectement le niveau élevé par l'augmentation du nombre de taupes qui commencent à devenir nuisibles. En plus d'un bon taux de matières organiques le non-labour favorise certainement le développement des vers de terre.

4.3) Le pH.

Bien qu'il y ait quelques variations interannuelles à la hausse, on assiste à une baisse légère mais généralisée du pH, et ce malgré des épandages calciques tous les 5 à 6 ans depuis quelques années. Cette évolution n'est pas étonnante dans des sols limoneux. Elle n'est pas encore très grave et ne porte pas à conséquences pour les cultures de l'assolement. Il faudra cependant rester vigilant dans les années à venir. Quand les scories de déphosphoration étaient utilisées, du fait de leur très fort pouvoir de neutralisation, la valeur du pH restait élevée. L'arrêt de leur utilisation (consécutif à l'évolution de l'industrie sidérurgique) incite aujourd'hui à une plus grande vigilance vis-à-vis du statut acido-basique des sols.



5) Conclusions.

La ferme de Claude Monnier a été exploitée de façon intensive raisonnée depuis plus de 70 ans, avec une mise en œuvre de bonnes pratiques culturales, fondées sur l'expérimentation personnelle et les conseils de la recherche et encouragées par une dynamique de groupe dans le cadre des CETA. Les innovations telles que l'utilisation des nouvelles variétés, le développement des produits phytosanitaires, l'enfouissement des pailles et le non-labour ont été adoptés régulièrement. Elles sont mises en œuvre en fonction des conditions spécifiques de l'année et de la culture.

Les assolements ont varié au cours du temps, pour tenir compte des conditions pédoclimatiques et économiques de la région. La diversification des assolements est souvent une vraie gageure pour l'agriculteur. Aujourd'hui nous avons un assolement biennal colza-pois puis blé.

En dehors du pois, dont les rendements sont très variables et marquent une diminution sensible au cours du temps, les rendements en blé et colza restent élevés, supérieurs à la moyenne nationale. Il faut noter une légère tendance à l'augmentation des rendements en blé au cours des 12 dernières années, contrairement à ce que l'on observe au niveau national. L'agriculture dite "intensive" n'a donc pas eu de conséquences négatives sur la productivité. Au contraire elle a certainement eu un effet bénéfique sur l'augmentation des teneurs en matières organiques que l'on peut, en partie, attribuer à l'augmentation des restitutions (pailles, racines).

Les sols n'ont pas connu d'érosion, du fait de la faible pente des parcelles. La teneur en matière organique des sols, après une diminution des années 1930 aux années 1980, est repartie à la hausse, à des niveaux de 2% et avec une bonne valeur C/N. Les teneurs en potassium et en phosphore restent satisfaisantes, mais une vigilance est nécessaire pour le phosphore. La méso-faune est active. Le point pour lequel il faudra rester vigilant est le pH, qui présente une diminution régulière.

En conclusion la ferme de Claude Monnier nous montre qu'une agriculture intensive raisonnée est possible et durable. Claude Monnier faisait partie de ces agriculteurs qui étaient tout à fait conscients des défis qu'ils devaient affronter et ils ont eu une vision prospective de la gestion de leurs milieux. On peut difficilement leur reprocher d'avoir été des destructeurs de la fertilité, bien au contraire. On a trop tendance à oublier dans quel état était l'agriculture après 5 ans et plus d'absence de fertilisation du fait des années de guerre. Ce qui est remarquable c'est qu'ils ont, en peu de temps, remis la fertilité de leurs milieux à niveau et l'ont ensuite maintenue et améliorée.

Hommage à notre Doyen d'Âge

L'intervention en conclusion du Secrétaire perpétuel honoraire Georges Pédro en l'honneur de notre confrère Claude Monnier (séance du 28 janvier 2015) n'ayant pas été évoquée dans le compte rendu de « La Lettre de l'Académie » N°27, notre Compagnie souhaite la porter à la connaissance de ses membres. Elle a été rédigée en effet sous forme de notice résumant pour nos plus jeunes confrères les principaux épisodes de la vie, des travaux et des réflexions de notre Doyen d'âge.

CONCLUSION

par Georges Pédro¹

Vous êtes, mon cher Confrère, notre Doyen d'âge, talonnant le Doyen des doyens de cette Compagnie qu'a été le grand chimiste Émile Chevreul au siècle dernier (1786-1889). De ce fait, c'est tout un pan de votre vie active consacré à l'agriculture – environ $\frac{3}{4}$ de siècle – que l'Académie a vu se dérouler cet après-midi, avec la contribution de deux de nos confrères Bernard Le Buanec et Daniel Tessier, ce qui est d'autant plus réconfortant pour moi qu'ils ont été tous deux mes élèves... il y a quelque temps déjà !

Ainsi, grâce à vous, on a pu quelque peu se pencher sur le « Temps retrouvé » cher à Marcel Proust qui – il est bon de le rappeler – a bien connu cette contrée ; l'Illiers de sa jeunesse, avec Le côté de chez Swann et celui de Guermantes, se trouvant proche du Thymerais.

Vous appartenez, mon cher Confrère, à la promotion 38 de l'Agro, qui a intégré la rue Claude Bernard à une époque très particulière ; c'est celle des accords de Munich, qui ont été signés les 29-30 septembre 1938 ; ceci dans une allégresse quasi-générale, alors que d'après Winston Churchill ils se sont déroulés dans le déshonneur tout en n'ayant pas empêché le déclenchement de la 2^e Guerre mondiale l'année suivante.

Vous y faites toute votre 1^{ère} année en étant d'ailleurs le Président de votre promotion, et ce jusqu'au stage classique de fin d'année dans un domaine agricole, stage que vous effectuez, en juillet-août 1939 à la Ferme de Baillette à Tremblay-le-Vicomte (Eure-et-Loir) ; celle-ci appartenant à M. Poullain, dont vous deviendrez le gendre quelques années plus tard.

Mais le 3 septembre 1939, la guerre éclate pour de bon. Il n'est plus question dans ces conditions de deuxième année à l'Agro. Vous êtes mobilisé dans la Marine où, après une période d'EOR, vous êtes affecté à l'Escadre de l'Atlantique comme *Midship* à bord du cuirassé « Paris ».

¹ Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie d'agriculture de France.

Très vite notre pays tombe alors dans une période agitée, au cours de laquelle un armistice est signé le 22 juin 1940. Pour vous, cette parenthèse ne prendra fin qu'au bout de plusieurs mois, avec votre démobilisation en décembre 1940, et ainsi, avec votre retour à l'Agro – quasiment après 2 ans d'absence – dès janvier 1941. Votre deuxième année, que vous suivez notamment avec notre ancien confrère, futur ministre de l'Agriculture Michel Cointat, a donc été amputée d'un trimestre. Elle se termine toutefois très normalement en juin 1941 assorti de la délivrance du titre d'Ingénieur agronome.

Vous entrez dès lors dans la vie active, en sorte que vous devenez pour notre Compagnie un vrai témoin de cette période de guerre et d'immédiat après-guerre, qui se trouve être à des années lumières de la vie présente. Nombreux sont aujourd'hui nos concitoyens, qui ne savent pas ce qu'ont pu être réellement toutes ces années de pénuries, de privations et de réquisitions. Beaucoup de choses étaient impossibles, voire interdites. En revanche, nos compatriotes avaient tellement froid du fait de la rigueur des hivers de guerre qu'il aurait été invraisemblable par exemple de leur défendre de couper des arbres ou de faire du feu dans les cheminées.

Quant à la production agricole, celle-ci restait extrêmement limitée, car il n'y avait pratiquement aucune possibilité de lutte contre les ravageurs (on en était arrivé à envoyer les enfants dans les champs cultivés pour ramasser les doryphores !), ni de restitution au sol des éléments fertilisants prélevés par les récoltes, et ce en raison de la pénurie totale d'engrais (la potasse était en Alsace germanisée et les phosphates se trouvaient en Afrique du Nord ; quant à l'ammoniac de synthèse, il servait plus à faire des explosifs que des engrais azotés).

De la sorte, même avec des rendements peu élevés, les terres de France en 1945 manifestaient un épuisement quasi généralisé (la fertilité éternelle comme le mouvement perpétuel, cela n'existe pas !). Quant au Pays, dans son ensemble, il se trouvait véritablement en état de sous-développement.

Aussi, dès la Libération du Territoire, il devenait absolument indispensable de reprendre les choses en mains en provoquant en premier le rétablissement du fonctionnement des cycles biogéochimiques concernés avant de s'occuper de la production agricole à proprement parler. Ce sera l'œuvre de l'étroite collaboration entre un certain nombre d'agronomes travaillant notamment à Étoile de Choisy⁽¹⁾ et d'agriculteurs dont en particulier B. Poullain – votre beau-père et notre futur confrère élu dès 1960 – qui a créé le 1^{er} CETA de France en 1944, CETA dont le but était de moderniser l'agriculture en prônant dans le même temps :

- la mise en application des nouvelles connaissances chez les agriculteurs (d'où les relations privilégiées avec les chercheurs du CNRA de Versailles) ;
- ainsi qu'une meilleure organisation au niveau local des moyens de production.

Vous avez participé, comme l'a indiqué Daniel Tessier, à ce mouvement général ouvert sur l'avenir et qui a enflammé toute une génération, dont ont été témoins dans les années 60 plusieurs de nos confrères et en particulier Raymond Mérillon en tant que DSA d'Eure-et-Loir. Mais il y a eu aussi d'autres agronomes, dont par exemple G. de Beaucorps au titre des Potasses d'Alsace que je cite parce qu'il est aujourd'hui dans la salle. Ceci vous a conduit à être élu ici même dès 1974 à l'instigation de notre vénéré confrère le grand agronome G. Barbier.

Puis vous avez continué à œuvrer tout le restant de votre vie en conservant religieusement, année après année, les différentes archives qui sont aujourd'hui les témoins de l'activité agricole de la Ferme de Baillelte. Cela a permis à Bernard Le Buanec de présenter au cours de cette séance les résultats généraux de plus de 70 ans de travail, avec l'attention du « Bon père de famille », au service des terres de votre domaine.

⁽¹⁾ Nom du lieu dans le Grand Parc du Château de Versailles, où était installé le Centre national de recherches agronomiques (CNRA) depuis 1922.

Tout ceci me conduit à faire ressortir au terme de cet après-midi, les deux caractéristiques majeures de votre action :

- la première est votre adaptation permanente en fonction de l'apport continu des différentes connaissances scientifiques, qu'elles soient agrochimiques, physiologiques, génétiques, écologiques... Chez vous, on ne fait pas toujours la même chose, on innove sans cesse en fonction des nouveaux apports techniques ou des données économiques. Ceci a été dès le départ un trait significatif de votre personnalité, mais le déroulement de votre carrière professionnelle montre que cela a été *crescendo*, car plus vous avancez en âge, plus vous allez de l'avant. Quel signe de jeunesse !
- la seconde est votre lutte continuelle contre la domination médiatique actuelle, avec sa peur de l'avenir (1945 est loin maintenant !), avec son dédain du passé récent et avec ses messages de contrevérités ; et ce sans oublier la contamination permanente des mots : on ne pratique plus tel ou tel mode de culture, on se convertit ; on ne met plus en jachère, c'est le gel des terres qui est préconisé...

Tout cela explicite votre vif penchant pour les Tragiques grecs avec leurs trois composantes : les tyrans, les archontes et le chœur, à savoir aujourd'hui les autorités gouvernementales, les services administratifs et enfin les media où la voie des sages est étouffée, ce qui permet aux oracles de se faire entendre.

Voilà les quelques mots que je désirais prononcer pour clôturer cette séance en votre honneur. Il ne me reste plus, mon cher Confrère, au nom de l'Académie, qu'à :

- d'abord vous remercier pour votre précieux témoignage durant $\frac{3}{4}$ de siècle au titre de l'histoire, dans le sillage de la Seconde Guerre mondiale, de l'agriculture en Eure-et-Loir,
- et, en second lieu, vous souhaiter de continuer à venir siéger de nombreuses années parmi nous. Madame Carrère d'Encausse, Secrétaire perpétuel de l'Académie Française, rappelait hier à l'Institut de France que François Jacob – pour qui, je sais, vous aviez une grande considération – lui disait : « Dans une Académie, il faut être bon élève ». Or, c'est bien ce que vous avez été ici depuis 1974 ; espérons donc que vous pourrez le demeurer encore fort longtemps !

LA PISCICULTURE, UNE PRODUCTION D'AVENIR ?

INTRODUCTION

par René Lésel¹

À l'horizon 2050, la terre hébergera 9 milliards d'individus. Cette évaluation pose de multiples questions eut égard à l'état de la planète, de ses ressources et de ses capacités à nourrir les 7 milliards d'hommes environ qui la peuplent aujourd'hui. Ce constat implique la nécessité de développer tous les moyens pour renforcer la productivité, restreindre les gaspillages, innover dans tous les domaines liés à la production. Le concept d'une intensification industrielle de cette production, efficace pendant de nombreuses années, montre aujourd'hui ses limites sur les plans quantitatifs et qualitatifs. L'augmentation de la population implique une pression de plus en plus forte pour l'occupation des sols du fait de la demande urbaine. Dans le même temps augmenter la production agricole fait appel à l'utilisation d'intrants polluants incompatibles avec le maintien de la biodiversité. Le concept de « **production durable** » entré dans le domaine publique lors de la Conférence de Rio en 1992, impose de nouveaux enjeux écologiques et sociaux.

Ainsi se sont développés divers modes de production :

- l'agriculture biologique,
- l'agriculture de conservation... tenant compte de l'intensification écologique des systèmes de production.

Dans ce contexte, l'aquaculture et plus spécifiquement la pisciculture a-t-elle, comme le pense P. Sorgeloos, le potentiel pour devenir la « **biotechnologie bleue** » de l'avenir ?

La demande du consommateur en produits de l'aquaculture, et plus particulièrement de poisson, est croissante dans le monde entier. Longtemps satisfaite par les pêches continentales et marines, malgré les progrès des techniques de capture, le tonnage récolté plafonne et l'augmentation de la fourniture de poissons est uniquement le fait de la production en pisciculture. Bien qu'en concurrence avec les divers utilisateurs de l'eau et des sols, la pisciculture est une voie de développement potentielle importante et diversifiée. La diversité de la filière est regroupée au sein de la FFA (Fédération française d'aquaculture) et du CIPA (Comité interprofessionnel des produits de l'aquaculture) dont les acteurs coopèrent dans le cadre d'une démarche multi-partenariale (INRA, IFREMER, ITAVI, MAAF, METD, OFIMER ...). Elle permet la production de 56 000 tonnes de poisson de qualité soit un chiffre d'affaires de 250 millions d'euros ; la majorité de la production piscicole repose sur des espèces à niveau trophique faible où les cyprinidés représentent plus de 60 % de la production.

Les intervenants présenteront trois aspects des possibilités offertes à la pisciculture pour poursuivre son développement et assurer la couverture des besoins alimentaires de l'homme dans les années à venir.

La filière dispose d'espaces pour son développement, mais ne peut s'abstraire de contraintes qualitatives, écologiques et sociales. Il est donc nécessaire de développer une logique d'intensification écologique des systèmes aquacoles pour fournir les protéines que nous mangerons demain. Le premier intervenant, Joël Aubin, Ingénieur de recherche de l'UMR SAS INRA à Rennes, exposera les éléments

¹ Correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA, ancien Rédacteur des « Cahiers de l'Agriculture ». **C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.**

développés dans le cadre de ce concept : « Contraintes et impacts globaux de la pisciculture, de la pêche et de l'élevage terrestre tels que vus par l'Analyse du Cycle de vie.

La majorité des espèces élevées en pisciculture sont carnassières (truites, saumons, bars, daurades ...) ou omnivores (carpes communes, clarias, pangasius ...). Rares sont les espèces herbivores capables de digérer la cellulose (*Tilapia zillii*, carpes chinoises et indiennes ...). Sur le plan trophique, il conviendrait d'élever les espèces herbivores plutôt que carnivores qui reçoivent des farines de poisson dans leur alimentation. Le second intervenant de cette séance, Sachi **Kaushik**, Directeur de recherche INRA et correspondant national de l'AAF, aura la charge d'analyser cette question.

Le nombre d'espèces susceptibles d'élevage est d'environ 300. Sur ce nombre, une dizaine d'entre elles constituent plus de 90 % de la production. Dans l'époque récente, certaines se sont imposées rapidement dans le monde, telles que le saumon atlantique (Norvège, Ecosse, Chili...) ou le pangasius (Vietnam et Asie du Sud-Est). Les élevages de ces espèces carnivores sont autant de « success stories », mais elles ne répondent pas complètement aux exigences du marché. Il convient de rechercher, dans la diversité des espèces ichthyaires, de nouveaux candidats pour une pisciculture durable. Fabrice **Teletchea**, enseignant-chercheur de l'URA AFPA (Université de Lorraine à Nancy), analysera ce que sont : « Les poissons d'aquaculture : un groupe d'espèces en cours de domestication ».

Enfin, à l'issue de la discussion générale sur les exposés, Benoît **Fauconneau**, Directeur de recherche INRA au Centre de Bordeaux Aquitaine, précisera les lignes directrices qui guident le développement de ces productions.

QUELLES PROTÉINES MANGERONS- NOUS DEMAIN ? CONTRAINTES ET IMPACTS GLOBAUX DE LA PISCICULTURE, DE LA PÊCHE ET DE L'ÉLEVAGE TERRESTRE TELS QUE VUS PAR L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

par Joël Aubin¹

La croissance de la population de la planète interroge sur sa capacité à fournir de façon durable une alimentation saine pour la nourrir. L'augmentation du niveau de vie qui est observée actuellement induit une augmentation de la demande en protéines animales, notamment dans les pays à forte croissance économique. Avec 30% des apports en produits carnés, les produits aquatiques ont une place remarquable dans l'alimentation humaine. La croissance attendue de leur production d'ici 2050 (+ 57%) n'est pas sans poser de questions dès lors que la pêche n'est plus apte à soutenir cette croissance. Afin de mieux comprendre les enjeux environnementaux associés à cette production, l'Analyse du Cycle de vie (ACV) est utilisée pour produire des catégories d'impact. L'ACV est une méthode normalisée qui quantifie les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service tout au long de son cycle de vie. Elle est maintenant régulièrement appliquée en agriculture. Dans cet exposé, l'ACV est utilisée pour éclairer brièvement quelques questions. Les élevages aquacoles sont régulièrement pointés du doigt pour leurs impacts environnementaux. Peut-on les comparer à l'activité de pêche ? Les productions locales sont mises en avant quant à leurs avantages pour le développement des territoires et l'environnement, qu'en est-il vraiment ? Quelles performances environnementales comparées entre les systèmes d'élevages (aquacoles) industriels ou plus traditionnels ? Derrière les réponses à ces questions se cache souvent la notion d'efficacité globale du système de production. Dans les systèmes d'élevage, le principal contributeur aux impacts environnementaux est l'alimentation des animaux. De ce fait, la composition des aliments et la capacité du système de production à les transformer et les valoriser est le principal facteur de performance environnemental.

Que nous dit l'ACV de la performance environnementale des produits carnés ? En nous appuyant sur les données produites par le programme national AgriBalyse, piloté par l'ADEME, il est possible de comparer l'impact environnemental de la viande produite par différentes espèces. Si le bœuf a systématiquement les impacts les plus élevés, le porc et la volaille sont généralement proches. La chair du saumon a des performances meilleures que la viande des animaux terrestres, pour le changement climatique, l'acidification, l'utilisation des terres. Mais elle se trouve à des niveaux intermédiaires (supérieurs aux granivores) pour l'utilisation d'énergie et l'eutrophisation. La très bonne valorisation des aliments par le saumon (indice de transformation alimentaire de l'ordre de 1) d'un côté, est compensée par des aliments composés très élaborés avec des ingrédients aux performances environnementales parfois médiocres et des rejets directs de l'élevage dans l'environnement.

L'aquaculture va continuer à croître au niveau mondial. Comme toutes les autres productions animales, elle va devoir s'adapter à des exigences croissantes sur le plan environnemental. Deux défis majeurs sont à relever dans ce domaine :

- celui d'une alimentation aquacole aux performances environnementales optimisées, en concevant une ration de qualité nutritionnelle optimale sur la base de ressources plus respectueuses de l'environnement, et à des coûts compétitifs,

¹ UMR 1069 INRA Agrocampus Ouest Sol Agro et hydro systèmes Spatialisation, Rennes.

- celui d'une meilleure intégration de la production. Le rejet direct des effluents dans l'environnement est une double peine : une perte sèche pour le producteur qui ne valorise qu'une part des nutriments qu'il achète, et un coût pour l'environnement et la société.

Face à ces deux défis, l'Analyse du Cycle de vie va continuer à jouer un rôle décisif dans l'éco-conception de rations alimentaires ou de systèmes de production.

POISSONS HERBIVORES, POISSONS CARNIVORES : QUELS CHOIX POUR DÉVELOPPER LA PISCICULTURE ET FOURNIR À TOUS DES ALIMENTS SAINS ET NUTRITIFS ?

par Sadasivam **Kaushik**¹

En milieu naturel, les poissons exercent une prédation aux niveaux des différents étages des réseaux trophiques au sein desquels s'établissent des relations prédateurs-proies plus ou moins complexes. Vivant dans des milieux très variés, les poissons se sont dotés de stratégies différentes pour chacune des grandes fonctions physiologiques. La diversité des régimes alimentaires en milieu naturel est une originalité du poisson, qui lui permet de s'adresser à tous les niveaux de la chaîne alimentaire. Il y a des espèces qui consomment des producteurs primaires, généralement des micro-algues, et d'autres des phytoplanctons ou des zooplanctons, des crustacés ou d'autres poissons. Il y a ainsi des consommateurs primaires herbivores, des consommateurs secondaires, piscivores mangeurs d'herbivores et des piscivores mangeurs d'autres piscivores. Nous avons pris l'habitude de classer les poissons en « herbivores », « omnivores » ou « carnivores », en transposant les terminologies communément utilisées pour les animaux terrestres. En se basant sur leurs habitudes alimentaires, on peut éventuellement les classer en détritivores, omnivores, planctonivores ou piscivores. Tant sur le plan scientifique que sur le plan étymologique, l'emploi des termes comme « carnivores » ou « herbivores » n'est pas approprié. Il serait correct de se référer au niveau trophique de l'espèce. Le niveau trophique est une indication de la position de l'espèce donnée sur une échelle (allant de 0 à 5) dans la chaîne alimentaire aquatique.

Ainsi, le saumon de l'Atlantique ou la truite arc-en-ciel considérés comme « carnivores » ont un niveau trophique de 4,4 tandis que la carpe commune « herbivores » a un niveau trophique de l'ordre de 3. En milieu naturel lors du passage d'un niveau trophique à un autre immédiatement supérieur le rendement est d'environ 10 %, que cela soit en termes d'énergie ou en termes de nutriments. L'efficacité alimentaire ou de l'utilisation des nutriments ou de l'énergie en milieu naturel est plus faible que ce que l'on peut obtenir en conditions optimales d'élevage.

Par exemple, les poissons se situant à un niveau trophique élevé nécessitent un apport élevé en matières azotées totales dans leur alimentation, tandis qu'un poisson d'un niveau trophique faible peut très bien s'élever avec un aliment moins riche en azote, mais avec un rendement de l'ordre de 40%. Les différentes espèces en élevage présentent aussi des capacités digestives et métaboliques différents pour faire face aux ressources alimentaires disponibles.

Quand on regarde la production piscicole au niveau mondial, la majorité des espèces élevées (cyprinidés, cichlidés ou siluridés) se situe à un niveau trophique faible. Sur le plan national ou au niveau européen (truites, saumons, bars, daurades, carpes...), les poissons d'élevage se situent à un niveau trophique plus élevé (considérés comme « carnassiers » ou « omnivores »). L'évolution prévisible de la production au niveau européen, au moins à court-terme, semble affirmer une consolidation de la production de ces espèces plutôt qu'une orientation vers le choix de nouvelles espèces. En revanche, de grands progrès ont été réalisés

¹ Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche à l'INRA, 64310 St Pée sur Nivelle.

dans l'amélioration de l'utilisation des ressources alimentaires, en termes de quantités d'aliments, de nutriments ou d'ingrédients spécifiques. Ainsi, nous avons pu voir au cours des vingt dernières années, des modifications importantes dans la composition des aliments : diminution de l'apport protéique, diminution de l'apport en certains ingrédients comme les farines et huiles de poissons, tant chez les salmonidés que chez les poissons marins élevés en Europe.

Des distinctions entre « carnivores » et d'autres groupes peuvent être trompeuses en conditions d'élevage, car les régimes alimentaires peuvent être modifiés. L'amélioration de l'utilisation des ressources alimentaires est donc primordiale dans le choix d'une espèce en élevage, plus que son comportement alimentaire ou le niveau trophique où elle se situe.

LES POISSONS D'AQUACULTURE : UN GROUPE D'ESPÈCES EN COURS DE DOMESTICATION

par Fabrice **Teletchea**¹

L'agriculture mondiale repose aujourd'hui sur la culture et l'élevage d'un nombre très faible d'espèces qui ont été domestiquées au cours des derniers millénaires. Parallèlement à leurs domestications, les plantes et les animaux domestiqués ont été introduits à travers la planète, si bien que l'ensemble de l'alimentation humaine repose maintenant sur cette infime fraction d'êtres vivants que l'homme a su maîtriser puis progressivement modifier. En ce qui concerne l'élevage, par exemple, l'essentiel de la production mondiale est basé sur seulement cinq espèces : les bovins, le porc, la chèvre, le mouton et le cheval. A l'inverse, la chasse, la capture d'individus sauvages dans le milieu naturel, est devenue négligeable pour la sécurité alimentaire mondiale.

Contrairement à l'agriculture, l'aquaculture, qui correspond à la culture de plantes et l'élevage d'animaux aquatiques, est beaucoup plus récente. En effet, même si certains élevages de poissons d'eau douce (carpe commune, tilapia du Nil) datent d'il y a plus de 2500 ans, la production aquacole mondiale était encore négligeable au milieu du siècle dernier. A l'inverse, la pêche marine assurait plus de 80% des poissons consommés dans le monde en 1950. Cependant, après un quintuplement des débarquements mondiaux entre 1950 et 1990, grâce à l'exploitation croissante de nouveaux stocks, les captures mondiales déclinent depuis la fin des années 1980. De plus, 80% des stocks mondiaux sont maintenant considérés comme pleinement exploités, surexploités ou en voie de reconstitution. Par conséquent, il est très peu probable que la pêche soit capable de fournir plus de poissons à l'avenir qu'aujourd'hui. L'aquaculture apparaît donc comme la seule solution pour augmenter la disponibilité en produits aquatiques. Contrairement à la pêche, l'aquaculture est en pleine expansion au niveau mondial, notamment depuis le début des années 1980, et représente aujourd'hui près d'un produit aquatique sur deux consommés par les humains. Cependant, contrairement aux espèces terrestres, la plupart des espèces de poissons élevées aujourd'hui dépendent toujours d'apports du milieu sauvage car la totalité de leurs cycles de vie ne sont pas bouclés en captivité. En d'autres termes, il n'y a pas de dichotomie forte entre poissons élevés et sauvages, ce qui rend difficile de déterminer quand les captures finissent et quand l'élevage commence. Une nouvelle classification, incluant cinq niveaux, a été récemment proposée pour mieux traduire cette diversité de stratégies de production : premiers essais d'élevage (niveau 1 ; $n = 39$ espèces), partie du cycle de vie bouclé en élevage mais il reste des points de blocage (niveau 2 ; $n = 75$), ensemble du cycle de vie bouclé en captivité avec des apports du milieu sauvage (niveau 3 ; $n = 61$), ensemble du cycle de vie bouclé en captivité sans apport du milieu sauvage (niveau 4 ; $n = 45$), mise en place de programmes de sélection avec des objectifs précis (niveau 5 ; $n = 30$). Cette nouvelle classification permet de dresser un bilan de la

¹ Université de Lorraine – UR AFPA - Équipe « Domestication en Aquaculture continentale », Nancy.

production aquacole mondiale et pourrait être couplée, entre autres, à l'Analyse du Cycle de vie (ACV) et du niveau trophique des espèces élevées, pour évaluer la pérennité des différents élevages.

LA PISCICULTURE EN FRANCE ET EN EUROPE, UNE PRODUCTION D'AVENIR ?

CONCLUSIONS ET ORIENTATIONS

par Benoit Fauconneau¹

Grace au développement considérable de l'aquaculture ces dix dernières années la majorité des produits aquatiques consommés dans le monde est d'origine aquacole. L'aquaculture doit encore se développer pour répondre à la demande croissante en produits animaux liée aux évolutions démographiques et à la demande spécifique en produits aquatiques associée aux qualités nutritionnelles de ces produits, notamment leur teneur en acides gras poly-insaturés. Les trois focus choisis pour cette session sont emblématiques des questions à traiter pour préfigurer la pisciculture du futur.

Il faut en effet concevoir de nouveaux systèmes de production piscicole qui soient plus économes en intrants, mieux intégrés dans l'environnement, tout en assurant des rendements satisfaisants dans une perspective d'intensification écologique. Le développement des systèmes en eau recyclée, les réflexions sur les systèmes intégrés multi-trophiques associant d'autres « cultures » à celles du poisson ainsi que les productions bio ou « *organic* » répondent à ces attentes. Le choix du système d'élevage peut s'appuyer sur l'Analyse du Cycle de vie qui permet de bien positionner les systèmes de production entre eux par rapport à leurs différentes catégories d'impact. Sachant que l'évaluation des systèmes s'appuie aussi sur l'optimisation de l'ensemble des facteurs qui déterminent la production.

Il faut aussi définir de nouveaux systèmes alimentaires ce qui implique à la fois le choix des espèces à élever et les stratégies alimentaires. La pêche s'adresse à des espèces ayant un niveau trophique élevé alors que la pisciculture peut et doit concerner des espèces ayant un niveau trophique plus faible. C'est déjà le cas pour la très grande majorité de la production piscicole mondiale, mais pas en Europe et en France. L'évolution vers des aliments durables avec l'emploi des matières premières d'origine végétale terrestre ou aquatique permettra de diminuer le niveau trophique des espèces cultivées.

Enfin, il faut maîtriser la domestication des espèces. Ce processus est encore très récent pour les poissons. La diversification de la pisciculture nécessite de faire passer les nouvelles espèces candidates par différents niveaux de domestication jusqu'à la maîtrise complète du cycle et la mise en place de programmes d'amélioration de ces espèces. Mais ce processus concerne aussi les espèces ayant déjà atteint ce niveau avancé de domestication et dont la production est déjà bien maîtrisée. Elles doivent continuer à être domestiquées pour s'adapter aux nouveaux systèmes d'élevage et aux nouveaux aliments. La domestication implique enfin l'adaptation de l'homme lui-même, non seulement l'aquaculteur mais aussi le consommateur qui co-évolueront certainement.

Ces thématiques soulèvent donc des questions originales qui ont été débattues lors de cette session. Elles mobilisent par ailleurs des compétences pluri-disciplinaires et de l'expertise allant des fronts des sciences aux approches intégrées et systémiques. En guise de conclusion, il est intéressant de voir de quelle manière ces réflexions très prospectives sont prises en compte dans les politiques nationales et européennes.

¹ INRA NUMEA Nutrition et Métabolisme Aquacole St Pée sur Nivelle.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

La pisciculture en France et en Europe concerne principalement des espèces à haute valeur en haut de la chaîne trophique. Il n'y a pas de rupture prévisible malgré l'évolution générale vers une consommation plus responsable. Les enjeux du développement durable de la pisciculture sont portés au niveau national par une initiative regroupant les représentants professionnels et les organismes de recherche au sein du GIS « Pisciculture Demain ». Au niveau européen la plate forme technologique European Aquaculture EATip regroupe des représentants des industriels de l'aquaculture, des professionnels, des organismes de recherche et des associations du monde civil.

Le développement de la pisciculture en France et en Europe est confronté à un triple défi jamais rencontré jusqu'alors : la globalisation des marchés des produits aquatiques, la très forte tension sur le prix des matières premières qui composent les aliments sans alternatives encore fiables sur d'autres matières premières et des fortes contraintes environnementales qui vont jusqu'aux attentes concernant la restauration des cours d'eau et des milieux aquatiques. Face à ces défis, l'Europe peut et veut donner une nouvelle impulsion à la pisciculture. On peut s'interroger pour savoir si la France s'est donné l'ambition et les moyens d'un sursaut.

L'avenir de la pisciculture en France et en Europe nécessite donc une politique volontariste et spécifique portant des orientations claires sur l'accès à l'espace, aux milieux, aux territoires, mais aussi aux questions développement de nouveaux systèmes d'élevage, de la promotion d'une alimentation durable, de la maîtrise de la domestication des espèces existantes et de nouvelles espèces, enfin de l'adaptation des espèces comme de leur alimentation, et des systèmes aux changements globaux.

LA GÉNOMIQUE AU SERVICE DE LA GESTION DES TRUFFIÈRES

INTRODUCTION

par Marie-Hérèse **Esquerré-Tugayé**¹

De l'Antiquité à nos jours, la truffe n'a cessé d'intriguer et de passionner les historiens, les écrivains, les artistes et les scientifiques. Mais quand on dit « truffe », parmi les dizaines d'espèces de truffe connues, la plus emblématique et la plus recherchée pour ses qualités organoleptiques est *Tuber melanosporum*, aussi appelée truffe noire du Périgord, objet du thème de ce jour. C'est elle qui est choisie par Fabre d'Eglantine pour dénommer le 28^e jour du mois Frimaire du calendrier républicain (An 2), et que Brillat-Savarin qualifie de diamant noir (Physiologie du goût, 1825).

La truffe est un champignon de la classe des Ascomycètes, mais ce n'est pas un champignon comme les autres. C'est un champignon hypogé qui vit en symbiose dans le sol avec les jeunes racines de quelques arbres et arbustes dont le chêne, le noisetier, les cystes ... auxquelles il s'associe en formant un manchon appelé « mycorhize » ou ectomycorhize. Son habitat, ce sont les sols calcaires (pH basique) tels que rencontrés dans le sud-est, le sud-ouest et le centre de la France (Provence, Quercy, Périgord, Charentes). Dans son environnement immédiat, on dénombre de nombreuses espèces de microorganismes (bactéries, champignons) qui lui sont associées (Antony-Babu *et al.*, 2014, Environmental Microbiology). On a donc affaire à tout un écosystème, dans lequel la composante-climat joue aussi un rôle important pour la fructification du champignon, c'est-à-dire l'élaboration de truffes. Sa présence dans le sol peut être suspectée lorsque des « brûlés » apparaissent, typiques de la couleur du couvert végétal raréfié autour des arbres mycorhizés. Pour autant, elle n'est pas visible à l'œil car les fructifications se développent 2 à 20 cm au dessous de la surface du sol ; l'homme a donc recours pour la détecter à des auxiliaires animaux – cochon, chien, mouche - qui flairent son arôme. Le ramassage (le cavage) et la vente des truffes se déroulent selon des pratiques inchangées au fil des générations, comme le révèlent divers écrits et illustrations (scènes du marché de Lalbenque, département du Lot, par exemple) depuis le 19^e siècle. Face à la demande des consommateurs, la production actuelle est très insuffisante, car elle n'a cessé de chuter au cours du 20^e siècle en raison du vieillissement des trufficulteurs et du manque d'entretien des truffières. Pour inverser cette tendance, on a recours depuis plusieurs années à la plantation d'arbres préalablement mycorhizés en pépinières.

L'intérêt des scientifiques pour ce noble champignon les a conduits à analyser ses arômes, à décrire son anatomie et son cycle de vie. L'examen du spectre des arômes révèle la présence de nombreux composés (aldéhydes, alcools, composés soufrés...) dont le profil permet de distinguer *Tuber melanosporum* d'autres espèces de truffe, dont la truffe de Chine *Tuber indicum* qui lui ressemble par ailleurs (Culleré *et al.*, 2013, *Food Chemistry*). Son cycle de vie débute par la germination des spores au début du printemps, suivie successivement par leur association aux racines de l'arbre, la formation de nouvelles mycorhizes, l'émergence de filaments mycéliens de types sexuels opposés dont la rencontre au début de l'été conditionne la formation de micro-truffes, lesquelles ne cessent alors de grossir jusqu'en novembre pour atteindre une forme globuleuse, une taille adulte (2 à 7-8 cm de diamètre, 10 à 200 grammes, en général) et une qualité consommable. Plusieurs de ces étapes ne sont pas maîtrisées en raison de la difficulté, voire de l'impossibilité, de les reproduire *in vitro*. Dans la perspective de pouvoir lever ces verrous, un consortium de scientifiques franco-italiens a séquencé le génome de la truffe sous la direction de notre confrère Francis

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France. Professeur de Physiologie-Microbiologie végétales à l'Université Paul-Sabatier – Toulouse III.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

Martin (Martin *et al.* 2010, Nature). La séance de ce jour sur le thème de « *la génomique au service de la gestion des truffières* » est confiée à : Claude **Murat** (Nancy), Elisa **Taschen** et Marc-André **Selosse** (Montpellier et Paris), Damien **Berlureau** (Saint-Maixant).

LA GÉNOMIQUE AU SERVICE DE L'ÉCOLOGIE MICROBIENNE DES TRUFFIÈRES

par Claude **Murat**¹, Herminia **de la Varga**¹, Christophe **Robin**²,
François **Le Tacon**¹, Francis **Martin**¹

La conservation et l'amélioration de la production de truffes passe par une meilleure compréhension de son cycle biologique qui peut se diviser en trois grandes phases : 1) la phase saprotrophe correspondant au développement du mycélium dans le sol, 2) la phase symbiotique correspondant à l'interaction du champignon avec la plante-hôte au niveau des ectomycorhizes et 3) la phase reproductive dont le produit final est l'ascocarpe, l'organe contenant les spores. Pour l'obtention de truffes, le trufficulteur doit principalement passer deux verrous : l'initiation de la reproduction sexuée et la croissance de la truffe reliée à l'arbre pendant plusieurs mois. Plusieurs facteurs comme le climat, l'adaptation génétique, la biodiversité microbienne et l'entretien des truffières peuvent influencer positivement ou négativement ces verrous. L'objectif de nos recherches est de générer et d'utiliser des ressources génétiques et génomiques pour mieux comprendre ce cycle biologique. En parallèle, nous essayons aussi de mieux connaître l'écosystème truffier en utilisant des technologies innovantes, comme le séquençage à haut débit et les codes-barres d'ADN, pour caractériser la biodiversité microbienne des truffières.

Grâce aux efforts conjugués du Génoscope et du Tuber Genome Consortium, le génome de la truffe noire (*Tuber melanosporum*) a été séquençé et publié en 2010 (Martin *et al.*, 2010, Nature, 464, 1033-1038). L'exploitation de ce génome a permis d'identifier: les gènes de compatibilité sexuelle et des marqueurs moléculaires très polymorphes permettant l'identification et le suivi des génotypes *in situ*. Une cartographie des génotypes et de leur type de compatibilité sexuelle dans une truffière pendant quatre saisons a été réalisée montrant que les truffières sont des écosystèmes dynamiques.

Le sol est un réservoir important de la biodiversité sur la terre et les microorganismes y représentent une grande partie de cette biodiversité. Les progrès technologiques permettent actuellement d'avoir une vision de plus en plus détaillée de la biodiversité microbienne. Par l'utilisation de ces technologies nous avons caractérisé la biodiversité fongique dans les sols de plusieurs truffières. Cette étude a permis d'identifier plusieurs espèces indicatrices du sol des arbres producteurs par rapport au sol d'arbres non producteurs mais aussi du sol du « brûlé » par rapport au sol à l'extérieur du « brûlé ».

Pour conclure, le séquençage du génome de la truffe noire s'insère dans un projet plus ample intitulé TuberEVLV ayant pour but l'analyse comparative des génomes des truffes pour mieux connaître leur évolution et l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne. Dans le cadre de ce projet, les génomes de *T. aestivum*, *T. borchii*, *T. brumale*, *T. indicum*, *T. lyonii* et *T. magnatum* sont en cours de séquençage au sein du Génoscope, du Joint Genome Institute du département de l'énergie des États-Unis et, en interne, à l'INRA de Nancy.

Grâce à ces ressources génomiques et aux nouvelles technologies de la génomique, nous avons mis au point des outils que nous utilisons actuellement *in situ*. Ces outils devraient rapidement être disponibles pour les trufficulteurs leur permettant ainsi de mieux suivre et gérer leurs truffières.

¹ INRA, UMR1136 Interactions Arbres-Microorganismes, F-54280 Champenoux, France.

Université de Lorraine, UMR1136 Interactions Arbres-Microorganismes, F-54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

² Université de Lorraine – INRA, UMR 1121 "Agronomie et Environnement Nancy-Colmar", BP 172, 54505 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) MELLO A, MURAT C, BONFANTE P., 2006. – Truffles: much more than a prized and local fungal delicacy. *FEMS Microbiology Letters* **260**, 1-8.
- (2) MARTIN F, KOHLER A, MURAT C *et al.*, 2010. – Perigord black truffle genome uncovers evolutionary origins and mechanisms of symbiosis. *Nature* **464**, 1033-1038.
(<http://www2.cnrs.fr/presse/communiquel846.htm>)
- (3) PAYEN T, MURAT C, BONITO G. 2014. – Truffle phylogenomics: New insights into truffle evolution and truffle life cycle. *Advances in Botanical Research* **70**, 211-234.
- (4) MURAT C. 2014. – Forty years of inoculating seedlings with truffle fungi: past and future perspectives. *Mycorrhiza*. Springer Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/s00572-014-0593-4.

DE LA NAISSANCE À LA MORT DES TRUFFIÈRES NATURELLES

par Marc-André Selosse¹

Le programme SYSTRUF, en réexaminant l'écologie de la Truffe Noire (*T. melanosporum*), a révélé plusieurs aspects de la dynamique de ce champignon, notamment dans les truffières « naturelles » où la présence de la Truffe Noire est spontanée. Le premier aspect fut d'abord trouvé inopinément et indépendamment dans des travaux analysant les résiliences des communautés mycorrhiziennes aux coupes à blanc, une pratique traditionnelle qui entretenait autrefois les chênaies, notamment méridionales, par des récépages continus en vue de la production de bois de feu. A la suite de cette perturbation dans une chênaie, les champignons ectomycorhiziens présents avant perturbation sont profondément renouvelés, et parmi les clades rudéraux qui s'installent figurent les truffes (*Tuber* spp.) : ces travaux, et d'autres qui seront présentés, démontrent le côté rudéral de la Truffe Noire, et son lien aux perturbations. La décrue des espaces forestiers perturbés et de l'intensité des perturbations à la suite de l'exode rural au 20^e siècle, contribuent sans doute à l'effondrement de la production observé depuis les années 1900.

La colonisation par la Truffe Noire des arbres hôtes potentiels est assez limitée dans les truffières naturelles étudiées : elle coexiste avec de nombreuses autres espèces sur les arbres, et tend à ne pas coloniser toutes les espèces-hôtes potentiels. En revanche, la présence de mycélium dans les racines des herbacées de nombreuses espèces a pu être montrée par des méthodes moléculaires. Bien qu'on ne connaisse pas encore avec exactitude la morphologie et la nature physiologique des interactions, des génotypes variés ont pu être identifiés sur des plantes herbacées du « brûlé ». Ainsi, le réseau d'interaction végétal de la Truffe Noire n'est-il pas seulement lié aux arbres ectomycorhizés. Reste à établir en quoi les interactions avec le sous-étage herbacé peuvent éventuellement expliquer la formation du « brûlé », ou peut être un auxiliaire en trufficulture.

Enfin, bien qu'on ne contrôle pas la reproduction ni complètement la production de la Truffe Noire les pratiques d'inoculations constituent un premier pas vers sa domestication. Il est donc intéressant, dans ce modèle en cours de domestication, de comparer la structure des populations de plantations à celles de truffières naturelles. Si aucune réduction de diversité, ni aucune différence d'appariement sexuel n'ont pu

¹ Institut de Systématique, Évolution et Biodiversité (ISYEB) - UMR 7205 CNRS MNHN UPMC EPHE, Muséum d'histoire naturelle de Paris

être mises en évidence, sans doute parce que les plantations sont situées dans la zone d'indigénat de la Truffe Noire, des différences significatives de structuration spatiale existent.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) SELOSSE M-A., BAUDOIN E., VANDENKOORNHUYSE P., 2014. – Symbiotic microorganisms, a key for ecological success and protection of plants. *Comptes Rendus Biologies* **327**, 639-648.
- (2) SELOSSE M-A., RICHARD F., HE X. *et al.*, 2006. – Mycorrhizal networks: des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology & Evolution* **21**, 621-628.
- (3) MARMEISSE R., NEHLS U., OPIK M., SELOSSE M-A., PRINGLE A., 2013. – Bridging mycorrhizal genomics, metagenomics and forest ecology. *New Phytologist* **198**, 343-346.
- (4) SELOSSE M-A., TASCHEN E., GIRAUD T., 2013. – Do black truffles avoid sexual harassment by linking mating type and vegetative incompatibility? *New Phytologist* **199**, 10-13.

PRODUCTION DE PLANTS TRUFFIERS ET DIVERSIFICATION SYLVICOLE

par Damien **Berlureau**¹

La truffe se cultive de manière empirique depuis le 19^e siècle. Ces techniques de culture reposant quasi-exclusivement sur le « savoir faire » amèneront la production de truffe à son apogée, 1500 à 2000 tonnes en 1910 à comparer aux 60 tonnes actuelles. Ces chiffres maintes et maintes fois cités laissent à penser que le « savoir-faire », le bon sens paysan, est plus efficace que le « savoir scientifique » pour ce qui est de produire des truffes. Cependant de 1914 à 1972 tout ce « savoir-faire des trufficulteurs » a été incapable d'enrayer l'extraordinaire chute de production de 98% ; avec environ 25 tonnes au milieu des années 70. Ce n'est que grâce aux recherches menées par l'INRA et qui aboutissent en 1972 à la licence truffe INRA-Agri-Truffe que la production de truffe se stabilise puis recommence aujourd'hui à croître.

Nous exposerons les hypothèses des raisons du déclin de la production avant l'arrivée des plants truffiers, leur production ainsi que leur avenir pour une trufficulture qui se diversifie, s'internationalise et a un rôle prépondérant à jouer dans l'avenir de la forêt.

Pour en savoir plus

<http://cemachampi.blogs.sudouest.fr/tag/damien+berlureau>

<http://avis-vin.lefigaro.fr/magazine-vin/o112347-des-actionnaires-payees-en-vins-et-en-truffes>

¹ AgriTruffe Saint-Maixant.

LES INSECTES COMME NOUVELLE SOURCE DE PROTÉINES ANIMALES

INTRODUCTION

par Charles **Descoins**¹

60% des protéines animales consommées dans le monde proviennent des animaux d'élevage, 30% des produits de la pêche et de l'aquaculture, 10% des mollusques marins et terrestres (moules, huîtres, escargots) et des grenouilles.

La croissance démographique et l'émergence d'une alimentation carnée, synonymes de prospérité, dans les pays industrialisés émergents comme la Chine ou l'Inde, vont entraîner une demande de plus en plus importante de viande.

Selon une estimation récente de la FAO, elle devrait passer de 284 (2007) à 465 millions de tonnes à l'horizon 2050.

Or en Europe et dans la plupart des pays développés 60% des terres agricoles exploitables sont déjà occupées pour produire les aliments nécessaires aux animaux d'élevage. Ces surfaces ne pourront pas être significativement augmentées et l'amélioration des rendements a aussi une limite.

Dans les pays où des surfaces sont encore disponibles, leur mise en culture s'accompagne de graves atteintes à l'environnement. Au Brésil, par exemple, 1,2 million d'hectares de forêt amazonienne sont détruits chaque année pour étendre la culture du soja qui nourrira les animaux du monde entier.

De plus, l'élevage est responsable de 15% des émissions de gaz à effet de serre et les déjections animales peuvent être en partie responsables de graves problèmes de pollution. De même, dans sa situation actuelle, l'aquaculture repose essentiellement sur l'élevage de poissons carnivores gros consommateurs de protéines animales sous forme de farines préparées à partir de poissons, non directement consommables, provenant de la pêche dite « minotière ». Or il faut 20 à 25 millions de tonnes de ces poissons pour produire seulement 6 à 7 millions de tonnes de farine.

N'oublions pas enfin que plus d'un milliard d'individus dans le monde souffrent encore de problèmes de sous-nutrition par manque de protéines animales.

Devant la nécessité de rechercher d'autres sources de protéines, les insectes peuvent-ils apporter une solution au problème ?

Si en Occident l'idée de consommer des insectes suscite une réaction de répulsion, l'entomophagie est largement pratiquée dans de nombreuses parties du monde où 4 milliards d'individus consomment des insectes soit comme nourriture d'appoint, soit comme partie intégrante de leur alimentation pendant les périodes de prolifération des espèces qu'ils récoltent dans la nature.

On estime que 1400 espèces d'insectes sont comestibles mais que pas plus de 300 font l'objet d'une activité de cueillette régulière, avec là encore un risque d'épuisement des ressources naturelles.

Devant cet état de fait, on s'est fixé deux objectifs :

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, [directeur de recherche honoraire de l'INRA](#).
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

– dans les pays déjà consommateurs d’insectes passer de la cueillette aléatoire à la production stable d’espèces sélectionnées dans de petites unités donnant des emplois et des ressources aux ruraux. Ce programme soutenu par la FAO est déjà opérationnel en Thaïlande et au Laos ;

– dans les pays développés, utiliser les insectes pour nourrir les animaux que nous consommons en produisant des farines qui seront ensuite incorporées à leur alimentation. Cela nécessitera la construction de grosses unités de production capables d’élever des millions d’insectes et de développer des procédés originaux pour en assurer la purification, la transformation, le conditionnement et la commercialisation. Des unités pilotes existent déjà dont une en Afrique du Sud qui produit deux tonnes de farine/jour à partir d’un élevage industriel de mouches nourries sur des déchets d’abattoir.

Si on veut développer cette approche, plusieurs problèmes seront à résoudre :

- quelles espèces devra-t-on sélectionner ?
- quels critères devront être pris en compte dans cette sélection ?
- devra-t-on chercher à obtenir des insectes domestiques dont l’élevage et le cycle de vie seront parfaitement maîtrisés ?

Pour être économiquement rentable, le premier critère à retenir est la possibilité d’utiliser dans les élevages les sous-produits de l’agriculture et de l’agro-industrie dont le volume est évalué à 1,3 million de tonnes/an.

Pour le moment, aucun insecte, à part le ver à soie, n’a été domestiqué et il a fallu plusieurs siècles pour y parvenir. Si l’abeille est dite domestique c’est encore un insecte sauvage.

Même si quelques chefs étoilés œuvrant dans des restaurants « branchés » essaient d’étonner leurs clients en leur proposant des plats directement élaborés à base d’insectes, là n’est pas l’avenir immédiat de l’entomophagie. Il réside pour le moment dans l’élaboration de produits transformés où l’insecte lui-même devient invisible.

Mais les mentalités peuvent changer et les habitudes alimentaires aussi. Peut-être verra-t-on un jour des préparations « à la viande » contenant des farines d’insectes ?

N’oublions pas enfin que tout aliment à base d’insectes rentre dans la catégorie « *novel food* » et devra répondre à des exigences réglementaires.

Tous ces aspects seront successivement développés par :

- Samir **Mezdour** qui traitera de la production, de la transformation industrielle des insectes dans l’alimentation animale et humaine,
- Cédric **Auriol** qui nous parlera des résultats déjà obtenus par sa société et de ses projets de développement,
- Dominique **Parent-Massin** qui insistera sur les exigences réglementaires liées à la mise sur le marché de produits alimentaires à base d’insectes.
- Enfin, Frédéric **Marion-Poll** aura la tâche de conclure.

Avant de leur donner la parole, permettez-moi, pour vous mettre en appétit, de vous présenter deux plats à base d’insectes servis dans un restaurant de Vientiane au Laos et une larve du genre rhynchophore dont trois espèces sont couramment consommées en Amérique du Sud, en Afrique et en Extrême-Orient.

Voici ce qu’en dit le père Jean-Baptiste Labat après en avoir consommé, grillées, sous forme de brochettes :

« C’est un très bon manger, le rôti est juteux, souple et de bon goût, On lui reconnaît certaine saveur d’amandes grillées que relève une vague odeur de vanille. En somme ce mets vermiculaire est très acceptable, on pourrait même dire excellent ».

VERS UNE PRODUCTION, TRANSFORMATION ET UTILISATION INDUSTRIELLE DES INSECTES DANS L'ALIMENTATION ANIMALE ET HUMAINE

par Samir Mezdour¹

Comment nourrir 9 milliards d'hommes en 2050, dans un contexte de menace de pénurie alimentaire et de nécessaire préservation de l'environnement ? Chercheurs et industriels de l'agroalimentaire commencent à s'intéresser à la valorisation d'insectes comestibles (+ de 1900 espèces consommées dans le monde) qui, grâce à leurs qualités nutritionnelles, leur faible impact sur l'environnement pourraient constituer une ressource alimentaire d'avenir. Si ces perspectives soulèvent bien des interrogations, les débouchés qui se dessinent sont d'abord destinés à l'alimentation animale.

Pour produire à l'échelle industrielle de nouveaux produits et ingrédients à base d'insectes, il faudra surmonter un certain nombre d'obstacles (i) techniques (la sélection des insectes, leur élevage en grande masse, choix des matières agricoles, leur transformation *via* des procédés adaptés ...), (ii) économiques (coût de production, prix du produit/kg.), (iii) liés à la durabilité (impact sur l'environnement).

Plusieurs programmes en Europe ont été lancés pour défricher un champ de recherche où beaucoup reste à faire, et pour apporter des solutions afin de faire émerger une nouvelle filière insectes. Parmi ces projets, le projet DESIRABLE (Conception d'une bioraffinerie d'insectes pour contribuer à des systèmes agroalimentaires plus durables) se propose de couvrir les problématiques de sous-valorisation de coproduits de biomasse et de production locale de ressources riches en protéines, par un procédé de bioconversion par les insectes en protéines adaptées à l'alimentation d'animaux. Il intègre une vision globale de la filière, de l'utilisation des déchets organiques jusqu'à la consommation de poissons et volailles. L'aboutissement pourrait être une unité de bioconversion, appelée Ento-raffinerie. Des expériences à l'échelle du laboratoire et du pilote ont été menées pour chacun des composants de la bioraffinerie : l'élevage, la transformation et l'utilisation des produits. Une Analyse du Cycle de vie (ACV) complète apportera une vision globale du système. Plusieurs voies de procédés d'extraction et de fractionnement des constituants d'insectes ont été explorées et ont permis de préparer plusieurs types de farines. Le projet regroupe des compétences sur un large panel d'expertises scientifiques, tant académiques qu'entrepreneuriales, pour une étude approfondie des composants de la bioraffinerie et de la filière.

Pour aller plus loin

http://www.agence-nationale-recherche.fr/suivi-bilan/environnement-et-ressources-biologiques/systemes-alimentaires-durables/fiche-projet-alid/?tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-12-ALID-0001
<http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/en/>

- (1) MAKKAR H.P.S., TRAN G., HENZE V. *et al.*, 2014. – State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* **197**, 1-33.
- (2) RUMPOLD B.A., SCHLUETER O.K., 2013. – Nutritional composition and safety aspects of edible insects-. *Molecular Nutrition & Food Research* **57**, 802-823.

¹ Laboratoire Ingénierie, procédés, aliments (Genial) - (UMR 1145) INRA/AgroParisTech, Massy.
<http://www.universite-paris-saclay.fr/fr/recherche/laboratoire/ingenierie-procedes-aliments-genial>
samir.mezdour@agroparistech.fr

- (3) BELLUCO S., LOSASSO C., MAGGIOLETTI M. *et al.*, 2013. – Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **12**, 296-313.
- (4) RAUBENHEIMER D., ROTHMAN J.M., 2013. – Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. *Annual Review of Entomology* **58**, 141-160.
- (5) VAN HUIS A., 2013. – Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology* **58**, 563-583.
- (6) BUKKENS S.G.F., 2005. – Insects in the human diet. In *Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails*, ed. MG Paoletti, pp. 545–77. Enfield, NH: Science Publ.

QUELQUES RÉALISATIONS INDUSTRIELLES EN COURS DE DÉVELOPPEMENT

par Cédric Auriol¹

Les insectes en tant qu'aliment sont encore peu connus en Europe. Les insectes comestibles disposent pourtant de nombreuses qualités sur les plans nutritionnel et environnemental. Cette présentation a pour objectif de faire découvrir les insectes comestibles et de les replacer dans un contexte d'alimentation durable. Au travers du projet Micronutris nous pourrions découvrir l'émergence d'une nouvelle activité de production agricole et de transformation agroalimentaire.

Pour en savoir plus

<http://www.mangeons-des-insectes.com>

<http://www.franceinfo.fr/emission/ils-ont-fait-l-actu/2014-2015/que-devient-micronutris-la-premiere-entreprise-en-france-elever-des-insectes-usage>

<http://www.lefigaro.fr/societes/2014/04/22/20005-20140422ARTFIG00074-micronutris-leve-15million-d-euros-pour-elever-des-insectes.php>

<http://www.lefigaro.fr/actualite-france/2013/05/17/01016-20130517ARTFIG00326-micronutris-veut-nous-faire-manger-des-insectes.php>

- (1) RAUBENHEIMER D, ROTHMAN J.M., 2013. – Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. *Annual Review of Entomology* **58**, 141-160.
- (2) VAN HUIS A., 2013. – Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology* **58**, 563-583.

¹ Micronutris.

<http://www.micronutris.com>
cedric@eap-group.com

ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET TOXICOLOGIQUES LIÉS À LA CONSOMMATION HUMAINE D'INSECTES OU DE PROTÉINES D'INSECTES EN EUROPE

par Dominique Parent-Massin¹

La consommation humaine d'insectes est une pratique traditionnelle dans certaines régions d'Asie, Afrique ou Amérique latine. Plus de mille espèces d'insectes sont consommées. La FAO a initié en 2008 des travaux pour promouvoir la consommation d'insectes comme sources de protéines, matières grasses et micronutriments.

Le règlement (CE) n° 258/97 prévoit que les aliments ou les ingrédients alimentaires pour lesquels la consommation humaine est restée à un niveau négligeable dans l'Union européenne avant le 15 mai 1997 sont des nouveaux aliments ou nouveaux ingrédients alimentaires («*novel foods, novel food ingredients*»). En vertu de ce règlement, tous les nouveaux aliments ou ingrédients alimentaires doivent avoir fait l'objet d'une évaluation des risques et recevoir une autorisation de la Commission européenne avant de pouvoir être mis légalement sur le marché communautaire. Cette autorisation se rapporte aux conditions d'utilisation, à la dénomination du nouvel aliment ou ingrédient alimentaire et aux prescriptions spécifiques en matière d'étiquetage. Ainsi, la mise sur le marché d'insectes pour la consommation humaine est subordonnée soit au dépôt d'une demande d'autorisation et à la démonstration de l'innocuité pour le consommateur (au titre du règlement sur les nouveaux aliments), soit à la démonstration d'une consommation significative de la denrée avant 1997 dans l'UE (dans ce cas, on sort du champ d'application du règlement sur les nouveaux aliments et la denrée peut être mise sur le marché sans plus de formalités, l'historique de consommation valant démonstration de la sécurité).

Comme la consommation d'insectes entiers ou de protéines d'insectes n'est pas à ce jour considérée comme traditionnelle en Europe avant le 15 mai 1997, il appartient alors aux industriels de démontrer l'innocuité des produits qu'ils veulent mettre sur le marché. Pour cela, ils doivent soit faire état de données bibliographiques prouvant l'absence d'effets toxiques aux doses potentiellement consommées, soit diligenter des études toxicologiques pour abonder dans ce sens. Au minimum, il sera demandé des études de génotoxicité *in vitro* (test d'Ames et test du micronoyau) et une étude de toxicité subchronique sur rongeurs qui seront nourris pendant 90 jours avec les produits concernés. Ces études devront être réalisées suivant les protocoles OCDE, et au moins trois doses devront être éprouvées. Si ce type d'étude est facilement envisageable pour les protéines (Zhou *et al.*, 2006), leur conception pour des insectes entiers reste un casse-tête pour les toxicologues (Han *et al.*, 2014).

Les publications sur les risques toxicologiques induits par la consommation d'insectes ou de protéines d'insectes sont peu nombreuses (Van der Spiegel *et al.*, 2013, Rumpold et Schlüter, 2013). On évoque la présence de toxines, de substances anti-nutritionnelles, de métaux lourds, de résidus de pesticides, de mycotoxines, et bien entendu le risque allergique. Ces dangers varient avec le type d'un insecte et son origine, cueillette sauvage ou animaux issus d'un élevage.

Plusieurs pays de l'Union européenne, la Belgique, la Hollande et la Grande-Bretagne ont décidé de s'affranchir de la réglementation Nouveaux Aliments en autorisant la mise sur le marché d'insectes entier à l'aide d'une liste positive. Les autres pays membres ont demandé à l'Autorité européenne de Sécurité alimentaire (EFSA) un avis scientifique sur les risques potentiels liés à la consommation d'insectes. Le groupe de travail créé à cet effet devrait rendre son avis en juin 2015.

¹ Correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Laboratoire de Toxicologie alimentaire et cellulaire - EA3880 – Université de Brest.

<http://www-tmp.univ-brest.fr/ltac/Accueil>

<http://www.academie-agriculture.fr/membres/868>

Dominique.Parent-Massin@univ-brest.fr

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) FAO. 2008. – <http://www.fao.org/forestry/65422/fr/>
- (2) HAN S-R., YUN E-Y., KIM J-Y., HWANG J-S., JEONG E-J., MOON K-S., 2014. – Evaluation of genotoxicity and 28-day oral dose toxicity on freeze-dried powder of *Tenebrio molitor* larvae (Yellow Mealworm). *Toxicology Research* **30**,121-130.
- (3) RUMPOLD BA, SCHLÜTER O-K., 2013. – Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* **57**, 802-823.
- (4) VAN DER SPIEGEL M, NOORDAM M-Y, VAN DER FELS-KLERX H-J., 2013. – Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **12**, 662-678.
- (5) ZHOU J, HAN D., 2006. – Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae. *Food and Chemical Toxicology* **44**, 1123–1130.

MENACES, COHÉSION SOCIALE ET RÉGULATION

INTRODUCTION

par Lucien **Bourgeois**¹

Nous vous proposons une séance improvisée avec Nadine **Vivier** en association entre la Section Economie et politique et la Section Sciences humaines et sociales. Nous avons intitulée cette séance : « Alimentation de la planète : Menaces, cohésion sociale et régulation des marchés. »

Dans la séance programmée à l'origine par l'Académie, on aurait dû parler des insectes. On parlera alimentation de la planète. Le lien est plus proche qu'on ne le pense car les insectes peuvent devenir une source importante de protéines !

Nous vous proposons trois intervenants.

- Nous demanderons à André **Neveu** de nous rappeler les risques de pénuries et de nous indiquer quelques pistes pour les éviter. Il vient en effet de publier un nouveau livre « Retour des pénuries alimentaires, un nouveau défi, nourrir 9,5 milliards de personnes en 2050 ».
- Nous solliciterons ensuite Henri **Rouillé d'Orfeuill** de faire le bilan de l'année de l'exploitation familiale. « Les années de ... », c'est comme les journées de ... cela peut être une opération de communication de bonne conscience pour faire croire que le sujet est important et ne rien décider de concret pour résoudre les problèmes ensuite !
- Ce serait dommage car derrière la façon dont on résout le problème de l'alimentation reste un problème d'emploi agricole. Dans de nombreux pays, la population rurale va certes baisser en valeur relative mais la pression démographique est telle que cette population rurale va augmenter en valeur absolue. On ne peut donc pas envisager une solution au revenu agricole qui passe, comme dans nos pays, par une forte progression de l'exode rural. Même dans des pays développés comme la Chine, les difficultés sont très importantes. Malgré ses taux de croissance très rapides, il n'y a pas de solution pour accueillir la main-d'œuvre surnuméraire de l'agriculture. Pour empêcher les migrations, il a été décidé que les personnes qui viennent des communes rurales n'auraient pas les mêmes droits que les autres. Ainsi, elles ne peuvent pas se faire soigner en ville ni mettre leurs enfants à l'école.
- Nous écouterons ensuite Pierre **Pagesse** qui nous fera partager ses inquiétudes face à la volatilité actuelle des prix agricoles. Pierre **Pagesse** a dirigé pendant 20 ans une des entreprises de semences les plus performantes de France. Avec 2 milliards de CA, elle consacre chaque année 200 millions € à la recherche et est implantée dans de très nombreux pays. Il n'empêche qu'il estime que la volatilité des prix agricoles est excessive et met en péril le potentiel de production.
- Enfin Bertrand **Hervieu** qui est Vice-Président du Conseil général tirera les conclusions de cette séance.

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

2050, MENACES POUR L'ALIMENTATION DU MONDE

par André Neveu¹

Introduction

La FAO (organisation des Nations-unies pour l'alimentation et l'agriculture) estime qu'au milieu du 21^e siècle, la production agricole devra avoir augmenté de 60% pour satisfaire l'ensemble des besoins alimentaires mondiaux.

Ce ne sera pas facile. Car les menaces qui pèsent sur l'agriculture sont nombreuses, avec en premier lieu les changements climatiques et la dégradation des sols.

Si certaines de ces menaces se concrétisent effectivement, leurs répercussions sur les quantités produites seront lourdes de conséquences. Un déséquilibre même modeste entre l'offre et la demande conduirait à une forte augmentation des prix de marché qui pénaliserait en priorité les populations urbaines les plus pauvres.

De plus, dans le secteur agricole, les acteurs sont extrêmement nombreux, bien évidemment dispersés sur les territoires, et de compétence très variable. La taille des exploitations et les capitaux utilisés le sont tout autant. C'est également le cas pour le secteur des entreprises en aval et en amont de la production agricole.

Pour faire face à tous ces aléas, les gouvernements seront amenés à modifier profondément leurs politiques agricoles et alimentaires.

Comment expliquer l'importance de l'accroissement de la production agricole qui sera nécessaire d'ici 2050 ?

Le premier et le principal facteur explicatif est tout simplement la croissance démographique : passer de 7 milliards d'habitants dans le monde en 2014 à 9,5 en 2050 comme le prévoient les Nations-unies, représente une augmentation des bouches à nourrir de 35% en 36 ans.

Mais il faut y ajouter l'expansion urbaine qui s'accélère et modifie profondément les habitudes alimentaires, l'amélioration du pouvoir d'achat des nombreux consommateurs des nouvelles classes moyennes, notamment dans les pays en transition, enfin le possible développement des produits non alimentaires comme les agro-carburants.

En revanche, on ne peut guère espérer inverser rapidement la tendance à la multiplication des situations de surpoids et d'obésité observées ces dernières années partout dans le monde. De même, les efforts méritoires pour réduire les pertes et gaspillages qui se produisent tout au long de la filière agro-alimentaire, sont de peu d'effets pour induire une baisse significative des besoins de produits alimentaires.

Face à ces besoins incompressibles, la production peine à suivre depuis le début du 21^e siècle

L'augmentation des rendements a constitué, et de loin, le principal facteur d'accroissement de la production agricole au cours du 20^e siècle. Certes, elle se poursuit mais avec, pour de grandes productions, un certain fléchissement fort inquiétant. Par exemple, en Europe de l'Ouest, les rendements en blé et en orge n'augmentent plus depuis plus de 15 ans. En Chine et en Indonésie, on observe une tendance similaire pour ceux de riz... En revanche, le maïs et le soja voient leurs rendements continuer de progresser.

Comment expliquer cet infléchissement ? On peut incriminer les premiers effets, certes pour l'instant modestes, des changements climatiques, une possible dégradation de la fertilité des sols ou encore une modification des techniques culturales.

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien adjoint au Directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la Caisse nationale de Crédit agricole.

Peut-on compenser ces menaces sur les rendements par un accroissement significatif des surfaces cultivées dans le monde ? Celles-ci croissent depuis un demi-siècle, mais fort lentement (+0,25% par an). La FAO estime que cette tendance va se poursuivre à ce rythme, ce qui conduit à 8 % d'accroissement des surfaces cultivées en 2050. Mais certains experts, considérant que les surfaces encore incultes sont très importantes, tablent sur une augmentation beaucoup plus importante. Ce n'est pas une hypothèse à rejeter. Mais on doit aussi tenir compte de la fertilité parfois réduite ou précaire de ces nouvelles terres, de la dégradation déjà observée sur nombreux sols ainsi que des prélèvements très significatifs de l'urbanisation.

La rapide croissance passée de la production a aussi été rendue possible grâce aux investissements réalisés en irrigation. D'ailleurs, près de 40% de la production est actuellement issue de superficies irriguées. Ces investissements se poursuivent mais, pour de multiples raisons, plus lentement qu'au 20^e siècle. On peut estimer qu'il en sera de même au cours des prochaines années.

On peut aussi compter sur le développement très rapide de l'aquaculture dans le Sud Est asiatique notamment. Ces ressources vont très probablement continuer leur progression, mais elles doivent aussi compenser la baisse inévitable des ressources marines qui ont été beaucoup trop sollicitées depuis des décennies.

Peut-être de nouvelles menaces pour l'agriculture dans le futur ?

L'impact des changements climatiques constitue une inconnue qui peut avoir de lourdes conséquences pour les cultures et les populations rurales dans de grandes régions du monde, plus particulièrement dans le Sahel ou dans les pays du Maghreb et du Moyen-Orient.

De sévères mesures de protection de l'environnement sont aussi possibles. Elles sécuriseraient l'activité agricole à long terme mais conduiraient aussi à une certaine baisse des rendements.

L'agriculture est grosse consommatrice d'énergie et une forte augmentation des prix de celle-ci nécessitera différents ajustements de la production ou de la transformation des produits agricoles.

Une mobilisation générale de l'ensemble des forces productives suppose une cohabitation difficile entre les très grandes exploitations capitalistes et une agriculture paysanne qu'il faut impérativement moderniser.

Enfin, les désordres politiques qui se multiplient dans le monde perturbent gravement l'activité agricole.

Heureusement, il est très probable que toutes ces menaces ne se concrétiseront pas ensemble.

Les conséquences sur les prix d'une offre de produits agricoles insuffisante par rapport à la demande

Depuis le début du 21^e siècle, les prix agricoles semblent résolument orientés à la hausse mais aussi ils s'avèrent beaucoup plus volatils que par le passé. La FAO estime que cette tendance va se poursuivre. Si ce pronostic se confirme, il en résultera inévitablement de multiples conséquences avec notamment des rentes de situation pour les gros agriculteurs producteurs de denrées de base, une augmentation du prix des terres et des baux locatifs, une accélération des défrichements par les agriculteurs ou des fonds d'investissements à la recherche de profits... Mais surtout les consommateurs pauvres verront le prix de leur alimentation augmenter dans des proportions insupportables.

De nouvelles politiques agricoles vont s'imposer partout dans le monde

Pour faire face à ces hausses de prix, de nombreux gouvernements seront contraints de mettre en place des mesures d'urgence pour les populations les plus défavorisées.

Les politiques de régulation des prix agricoles, un temps abandonnées, seront réactivées malgré les inévitables difficultés de fonctionnement des mécanismes de gestion.

On s'efforcera aussi dans de nombreux pays, de développer les cultures vivrières destinées à approvisionner en priorité les marchés nationaux. Pour atteindre cet objectif, **des politiques de souveraineté alimentaire**, aujourd'hui condamnées par les organisations internationales et de nombreux accords commerciaux, pourraient de nouveau s'imposer.

La nécessité de faire participer les petites exploitations paysannes à l'effort d'accroissement de la production, impliquera nécessairement de nouvelles politiques foncières et des structures de production. L'accroissement des investissements dans ces petites exploitations passera par une nouvelle politique du crédit avec de des systèmes de financement adaptés.

Conclusion

Seule une révision générale des politiques et des techniques agricoles permettrait de réduire les conséquences les plus fâcheuses d'une éventuelle insuffisance de production agricole. Parmi les actions prioritaires à conduire dès maintenant, citons l'amélioration des plantes, l'adaptation des techniques culturales aux inévitables changements climatiques et une meilleure protection des sols cultivés. Car l'augmentation des rendements des cultures doit rester la priorité des organisations internationales et des gouvernements. Si cette augmentation s'avère insuffisante, la lutte pour l'accès à la terre (et à l'eau) sera féroce. Et elle peut constituer un danger pour la paix dans le monde.

BILAN DE L'ANNÉE INTERNATIONALE DE L'AGRICULTURE FAMILIALE (AIAF) : L'EXPLOITATION FAMILIALE FACTEUR DE COHÉSION SOCIALE

par Henri **Rouillé d'Orfeuil**¹

Le premier bilan montre l'intérêt porté par les différentes familles d'acteurs concernées par le sujet (Organisations syndicales et professionnelles, recherche et enseignement supérieur, ONG, collectivités territoriales, fondations). Le Premier ministre (saisine du CESE) et les deux ministres, principalement concernés, ont pris des initiatives et ont suivi et participé à l'AIAF. Plus de 150 manifestations ont été organisées dans notre pays en 2014 et de nombreux échanges ont pu avoir lieu avec des partenaires de la Méditerranée, d'Afrique de l'Ouest et d'Amérique latine.

La relecture des débats et des objectifs initiaux montre que cette année avait du sens. Elle a permis de dénoncer le discrédit porté à l'AF par de nombreux gouvernants et la plupart des grands prescripteurs internationaux, de souligner son extrême diversité, de dire son potentiel de réponse face à quelques-uns des grands défis contemporains et d'apprécier les conditions qui pourraient permettre l'expression de ce potentiel. Pour ce faire, on rappellera succinctement :

- comment et pourquoi l'AIAF a été mise en place face à l'inquiétude des prémices d'une entrée massive des entreprises dans la production agricole (accaparements fonciers, concentration des marchés agricoles) ;
 - les débats de vocabulaires et de doctrines (familiale *versus* petite, vivrière, paysanne, indigène...)
 - l'importance statistique de la ou des AF ;
 - l'intérêt du caractère multifonctionnel des AF et familial des exploitations ;
 - le débat sur la question des économies d'échelle dans la production agricole ;
 - l'appréciation du potentiel des AF comme « moyens » efficaces de répondre aux grands défis et non comme objectif (idéologique) à poursuivre ;
 - les conditions nécessaires à l'expression de ce potentiel ou celles qui condamnent les AF les plus fragiles à la paupérisation et à la disparition.
- Nous sortons en France de l'AIAF avec une réinterprétation, au moins partielle, de quelques grandes questions :
- un retour en force des territoires, comme cadre et ancrage des systèmes agro-alimentaires. Il s'exprime par l'opposition ou l'équilibre entre le territorialisé et le mondialisé (cf. les déclarations de l'ARF et de l'ORU-FOGAR) ;
 - l'apparition, comme une question centrale, de l'emploi mondial et du marché international du travail, comme outil de la mobilité géographique et sectoriel, le fonctionnant, selon son état, soit

¹ Correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Chargé de la coordination de l'Année internationale de l'agriculture familiale.

comme un des moteurs principaux du développement, du progrès de la modernisation (le *Lewis path*)..., soit comme moteur de la dislocation sociétale, de l'exclusion et de l'insécurité planétaire. Face à ces risques macro-géographiques, la solidarité familiale est pour la très grande majorité des familles paysannes (au niveau mondial 70% des exploitations ont moins d'un hectare !) le seul, dernier et souvent bien fragile filet de sécurité. C'est dans ces situations extrêmes que s'expriment la cohésion sociale et la résilience ;

- la permanence des questions d'accès aux ressources naturelles et de leur bonne gestion, particulièrement à la terre, et l'évidence que les « Directives volontaires » ne suffisent pas, notamment pour servir de levier à la nécessaire « transition agro-écologique » et pour inciter à des efforts d'investissement et d'innovation. A noter un basculement de la question de la propriété foncière vers la sécurisation de son usage ;
 - la nécessité de politiques publiques, et pas seulement agricoles, fortes, incitatrices et protectrices. Avec la question, qui accompagne le dualisme établi ou naissant dans l'agriculture, de savoir s'il convient d'avoir un dualisme de politiques agricoles comme en Amérique latine ou au Maroc, ou de maintenir la volonté d'une politique unique ;
 - le besoin de nouvelles régulations internationales, notamment du côté de l'OMC. Comment dépasser le déni des valeurs sociales, environnementales, culturelles dans les négociations commerciales ? Comment identifier ces valeurs non marchandes, les reconnaître et les mesurer pour qu'elles puissent être prises en compte dans la négociation ?
- Mais, en conclusion, quelle attention et quelles actions pour les agricultures familiales après la fin de l'AIAF ?

MENACES, COHÉSION SOCIALE ET RÉGULATION

CONCLUSION

par Bertrand **Hervieu**¹

En conclusion soulignons d'abord l'extrême intérêt de voir se succéder trois orateurs, tous trois mobilisés et engagés sur le dossier de la sécurité alimentaire mondiale, et tous trois dans un horizon de moyen terme, avec un éclairage propre.

De ces analyses et propositions croisées, je retiens cinq points :

- le premier consiste à souligner que si nous sommes bien pris dans une course de vitesse, cette course de vitesse est gagnable, à condition d'agir simultanément sur plusieurs registres afin de sécuriser deux biens rares : la terre et l'eau ;
- le deuxième constat est celui du caractère structurel de la volatilité des prix sur un marché mondial ouvert qui impose d'inventer des mécanismes concertés de régulation et d'assurance pour sécuriser la production ainsi que de gérer des stocks. Ces politiques agricoles sont nécessaires aux échelles locales, nationales et régionales ;
- Une troisième remarque s'impose, celle de la rareté du travail dans un monde où 40% du travail est un travail agricole. Ce constat oblige à penser à moyen terme la modernisation de l'agriculture en maintenant l'emploi agricole ;
- Le quatrième élément à retenir est celui de la stagnation - voire de la baisse des rendements – à l'exception du maïs. L'innovation scientifique et technique est donc une nécessité absolue, sachant qu'en agriculture le progrès est toujours historiquement au croisement de l'innovation scientifique et technique appliquée à l'agriculture d'une part et de l'innovation sociale d'autre part ;
- le cinquième constat est celui d'une recomposition rapide et profonde des systèmes de production agricole dans le monde.

C'est autour d'une tripolarité des agricultures du monde qu'il faut penser les modes d'interventions : pôle des agricultures de firme, financiarisées et tournées vers les marchés mondiaux des « commodités », pôle des agricultures familiales modernisées et spécialisées, pôle des agricultures familiales pauvres et pourvoyeuses de travail et d'insertion sociale. Cette tripolarité donne à voir la tension qui s'exerce entre un système déjà mondialisé et des approches territorialisées.

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Inspecteur général de l'agriculture, Vice-président du CGAAER.
C.R.Acad. Agric. Fr., 2015, 101, n°1.

GESTION DE LA FLORE ADVENTICE EN GRANDE CULTURE ET RÉSISTANCE AUX HERBICIDES

INTRODUCTION

par Jean-Louis **Bernard**¹

Dans cette même salle, entre 1896 et 1900, nos prédécesseurs ont longuement débattu des moyens à proposer aux agriculteurs afin de soulager leurs cultures de la pression des adventices. A cette époque, leur prolifération était telle qu'elle entravait tout le potentiel de progrès que représentaient les premières variétés de céréales améliorées et les possibilités offertes par les fertilisants. C'est aussi dans cette salle qu'a été annoncée la mise au point d'une technique de désherbage prometteuse basée sur la pulvérisation printanière de sulfate de cuivre, suivie dix années plus tard de la méthode de désherbage par l'acide sulfurique mise au point par notre confrère Edmond **Rabaté**. Cette dernière méthode sera la plus utilisée en Europe de 1920 à 1940.

Le spectre d'action étroit, la phytotoxicité et les dangers objectifs pour l'applicateur que représentaient ces premières solutions ont conduit à la mise au point de nouveaux herbicides, introduits en céréaliculture dès 1946. Les premiers de ces produits nouveaux alors jugés révolutionnaires étaient les phytohormones, des substances actives dérivées des hormones végétales identifiées vers 1925. Par la suite, la découverte d'autres substances a permis d'étendre les possibilités du désherbage chimique à la plupart des espèces végétales cultivées. Néanmoins, l'emploi privilégié de certaines familles d'herbicides a révélé l'apparition de populations d'adventices résistantes (ex : chénopode blanc résistant aux triazines en maïsiculture) contre lesquelles les premières stratégies de lutte proposées reposaient, en particulier, sur l'alternance des familles d'herbicides et le faux-semis.

Entre 1990 et 2005, les substances herbicides considérées comme les plus susceptibles de contaminer les eaux de surface et les eaux souterraines ont fait l'objet de mesures de restriction ou d'interdiction, conduisant à de profonds bouleversements dans la palette des herbicides utilisables.

Depuis lors, les exploitants agricoles et leurs conseillers évoluent dans un monde nouveau où une économie de plus en plus ouverte croise les fortunes diverses de la recherche internationale, les normes et les nouveaux standards de l'homologation européenne, les mesures restrictives particulières décidées au plan national, le plan Ecophyto ou les communications variées au sujet de nouveaux systèmes de culture ou de moyens alternatifs... Ces transformations ne sont pas sans conséquences sur l'évolution des populations d'adventices résistantes, ainsi que nous allons le constater pour les céréales à paille.

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien Vice-Président de l'Association française de Protection des plantes.

RÉSISTANCES AUX HERBICIDES : MÉCANISMES, SÉLECTION ET SITUATION EN FRANCE

par Christophe Délye¹

Les adventices des cultures (« mauvaises herbes ») sont les bio-agresseurs les plus difficiles à maîtriser en agriculture. Pour ce faire, les herbicides sont l'outil le plus efficace et le plus facile d'emploi jamais inventé. Ils ont révolutionné l'organisation de l'agriculture après la Seconde Guerre mondiale en démultipliant la productivité de la main-d'œuvre agricole, et restent irremplaçables dans les systèmes productifs conventionnels. Cependant, leur emploi mal raisonné peut sélectionner rapidement des résistances chez les adventices visées. La résistance est le résultat inéluctable de l'adaptation des communautés d'adventices à la pression de sélection exercée par les herbicides : dès qu'on utilise un herbicide, on commence à sélectionner des résistances sur la base de mécanismes déjà présents en faibles fréquences dans les populations d'adventices. Cette sélection peut aboutir à la perte, généralement irrémédiable, de l'efficacité de l'herbicide sur une ou plusieurs espèces d'adventices. Actuellement, la multiplication des cas de résistance aux herbicides est une préoccupation majeure en agriculture.

La résistance possède deux aspects, eux-mêmes variés. La résistance liée à la cible (RLC) est due à la mutation de la cible de l'herbicide. Ce type de résistance monogénique ne concerne qu'un seul mode d'action herbicide. La résistance non liée à la cible (RNLC) est due à d'autres mécanismes (dégradation rapide de la substance active...). La RNLC est généralement polygénique et peut toucher simultanément des modes d'action différents. Elle est la face obscure de la résistance : c'est le type de résistance le plus préoccupant, mais aussi le plus mal connu, et son évolution dans les populations d'adventices est progressive et sournoise.

Un désherbage reposant exclusivement sur l'emploi récurrent des mêmes herbicides entraîne un risque maximal de résistance. Pour réduire ce risque, les maîtres-mots sont **diversité** et **efficacité**. Diversité s'entend au niveau des techniques de désherbage (combinaison de techniques non-chimiques et chimiques) et des herbicides (emploi de mélanges de modes d'action, alternance des modes d'action). L'efficacité du désherbage est un point-clef déterminant le type de résistance sélectionnée, une faible efficacité augmentant le risque de sélectionner une RNLC.

Cette présentation s'achève par un panorama des 14 espèces pour lesquelles une résistance à des herbicides a été actuellement confirmée et publiée en France. Ce panorama ne peut être que provisoire : depuis trois à quatre ans, un à deux nouveaux cas de résistance (nouvelle espèce et/ou nouveau mode d'action) sont caractérisés chaque année, montrant qu'en matière de désherbage, la prise en compte du risque de résistance dans une vision à moyen ou long terme du désherbage n'est pas encore suffisante.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) DELYE C., JASIENIUK M. et LE CORRE V., 2013. – Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics* **29**, 649-658.

¹ INRA, UMR1347 Agroécologie, Dijon. Courriel : delye@dijon.inra.fr

- (2) **DELYE C.**, 2013. – Unravelling the genetic bases of non-target-site based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Management Science* **69**, 176-187.
- (3) **DELYE C., DEULVOT C. et CHAUVEL B.**, 2013. – DNA analysis of herbarium specimens of the grass weed *Alopecurus myosuroides* reveals herbicide resistance pre-dated herbicides. *PLOS One* **8**, e75117.
- (4) **DELYE C.**, 2013. – Adventices : tour d'horizon des résistances. *Phytoma*, **669**, 24-29.

HERBICIDES ET STRATÉGIES ANTI RÉSISTANCE

par Jacques **Gasquez**¹

Par opposition aux techniques de destruction mécanique brutale des adventices, les herbicides interfèrent avec le métabolisme des plantes et donc peuvent révéler des variabilités anatomiques ou physiologiques entre les plantes selon qu'elles seront plus ou moins facilement détruites². Inéluctablement cela aura pour conséquence de sélectionner des résistants mais leurs fréquences et leur abondance dépendront beaucoup des contextes de l'agriculture.

Aujourd'hui, la politique agricole européenne en vigueur prône une réduction de l'usage des produits phytosanitaires selon les principes de la protection intégrée, toutefois la traduction de cette tendance lourde sera plus ou moins drastique selon le contexte sociétal de chaque pays. La réduction va porter à la fois sur le nombre des molécules disponibles, sur le nombre de traitements, les périodes et les contextes d'utilisation et enfin sur les doses maximales appliquées. Au cadre européen qui régit les molécules disponibles et les grands principes de leur mise en œuvre, cadre déjà plus contraint que dans d'autres grandes régions développées (États-Unis, Canada, Australie, Nouvelle-Zélande), s'ajoute un contexte législatif français de réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques qui renforce la propension de l'agriculteur à limiter ses coûts en réduisant et les traitements et les doses du produit considéré comme le meilleur correspondant aux standards européens de protection de l'applicateur et de l'environnement.

Tous ces éléments renforcent la tendance naturelle à simplifier et standardiser toutes les étapes du système de culture, depuis le choix de la rotation jusqu'au choix des herbicides. Or la conjonction de tous ces comportements réunit toutes les conditions pour une sélection rapide de nouvelles résistances qui tendent à rendre tout herbicide prématurément obsolète.

De plus, parmi les molécules encore disponibles, le nombre de celles qui ont une efficacité suffisante et un spectre assez large pour permettre un désherbage effectif en un seul passage est finalement réduit. En outre, ce sont quasi-exclusivement des inhibiteurs de l'ALS (substances herbicides agissant sur l'inhibition de l'acétolactate synthase, communément appelées sulfonilurées, du nom de la famille chimique la plus utilisée).

¹ Directeur de recherche honoraire de l'INRA Dijon jacques.gasquez@laposte.net

² Les techniques mécaniques connaissent aussi des « contournements » de leur efficacité, Il ne s'agit pas de contournement par la sélection au sein de l'espèce d'adventice mais entre espèces. Les plantes vivaces et la folle avoine par exemple ont été historiquement favorisées par le désherbage mécanique y compris le labour, les graminées sont favorisées par la herse étrille. Pour le désherbage mécanique comme pour les herbicides, on observe une « fuite en avant » avec des adventices qui échappent au mode de contrôle. Cette « fuite en avant » se fait entre espèces ou au sein de l'espèce pour le désherbage chimique mais presque exclusivement entre espèces pour le désherbage mécanique.

Des molécules plus anciennes comme les urées substituées, qui restent une bonne alternative, voient leur usage limité et sont régulièrement menacées de disparaître, ce qui renforcerait encore la prééminence des inhibiteurs de l'ALS. Or, il est bien établi que l'utilisation du même produit, à l'exclusion de tout autre, favorise la sélection de génotypes résistants, et ce d'autant plus que les doses sont réduites. Ainsi, devoir faire reposer la part la plus importante du désherbage, et notamment la résolution des nouveaux problèmes de résistance sur les seuls inhibiteurs de l'ALS, est très susceptible d'augmenter le nombre et l'importance de nouvelles espèces résistantes à ce groupe. Il existe donc un risque important de disqualifier définitivement ce mode d'action.

D'autre part, il est à craindre que l'exigence de réduction des quantités appliquées et en particulier la réduction de l'indice de fréquence de traitement (IFT) conduisent à rechercher « Le » produit commercial efficace, multi-usages, appliqué en un seul traitement quelle que soit la diversité des adventices et leurs stades. Cela conduit à accepter intuitivement une baisse de la qualité du désherbage ainsi qu'une dérive redoutable du stock semencier des adventices et *in fine* des réductions de rendement.

En principe, une bonne stratégie préventive des résistances peut être fondée sur des associations, mais encore faut-il que les molécules associées aient des modes d'action différents, soient également et suffisamment efficaces sur la ou les espèce(s) visée(s) et que les doses recommandées soient respectées. Malheureusement, le recours à une association est généralement postérieur à la confirmation de la résistance et se limite souvent à l'adjonction d'un autre mode d'action à la molécule responsable de la sélection tout en réduisant les doses pour éviter des surcoûts. Cela continue de sélectionner la résistance établie et en même temps risque de sélectionner des résistances à la nouvelle matière active, conduisant alors à des plantes résistantes aux deux modes d'action.

Par ailleurs, l'augmentation du coût de la découverte d'une nouvelle molécule et de son homologation, et la généralisation mondiale depuis près de 20 ans de cultures résistantes à certains herbicides ont fait évoluer les stratégies de recherche des firmes, conduisant à une baisse significative de l'apparition de nouveaux herbicides. Par voie de conséquence, cette tendance pénalise particulièrement les pays qui refusent d'avoir recours à ces variétés de cultures.

Plutôt qu'être uniquement focalisée sur une baisse systématique, quantitative et arbitraire, une réduction réussie devrait donc se fonder sur l'encadrement d'un usage intégré, par exemple par une limitation sur un pas de temps qui dépasse le cycle d'une culture, afin d'éviter les effets induits d'une réduction aveugle du nombre de produits, de traitements ainsi que des doses appliquées.

CONSEIL DE TERRAIN ET ALTERNATIVES PRATIQUES AUX PHÉNOMÈNES DE RÉSISTANCE AUX HERBICIDES

par Marc Delattre¹

Pour plus de 65 % des exploitations agricoles françaises en grandes cultures, le conseiller de la coopérative est la première source d'informations techniques. C'est une grosse responsabilité dans le cadre de sujets difficiles comme celui de la gestion des résistances aux herbicides.

Ces conseils sont encadrés par l'agrément des distributeurs de produits phytosanitaires qui est obligatoire pour tous les distributeurs français depuis octobre 2013.

Les principaux leviers pour prévenir et gérer la résistance sont :

¹ Dijon céréales. Courriel : marc.delattre@dijon-cereales.fr

- les leviers agronomiques avant le semis,
- l'alternance des modes d'action des herbicides,
- le désherbage mécanique.

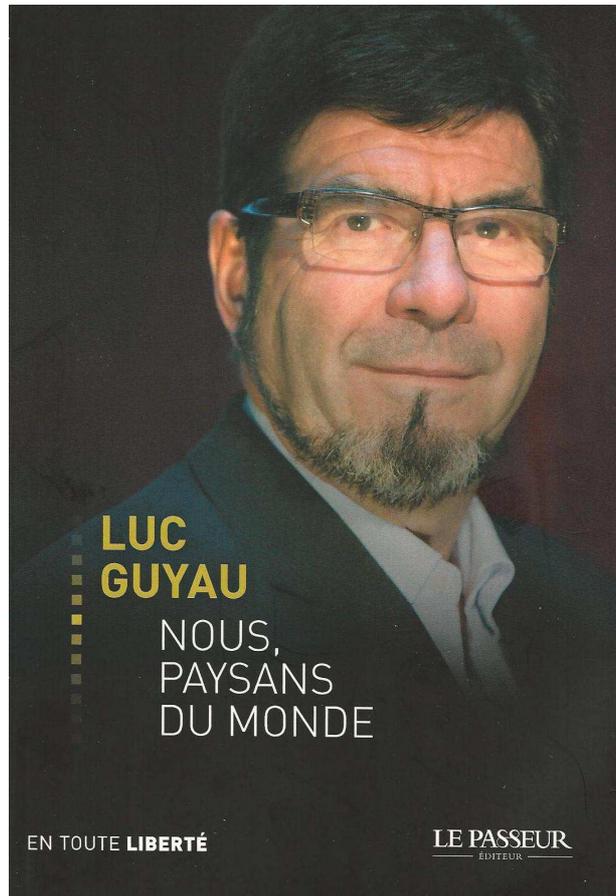
Après description de ces différents leviers, la présentation met en avant un dispositif pluriannuel composé de 5 systèmes de culture dont les principes sont repris année après année. Le dispositif montre l'intérêt des programmes de désherbage « automne puis printemps » utilisant des modes d'action différents, celui du labour et les limites économiques du décalage de la date de semis.

L'objectif du technicien de la coopérative sera, dans son conseil, de faire la part des choses avec son adhérent entre l'efficacité des différents leviers et les contraintes liées à leur application.

Toutefois, la majorité des agriculteurs ont une prise de conscience bien trop tardive vis-à-vis de la résistance et diffèrent trop l'adoption précoce de solutions palliatives.

NOUS, PAYSANS DU MONDE

par Luc Guyau¹



Pierre-Henri Texier². – Luc Guyau, Vice-Président de l'Académie d'Agriculture vient de publier aux éditions Le Passeur : « Nous, Paysans du Monde ». Le livre se présente sous forme d'un dictionnaire, allant de A comme Agriculture à Z comme Zinc "avion en bon français". Toutes les lettres sont représentées.

Si l'on veut donner un petit aperçu :

C nous conduit à coulisses syndicales, (il y relate son expérience comme Président successivement des Jeunes Agriculteurs et de la FNSEA).

F comme FAO dont il fut président un mandat. Cherchez alors son deuxième mandat dans cette institution... C'est à....

R comme rebelote (et dix de der!)

V – facile à deviner – pour vache folle

W pour Banque mondiale

¹ Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien Président de la FNSEA et de l'APCA, ancien Président du Conseil de la FAO, Co-fondateur de TerrEthique et de ECFM, ancien Vice-Président du CESE.

² Vice-Secrétaire de l'Académie d'agriculture de France, Ingénieur général honoraire des Ponts, des Eaux et des Forêts, Administrateur de FARM et de l'ECFM.

et.... l'avant dernier paragraphe Y : "Y-a plus qu'à "qui est la conclusion de dizaines d'années passées au service de l'agriculture tant française que mondiale.

A lire et à relire.

RETOUR DES PENURIES ALIMENTAIRES : UN NOUVEAU DÉFI : NOURRIR 9,5 MILLIARDS DE PERSONNES EN 2050¹

par André Neveu²

(Cet ouvrage a été préfacé par notre confrère Guy Paillotin. Sa direction de publication a été assurée par notre confrère Christian Ferault, à la tête d'une nouvelle collection aux éditions France Agricole)

Jean-Paul Charvet³. – Dans le prolongement de la publication aux éditions Autrement, en 2012, d'un livre intitulé : « Agriculture mondiale : un désastre annoncé » André Neveu reprend dans le présent ouvrage, en l'élargissant et en lui apportant de nouveaux éléments, une réflexion entamée de longue date. Il s'appuie entre autres sur les résultats de travaux conduits par plusieurs confrères de notre Académie, en les citant sous la forme de petits encadrés bienvenus.

Le plan retenu se suit aisément : partant des constatations que « la production agricole sera sans doute insuffisante » et que « de nouveaux facteurs de changement » (d'ordre climatique, économique, politique ...) vont l'impacter, l'auteur souligne également que « les prix agricoles sont (désormais) dans la tourmente » (le marché pose plus de problèmes qu'il n'en résout ...). Dans ce contexte, faut-il repenser complètement les politiques agricoles ? André Neveu ne se contente pas de répondre par l'affirmative : il propose également tout un ensemble de mesures susceptibles d'être mises en œuvre.

Afin de souligner le fait que la production agricole éprouvera de plus en plus de difficultés pour répondre à la demande alimentaire, il s'appuie sur les statistiques les plus récentes qui montrent que le ralentissement de la croissance démographique s'effectue à un rythme plus lent que prévu (9,5 milliards de Terriens en 2050, plutôt que 9 milliards) et que la croissance urbaine progresse plus rapidement que prévu, surtout dans les pays en développement. Comment va-t-on pouvoir faire face en particulier à l'envolée des besoins alimentaires de métropoles urbaines gagnées par le gigantisme dans un contexte où des inégalités croissantes se manifestent entre pays et catégories sociales?

André Neveu souligne ensuite que la progression des rendements de certaines cultures, dont celle du blé en Europe occidentale, semblent avoir atteint un palier depuis au moins une décennie et que dans le monde « les surfaces cultivables ne sont pas infinies » alors que « leur fertilité est souvent précaire ». Le tableau de la page 34 résume son argumentation. Pour lui les projections de la prospective « Agrimonde » (cf. le scénario « Agrimonde 1 », *d'ailleurs en cours de réévaluation*) sont trop optimistes et ne prennent pas assez en compte les terres qui chaque année doivent être abandonnées, car fortement dégradées. Il nous dit en outre que si l'apport des terres irriguées est essentiel (on y réalise 40% de la production agricole mondiale), l'épuisement des ressources en eau dans différentes régions du monde (en particulier en Inde) fait que dans les décennies à venir l'indispensable progression des rendements par hectare viendra d'abord des *agricultures pluviales*.

On arrive là au cœur de la démonstration d'André Neveu : si les progressions de rendement par hectare parviennent à se poursuivre dans les décennies à venir à des rythmes comparables à ceux enregistrés dans la seconde moitié du 20^e siècle, le pari alimentaire mondial pourrait être gagné. Toutefois de

¹ Éditions France agricole, 2014, 125 pages.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien adjoint au Directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la Caisse nationale de Crédit Agricole.

³ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Professeur émérite de géographie agricole et rurale de l'Université de Paris Ouest-Nanterre La Défense.

nombreuses constatations faites dans bien des pays et sur différentes cultures ne vont pas dans l'immédiat dans ce sens ...

La situation alimentaire mondiale risque d'autant plus de devenir tendue que de nouvelles incertitudes vont marquer les décennies à venir : celle du changement climatique (dont la géographie demeure d'ailleurs encore insuffisamment connue), celle des niveaux de préservation de l'environnement qui pourront être mis en place, celle de la poursuite de la pénétration du système capitaliste en agriculture sous la forme de fonds d'investissement privés ou « souverains » (thème qu'André Neveu a remarquablement analysé dans le livre qu'il a publié en 2012 aux éditions Autrement) ou encore celles liées aux désordres politiques qui affectent différentes régions de la planète ... Tout ceci dans un contexte global où la volatilité des prix des « commodités » agricoles a pris une ampleur considérable, en particulier en raison des relations de plus en plus étroites qui se sont tissées entre prix des produits agricoles, prix des produits énergétiques et prix des produits financiers.

La dernière partie du livre (pp. 89 et suivantes) aborde la question des nouvelles politiques agricoles qu'il conviendrait de mettre en place afin de soutenir de façon équilibrée l'indispensable accroissement de la production alimentaire mondiale. Il m'est difficile de présenter ici de façon détaillée, faute de place, l'ensemble des mesures proposées par l'auteur. Elles vont de la nécessaire reconnaissance de la *souveraineté alimentaire* par les organisations internationales (comment faire échapper le droit et l'accès à l'alimentation à la pression du libre-échange ?) à la mise en place de *politiques foncières* protégeant les petits agriculteurs, en particulier contre le « *land grabbing* », en passant par les *investissements tout à fait considérables* (entre 200 et 300 milliards d'euros ...) qu'il conviendrait de programmer pour développer et intensifier la production agricole tout en mettant en place de nouveaux systèmes de financement destinés à la petite paysannerie.

Comme à propos de tout ouvrage le lecteur ne manque pas d'avoir quelques regrets : l'analyse des relations entre productions vivrières et cultures d'exportation (pp.100 et suivantes) pourrait être davantage développée, le rôle des biotechnologies et en particulier des PGM (Plantes génétiquement modifiées) dans l'accroissement des rendements et la gestion de l'environnement aurait mérité des analyses spécifiques (par exemple une évaluation de leur degré de compatibilité avec l'agriculture durable et l'agro-écologie) et les excellents passages présentant des exemples très concrets tels ceux concernant l'Argentine (pp. 100-101) ou le Cambodge (p.107) auraient gagné à être plus nombreux.

Ceci étant dit André Neveu a réussi à présenter sous un volume limité (125 pages) une synthèse remarquable des enjeux qui sont ceux de l'agriculture de demain, synthèse d'autant plus utile que comme l'indique notre confrère Guy Paillotin dans la préface : « La marge de manœuvre dont nous disposons pour l'avenir se révèle bien étroite ». Au total, un livre très riche, de lecture aisée, et qui apporte de nombreux éléments de réflexion au débat portant sur la nécessaire réécriture des politiques agricoles.

V.A. : CHARLES XIV JEAN, FONDATEUR DE LA SUÈDE MODERNE¹

Jean-Marc Boussard². – Charles XIV de Suède est plus connu en France sous le nom de Jean-Baptiste Bernadotte, né à Pau en 1763, général de Napoléon, et maréchal d'Empire. Il fut élu prince héritier de Suède en 1810, puis roi de Suède à partir de 1818, et jusqu'à sa mort en 1844. Ce petit livre est le compte rendu d'un colloque tenu en janvier 2013 à Stockholm sur le thème « Charles XIV Jean, fondateur de la Suède moderne ».

Dans les manuels scolaires français (du moins, ceux que je lisais dans ma jeunesse !) Bernadotte est souvent présenté comme un traître : chargé de la Suède par Napoléon, il n'aurait pas hésité, en participant à la coalition de 1814-1815, à se tourner contre la France pour conserver sa place. La réalité est bien plus complexe (et plus intéressante !) que cela. En fait, Bernadotte était un personnage hors du commun, à la fois génie politique et homme de bien, qui mériterait certainement que nos compatriotes s'y intéressent de plus près.

¹ Publié par La Société des Amis du Musée Bernadotte, Stockholm, 2014, 72 p.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

Loin d'avoir été un inconditionnel, ni même un flatteur de l'Empereur, il était même presque un opposant, très réticent à prolonger les aventures militaires en Europe. On peut même se demander si Napoléon ne l'a pas laissé s'installer en Suède pour s'en débarrasser : car son opposition posait un problème dynastique, puisque Bernadotte, par alliance, faisait partie de la famille Bonaparte, beau-frère de Joseph Bonaparte, et époux d'une femme qui avait été fiancée à Napoléon lorsque celui-ci était sous-lieutenant d'artillerie. Puisque les Suédois voulaient de lui, autant valait le laisser partir, plutôt que d'être obligé peut-être dans quelques années de monter un procès contre lui, ce qui aurait pu faire désordre...

Or si Bernadotte a trahi quelqu'un, ce fut peut-être bien plutôt le parti suédois qui était venu le chercher : car l'idée de le prendre comme prince héritier du roi Charles XIII venait de gens qui voulaient en découdre avec les Russes pour reprendre la Finlande, que ces derniers avaient arrachée à la Suède en 1809. Pour cela, mettre sur le trône un français de la famille de Napoléon semblait une bonne idée, d'autant que chacun voyait que l'Empereur brûlait d'envie de régler son compte au Tsar. Malheureusement pour les frustrés de la Finlande, Bernadotte était bien conscient qu'attaquer la Russie était suicidaire. C'est pourquoi il s'attacha à maintenir *de facto* la neutralité de la Suède (même si quelques suédois participèrent aux opérations de 1814-1815 au côté des alliés). Par la suite, encouragé par le succès de cette politique, il devint l'inspirateur et le théoricien des politiques étrangères suédoises fondées jusqu'à aujourd'hui sur la non-belligérance.

C'est donc d'abord comme un homme de paix – il aurait sans doute mérité le prix Nobel de la Paix si celui-ci avait existé à l'époque – qu'il est célébré en Suède. Mais son œuvre ne se limite pas à ce type d'action : il fut aussi l'inspirateur d'une politique de développement économique dont les effets se font encore sentir aujourd'hui, faisant de ce pays l'un des plus riches du monde. Et cette politique ne consista pas à favoriser inconsidérément les grandes entreprises et les grosses fortunes, mais bien plutôt à encourager les redistributions permettant ainsi d'utiliser au mieux les talents répartis dans toute la population.

C'est dans cet esprit qu'il prit à cœur de faire installer à Stockholm, sur le modèle de celle qui existait à Paris, une « Académie royale des sciences agricoles et forestières », considérée comme l'un des instruments d'une telle politique. C'est pour cela qu'il mérite en tout cas d'être célébré par l'Académie d'agriculture de France. Et c'est ce qui justifie la recension ici de ce petit ouvrage, consacré à la vie et à l'œuvre de ce grand homme, édité par des Suédois qui ont tenu à le publier en français (en souvenir peut-être du fait que ce roi de Suède n'a jamais parlé le suédois). La rédaction du chapitre consacré à son influence sur le développement de l'agriculture a du reste été confiée à Marten Carlsson, un membre suédois de l'Académie d'agriculture de France. Les autres chapitres – sur la neutralité suédoise, par Dick Harrisson, sur la santé publique par Thomas Ihre, sur les organisations féminines par Carin Bergströmsur, etc. – détaillent et éclairent les remarques précédentes.

On voit ainsi se dérouler l'édification d'un ensemble de politiques dans une grande variété de domaines, politiques qui perdurent encore aujourd'hui, et qui font du pays l'un des plus développés du monde. Peut-être *mutatis mutandis* pourrions-nous encore nous inspirer de cette démarche, et cela, non seulement pour notre pays, mais pour l'humanité tout entière.

PRODUITS DE PROTECTION DES PLANTES¹

Innovation et sécurité pour une agriculture durable

de Catherine **Regnault-Roger**²

Gil Kressmann³. – **Pour sortir des fantasmes idéologiques.**

Avec l'essor de la mécanisation, de la génétique industrielle et la généralisation des engrais issus de la chimie de synthèse, la protection des plantes a été l'un des principaux moteurs de la deuxième révolution agricole qui a pris naissance au milieu du 20^e siècle. Souvent décriée aujourd'hui, elle s'est traduite par un développement spectaculaire de la productivité de l'agriculture, notamment dans les pays en développement où elle a pris le nom de Révolution verte. À une époque où on a tendance de plus en plus à sous-estimer l'importance de la protection des plantes pour assurer la sécurité alimentaire, le livre de Catherine Regnault-Roger arrive à point nommé.

Un panorama très complet des démarches mises en oeuvre

L'auteur retrace, dans une perspective historique, le contexte du développement de la protection phytosanitaire des plantes. Il nous fait prendre conscience du chemin parcouru ces 50 dernières années pour nous doter d'une agriculture toujours plus performante capable de nourrir sainement les animaux et une population de consommateurs en forte croissance.

« *Toutefois des dérives de certaines pratiques agricoles vont s'accompagner de conséquences environnementales négatives et notamment l'emploi trop soutenu de pesticides et d'engrais chimiques* ».

La protection des plantes constitue ainsi un des enjeux majeurs d'une agriculture plus durable. Limiter les pertes liées aux bio-agresseurs des cultures et des récoltes est indispensable pour assurer la sécurité alimentaire de neuf milliards d'humains à l'horizon 2050. Mais cela doit être fait dans le plus grand respect de l'environnement et avec le souci de préserver le revenu des agriculteurs. Cette dimension économique de la protection des cultures aurait pu être avantageusement développée dans cet ouvrage car, si les agriculteurs ne trouvent plus de rentabilité suffisante dans l'exercice de leur métier, ils ne l'exerceront plus.

Ce livre nous trace un panorama très complet des démarches mises en oeuvre pour penser autrement l'utilisation des pesticides et la réduire : agriculture raisonnée, protection intégrée, bonnes pratiques phytopharmaceutiques, méthodes alternatives reposant sur la lutte biologique par micro ou macro-organismes, approche sémi-chimique⁴ à partir des phéromones et d'extraits botaniques ainsi que la stimulation des défenses naturelles des plantes. L'ouvrage expose également les atouts des semences biotechnologiques pour lutter contre les insectes ou les virus et améliorer la qualité sanitaire des récoltes, atouts encore non reconnus par de nombreux pays malgré leur développement spectaculaire dans le monde. L'auteur n'omet pas non plus de présenter les produits de bio-contrôle qui font aussi l'objet de gros investissements de la part de l'industrie chimique.

Quelle méthode alternative privilégier ?

« *Une des leçons que l'on déduit de plus de cinquante années de lutte phytosanitaire est la nécessité d'avoir un large éventail de technologies afin de répondre à la variété des conditions de terrain et à l'hétérogénéité du développement de l'agriculture dans les différents pays, notamment ceux en développement* ». Ainsi, il ne faut ignorer ou mettre à l'écart aucune de ces technologies. Pour cultiver

¹ Éditions Lavoisier. Janvier 2014. 354 pages. 65 euros.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, Professeure des Universités émérite, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

³ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Directeur gérant de Syntonie Communication.

⁴ Ce terme qualifie une substance chimique émise par une plante ou un animal dans l'environnement et qui a valeur de signal entre les êtres.

autrement, l'agriculteur aura besoin d'évaluer les bénéfices et les risques de chaque démarche de protection des plantes, « *hors de tout fantasme idéologique* ». Il faudra aussi réaffirmer avec force le droit à l'expérimentation afin que progresse la connaissance scientifique.

Avec cet ouvrage très complet, Catherine Regnault-Roger nous propose un véritable guide juridique et pratique de la protection des plantes.

**VULNÉRABILITÉ ET CAPACITÉ D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
DE DEUX SYSTÈMES VITICOLES MÉDITERRANEENS
UN CAS D'ÉTUDE COMPARATIF FRANCE (ROUSSILLON) – AUSTRALIE (MCLAREN
VALE)**

par Anne-Laure **Lereboullet**¹

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 et 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 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 quand 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

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, Membre du Conseil scientifique de la ville d'Ivry-sur-Seine.

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.

LE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE PAR LE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DU SOL

par Eva **Rabot**¹

Jean-Claude Germon². – Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les sols constituent l'une des principales contributions de l'agriculture à l'accentuation de l'effet de serre. Ces émissions directement dépendantes de l'accélération planétaire du cycle de l'azote sont principalement dues à l'activité dénitrifiante des sols, activité microbiologique sous contrôle des facteurs physiques qui règlent à la fois son intensité et les transferts de gaz avec l'atmosphère. Différents travaux ont mis en évidence le rôle déterminant de l'humidité du sol sur ces émissions, formalisé par une relation entre leur intensité et le taux de saturation de la porosité par l'eau. Le caractère exponentiel de cette fonction traduit la grande sensibilité de ces émissions aux variations d'humidité, tandis que les marges d'incertitudes déterminées expérimentalement soulignent la nécessité d'une analyse plus fine des mécanismes sous-jacents aux variations d'humidité. D'où l'intérêt de cette thèse qui vise à analyser les effets du fonctionnement hydrique des sols sur la dynamique et l'intensité de ces émissions de N₂O.

L'originalité de cette thèse très bien construite sur un important travail expérimental repose d'une part sur l'association d'une méthodologie maîtrisée des caractéristiques du fonctionnement hydrique des sols, avec la mise au point d'outils spécifiques en cours de thèse, couplée aux mesures d'émissions de gaz, et d'autre part sur une démarche de modélisation visant à compléter un modèle existant de prévision des émissions par le sol.

La thèse est structurée en 4 articles qui permettent de passer d'observations d'émissions sur des échantillons de sols non remaniés à des dispositifs artificialisés entraînant des observations en conditions contrôlées débouchant sur une démarche de modélisation permettant d'intégrer des paramètres liés à la physique des transferts de liquides et des gaz. Cette démarche permet notamment de dissocier les émissions dues à des dynamiques de production à celles liées à des phénomènes de stockage-libération de gaz en lien avec les phénomènes de stockage et de transfert d'eau.

¹ Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans soutenue le 30 octobre 2014. Discipline : Science du sol.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, [directeur de recherche honoraire de l'INRA](#).

Ce travail est par ailleurs très bien valorisé : deux des articles intégrés à la thèse ont paru dans des revues internationales de grande qualité, un autre est actuellement soumis, tandis que la méthodologie a fait l'objet d'un article spécifique dans une revue technique et devrait de ce fait faire référence.

En conclusion l'approche développée permet effectivement une meilleure appréhension du rôle régulateur du fonctionnement hydrique du sol qui sera utile à la mise au point des outils de prévision des émissions de N₂O et peut contribuer aussi à mieux comprendre et tenter de maîtriser les mécanismes permettant de les limiter.

La très bonne qualité scientifique de ce travail, ciblé sur la mise au point d'outils permettant de répondre à une question environnementale réelle et prégnante, justifie la proposition d'attribution d'une médaille d'argent à son auteure par l'Académie d'agriculture.

ÉVOLUTION DES PRATIQUES DES PAYSAGISTES FACE AUX ENJEUX ÉCOLOGIQUES DE LA CONCEPTION URBAINE¹

Rapport sur la thèse d'Anaïs Léger-Smith

Pierre Donadieu². – Cette thèse pionnière dans son domaine (les sciences du paysagisme) éclaire les pratiques actuelles des concepteurs paysagistes, très peu connues. Elle rassemble des résultats nouveaux sur le sujet complexe des relations d'une profession émergente avec les maîtres d'ouvrage publics et les injonctions politiques environmentalistes.

On sait notamment grâce à cette recherche après enquête auprès des divers paysagistes formés à l'ENSP de Versailles, que les pratiques des plus anciens ont été longtemps peu sensibles (en général) aux injonctions environnementales (contrairement à celles des plus jeunes) ; ils font aujourd'hui ce que la maîtrise d'ouvrage leur demande de faire, tout en interprétant la commande « à leur guise. ».

La première partie est une synthèse ambitieuse de l'histoire des relations entre les sciences écologiques et les architectes paysagistes, une histoire complexe qui n'a pas encore été faite et qui est ainsi esquissée.

Dans le deuxième chapitre de cette partie, le statut du *landscape urbanism* anglo-américain est analysé avec une mise au point très convaincante sur la nature des discours professionnels. Anaïs Léger-Smith aurait pu approfondir plus le contenu écologique de ces discours (à base d'écologie fonctionnelle du paysage chez les Anglo-américains, de McHarg à Odum et Forman, de biogéographie et de phytoécologie chez les Français de Ozenda à Montégut).

La deuxième partie analyse la commande publique à caractère écologique (écoquartiers) où les paysagistes concepteurs sont en principe sollicités. Cette partie courte mais bien documentée et rigoureuse est remarquable. Elle précise le contenu écologique des pratiques et elle apporte une connaissance des marchés publics très originale et utile pour la profession, son développement et sa reconnaissance. Elle a fait l'objet d'une publication dans la revue *Landscape and urban planning*.

Dans la dernière partie, très illustrée, consacrée aux pratiques émergentes de conception écologique des projets en France et en Grande-Bretagne, j'ai apprécié la mise en évidence du rôle majeur des paysagistes dans le domaine de l'eau où l'écologisation des pratiques est manifeste parce que l'eau détermine les caractères de la végétation, de la biodiversité et du sol.

¹ Agrocampus ouest, Centre d'Angers, juin 2014, Discipline : Aménagement de l'espace, urbanisme.

Jury : Walid Oueslati et Hervé Davodeau directeurs, Emélianoff, Donadieu, Sgard, Mangin.

² Correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Professeur émérite de l'ENSP de Versailles-Marseille.

Je pense également que la biodiversification de l'espace vert est un phénomène innovant par rapport aux années 1960-70, mais pas aux années 1990 où la prise de conscience est déjà enclenchée (plus d'ailleurs chez les gestionnaires que chez les concepteurs). Il serait préférable, pour affirmer qu'il n'y pas eu d'innovation chez les paysagistes, d'indiquer le cadrage historique de l'analyse.

Cette thèse originale et pionnière mérite d'être présentée pour une attribution éventuelle de médaille.

PAYSANNERIES AMÈRES AU BERCEAU DE L'OR BRUN : DÉVELOPPEMENT CAFÉIER ET DISLOCATION DES SOCIÉTÉS PAYSANNES DU SUD-OUEST ÉTHIOPIEN

par Samir El Ouaamari¹

Jean-Paul Charvet². – La thèse de Monsieur Samir El Ouaamari est une thèse de géographie humaine, économique et régionale d'agriculture comparée réalisée sous le double sceau d'AgroParisTech et de l'Université de Paris Ouest – Nanterre – La Défense.

Elle a pour titre : « Paysanneries amères au berceau de l'or brun : développement caféier et dislocation des sociétés paysannes du sud-ouest éthiopien ». Elle a été soutenue le 20 décembre 2013 à l'Université de Paris-Ouest, devant un jury de sept membres aux compétences complémentaires et tout à fait reconnues.

Il s'agit d'un gros travail de 634 pages comportant en outre une centaine de pages d'annexes. Il est fondé sur de très nombreuses enquêtes de terrain réalisées dans des milieux d'accès difficile et peu connus jusque-là. La très grande précision de ces analyses de terrain n'empêche pas que le texte demeure toujours de lecture aisée. Le déroulement général de l'ouvrage, construit avec logique et rigueur, en facilite également la lecture.

La problématique de base de la thèse est très clairement exposée au départ : quelles sont les raisons de la coexistence de systèmes agraires très différents – faisant à la production de café des places très différentes – dans deux sous-régions voisines des hautes terres du sud-ouest éthiopien qui bénéficient de conditions bioclimatiques très comparables et qui constituent l'aire d'origine de l'espèce *Coffea arabica* (espèce qui y pousse encore de façon plus ou moins spontanée) ?

Dans une première partie l'auteur expose ses hypothèses de recherche. Faut-il voir dans les différences observées dans les paysages et les systèmes agraires les effets de décalages historiques d'évolutions ? Faut-il y voir les conséquences de conditions économiques et sociales différentes ? Une combinaison des deux ? On retrouve donc pleinement dans cette thèse une démarche d'agriculture comparée « classique ».

Dans la seconde partie qui est la plus développée et qui constitue le cœur de l'ouvrage, les deux systèmes agraires sont analysés de façon minutieuse et critique à partir de très nombreuses enquêtes de terrain conduites entre 2007 et 2010. Il apparaît que les priorités des agriculteurs et celles de l'État ne sont pas les mêmes : les premiers placent leur priorité dans la satisfaction de leurs besoins alimentaires ; le second dans le développement de cultures commerciales pourvoyeuses de devises. Il en résulte des évolutions différenciées concernant la place du café dans les exploitations agricoles, évolutions accompagnées d'une marginalisation de la partie la plus pauvre de la paysannerie locale. Dans le système dual de production et de commercialisation qui s'est mis en place les paysans aisés non seulement produisent plus, mais aussi vendent de façon plus avantageuse.

¹ Thèse de doctorat en Géographie soutenue en 2013 à Paris 10.

² Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur émérite de géographie agricole et rurale de l'Université de Paris Ouest-Nanterre-La Défense.

La troisième partie est plus courte et aborde les relations au global. On pourrait souhaiter davantage d'informations et d'analyses, en particulier sur le marché mondial du café et sur les principaux concurrents des cafés éthiopiens sur ce marché. Ceci n'empêche pas que plusieurs questions majeures soient abordées et donnent lieu à des évaluations très intéressantes. Concernant les dispositifs de certification et de labellisation (« équitable », « de forêt », « sauvage ») qui permettent une meilleure valorisation du café, il apparaît qu'elles sont bien davantage établies en fonction des préoccupations « écologiques » des consommateurs des pays riches que des besoins effectifs des petits paysans : l'auteur montre que la gestion et les utilisations paysannes multifonctionnelles de la forêt maintiennent bien mieux la biodiversité que les plantations caféières commerciales, pourtant éco-certifiées, développées sur les concessions forestières accordées à des investisseurs locaux ou étrangers par les autorités éthiopiennes. Concernant la question des « biens communs », il montre comment, de façon paradoxale, les aires qui relèvent de ce statut foncier sont celles où pénètre de façon privilégiée l'accapement des terres au détriment des paysanneries locales et où s'installent de vastes exploitations caféières à salariés...

Ces quelques notations rapides sont très loin d'épuiser l'ampleur des apports du travail scientifique de grande qualité effectué par Monsieur Samir El Ouaamari. Le géographe qui a rédigé ces quelques lignes aurait souhaité un peu plus de cartes (en particulier des cartes de densité de population), mais il a été très sensible à des illustrations nombreuses et très précises sous forme de blocs diagrammes de terroirs, de calendriers agricoles, de photographies (à commenter peut-être un peu plus) et de trajectoires historiques contextualisées d'exploitations agricoles qui constituent autant de remarquables synthèses. L'auteur se révèle aussi à l'aise dans ses analyses très fines de terrain que dans les synthèses globalisantes qu'il en tire.

Au total, **ce travail de thèse m'apparaît tout à fait remarquable et digne d'être distingué par notre Académie.** (une aide financière à publication serait la bienvenue).

Lors de sa soutenance en décembre 2013, son auteur a d'ailleurs obtenu le titre de docteur avec la mention la plus élevée : très honorable avec les félicitations du jury.

DE LA STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES, À L'EXPRESSION DES ACTIVITÉS ENZYMATIQUES DANS LES SOLS SOUMIS A DIFFÉRENTES CONTRAINTES AGRONOMIQUES

par Wassila **Riah-Anglet**¹

Jean-Claude Germon². – Cette thèse est un travail propre, construit sur une question difficile à traiter : la caractérisation du lien entre la structure de la communauté microbienne du sol et l'expression de son activité. Les objectifs visés sont clairement identifiés, la démarche scientifique est structurée, et la méthodologie expérimentale est clairement présentée, s'appuyant sur un panel d'outils récents et actuellement disponibles.

Les résultats confirment un ensemble d'observations connues ou fortement pressenties, à savoir une plus grande diversité bactérienne et une plus grande capacité catabolique potentielle de la microflore d'un sol de prairie permanente comparée à celle d'un sol cultivé en permanence. Les données obtenues illustrent à la fois les perturbations induites par des modes d'exploitation culturale contrastés et la variabilité des réponses en fonction des indicateurs choisis pour les caractériser.

La conclusion du travail est en accord avec l'ampleur de la question initialement posée : « le travail réalisé montre la difficulté d'établir des relations structure/fonction de la microflore dans un contexte donné, malgré un important panel d'outils utilisés ». L'auteure souligne les limites de son approche, qui reflète

¹ Thèse soutenue le vendredi 10 octobre 2014 à l'Esitpa.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, [directeur de recherche honoraire de l'INRA](#).

davantage le potentiel d'activité d'une microflore dont l'activité est mise en exergue par la méthode expérimentale utilisée plutôt que l'activité développée dans les conditions *in situ*. Elle conclut à la nécessité d'utiliser des indicateurs relatifs à la biomasse active, démarche qu'elle se propose de développer dans le prolongement de ce travail.

Cette thèse réalisée avec sérieux laisse sur sa faim un lecteur quelque peu averti, qui ne peut s'empêcher de penser que ce type d'approche serait plus pertinent s'il se limitait à des fonctions d'intérêt agronomique ou environnemental mieux identifiées et en nombre restreint.

VISITE DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE

au 76^e SIMA¹

Claude Sultana². – Un groupe de membres de l'Académie d'agriculture de France (AAF) intéressés par les avancées technologiques dans les matériels et équipements agricoles était accueilli par Madame Martine Dégremont, Directrice du Salon, le jeudi 26 février 2015, pour une visite organisée par notre confrère René Autellet, conseiller technologique du SIMA.

En quelques chiffres Madame Dégremont situe l'importance de ce salon : 1740 exposants dont 50 % d'étrangers venus de 40 pays. La fréquentation attendue est identique à celle de 2013 (250 000 visiteurs), mais la diversité des visiteurs (originaires de 145 pays) est en progression de 20 % sur 2013. La surface de l'exposition est en augmentation de 20 % grâce au hall 7 qui accueille le SIMAGENA, en remplacement des halls 1 et 2, ainsi que le matériel d'élevage et la partie consacrée à la méthanisation.

La notoriété est en augmentation dans les media notamment à la télévision qui en a largement fait écho et il est bon de le remarquer car le SIMA est essentiellement un salon professionnel.

Cette année les composants sont regroupés dans les halls 3 et 4 et un secteur a été aménagé en village des métiers pour valoriser les métiers des agroéquipements qui offrent des emplois de haute technicité.

Madame Dégremont dégage trois tendances notoires de ce salon:

- le développement des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication),
- l'attention portée à la sécurité des hommes et des machines,
- la prise en compte d'autres facteurs que la taille des machines pour améliorer la productivité des chantiers.

Ces tendances sont en continuité de celles déjà observées lors du précédent salon.

Les deux médailles d'or, les trois médailles d'argent et les dix-huit mentions décernées par un jury international entrent toutes dans une voire deux de ces tendances. Après cette présentation Madame Dégremont cède la parole à René Autellet qui sera ponctuellement assisté de Frédéric Vigier de l'IRSTEA et Gilbert Grenier, enseignant les agroéquipements à l'agro de Bordeaux, tous deux aussi commissaires technologiques du SIMA.

Après avoir remercié Martine Dégremont pour son accueil, le groupe commence la visite par la galerie des innovations qui présente d'un côté toutes les machines et technologies distinguées par le jury et de l'autre une vision de l'agriculture en 2050 par les étudiants des écoles d'ingénieurs et des scénarios prospectifs imaginés par des organisations professionnelles

Chacune des innovations primées dispose d'un présentoir où elle est décrite et illustrée par des photos et même des vidéos. Le groupe s'arrête devant chacune d'elles pour quelques explications sommaires qui seront détaillées devant les matériels vus au cours de la visite dans un ordre aléatoire.

Razol expose un système de guidage au binage (mention) faisant appel à une caméra pour mémoriser le trajet et à un GPS de précision centimétrique qui se repère sur des points identifiés à proximité, donc sans faire appel au réseau de stations RTK (payant). Les outils ont un débattement latéral pour s'ajuster au rang.

¹ Salon international du Machinisme agricole.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien Directeur de l'ITL.

Un débat s'engage autour de la possibilité de sortir de la technologie RTK accessible seulement par abonnement.

Les Établissements *Pérard* ont obtenu une mention pour une presse à menues pailles qui s'accroche à la moissonneuse-batteuse latéralement au travail et à l'arrière au transport. En récupérant tous les produits qui jusqu'ici retournaient au sol on évite de semer les graines des adventices qui ont été séparées sur les grilles et on dispose ainsi d'un produit valorisé comme aliment ou en litière ou, bien mieux, par la méthanisation. La presse est équipée d'un moteur thermique et la balle produite est un boudin de très haute densité (700 kg/m³) enroulé dans un film plastique noué aux extrémités.

John Deere a obtenu une médaille d'or pour un semoir à grande vitesse (plus de 16 km/h), appelé ExactEmerge, qui conserve la précision de la répartition sur le rang et la profondeur de semis. Les éléments semeurs sont à entraînement électrique, le transport de la graine se fait par une courroie à brosses dont la vitesse relative est nulle par rapport au sol, assurant ainsi un placement dans le sillon sans rebond.

Toujours chez *John Deere* une citation distingue le système « Battery Boost » : une exploitation productrice d'électricité peut stocker celle-ci dans des batteries interchangeables, qui peuvent entre autres s'atteler sur le relevage AV à la place des masses du tracteur. Il y a ainsi une intéressante mise en réseau de cette source d'énergie pour l'animation d'organes voire même pour servir d'appoint au moteur.

Une médaille d'argent pour le même constructeur est attribuée à un système d'attelage automatique de matériels tractés appelé « autoconnect ». Le tracteur recule seul jusqu'à l'outil, l'attelage s'effectue automatiquement ainsi que le raccordement des différentes servitudes. Il suffit d'installer sur l'outil la pièce de raccordement des servitudes compatible avec celle du tracteur.

Pour l'attelage d'outils portés, l'IRSTEA présente une méthode de conception IRAD qui, par montage des bras inférieurs du relevage sur biellettes, augmente l'espace entre le tracteur et l'outil par allongement des bras, facilitant l'attelage d'autant plus que le déplacement des bras est assuré par des vérins électriques. Ce dispositif a l'avantage de pouvoir être adapté à tout tracteur.

Sur le stand de l'*AEF*, qui regroupe des entreprises du secteur du machinisme et de la distribution, Jean-François Goupillon, responsable technique chez AXEMA, présente un test de conformité des produits Isobus. Les résultats de ces tests sont stockés dans une base de données qui sera accessible gratuitement pour permettre aux utilisateurs de vérifier la compatibilité entre les tracteurs, outils et consoles qu'ils projettent d'acheter. Cet outil sera très utile lors de l'application des nouvelles normes ISOBUS mondiales.

La firme *Gaspardo* expose un automoteur d'enfouissement des digestats de méthanisation, conçu pour travailler en cultures hautes (maïs). Ayant été primé à l'EIMA de Bologne, cette innovation n'a pas été retenue au Palmarès.

Horsch a été distingué pour son dispositif anti dérive : le principe de stabilisation de la rampe de pulvérisation « BoomControl Pro » (*récompensé au Salon Agritechnica à Hanovre*) permet de rapprocher la rampe de la surface à traiter. Associée à une réduction de l'intervalle entre deux buses à 25 cm pour conserver le recouvrement, cette disposition limite significativement la dérive des gouttelettes. La régulation est rendue possible par l'utilisation d'une vanne hydraulique proportionnelle très rapide et d'un logiciel de commande muni de capteurs gyroscopiques.

Le passage sur le stand *Carré* permet de voir le robot de binage « Anatis ». Cet appareil à propulsion électrique a une autonomie d'environ 4 heures. Il est particulièrement adapté au binage des cultures maraîchères en planches. En plus du travail du sol par le binage, il collecte des données de suivi de cultures: présence d'adventices, densité et stade de la culture, luminosité, hygrométrie, température du sol et de l'air, qui constituent une aide à la décision. Il est guidé par un ensemble GPS, caméra et laser et il est possible de suivre son avancement en le connectant à son Smartphone ou sa tablette.

Pour bien maintenir en ligne les rampes ou pivots d'arrosage, *Lindsay* présente une roue qui, en place du pneumatique, a un bandage sur armature souple (mention du jury) qui conserve les caractéristiques du pneu sans le risque de crevaisson.

Chez *Sulky-Burel* le distributeur d'engrais centrifuge ISOBUS a été primé pour la modulation automatique et indépendante côté droit / côté gauche de la dose à apporter. La modulation automatique effectuée à partir d'une carte de préconisation gère jusqu'à présent une dose unique sur toute la largeur. La modulation automatique droite / gauche en épandage centrifuge apporte plus de précision dans l'épandage, en doublant le nombre de pixels de la carte.

Le Fastbale du groupe *Kverneland* est une presse-enrubanneuse de nouvelle génération qui combine à la fois le pressage en non-stop par la combinaison de deux chambres à rouleaux et l'enrubannage en un seul passage. La presse comporte une première chambre où se forme le cœur de la nouvelle balle pendant le passage de la balle précédente sur la table d'enrubannage, puis, après éjection de la balle enrubannée, la balle préformée et le flux de matière provenant du rotor d'alimentation sont envoyés vers la chambre principale où la balle achève sa formation. Le gain de productivité peut atteindre 50 %.

Cet itinéraire d'un stand à l'autre conduit le groupe sur le stand *Claas* pour une pause prandiale et conviviale, qui permet une présentation des distinctions obtenues et des activités de la firme. La caractéristique principale de la nouvelle cabine (médaille d'or) des tracteurs de moyenne gamme ARION T4f est de ne plus avoir de traverse haute horizontale jusqu'à présent incontournable pour protéger efficacement contre les chutes d'objets ou les renversements (homologation FOPS-ROPS). Le chauffeur a ainsi une visibilité totale pour les manœuvres de charges en hauteur, évitant les fatigues des vertèbres quand ces activités sont répétitives.

Pour le moissonnage-battage, la nouvelle coupe « Vario » a reçu une mention. Elle se distingue par la possibilité de modifier depuis le poste de pilotage la largeur du tablier entre la scie et la vis d'alimentation pour optimiser le flux en fonction de la récolte, en l'adaptant à la longueur des pailles pour atteindre le maximum de débit avec la moissonneuse-batteuse. L'amplitude de réglage du tablier est de 700 mm. Avec l'évolution des cycles de cultures, la récolte des céréales est concomitante à celle du colza et l'adaptation de la machine d'une récolte à l'autre peut être nécessaire deux fois par jour en fonction de l'humidité. La nouvelle « Vario » passe des céréales au colza et inversement en moins d'une minute sans outil.

Quelques éléments nous sont donnés sur la firme Claas, entreprise familiale d'importance mondiale. La société dont le siège est à Harsewinkel est présente partout dans le monde. Elle emploie 11 000 personnes et dispose de 7 usines dont 3 en France qui représente près de 25 % des activités du groupe.

Les activités dans les agroéquipements concernent les tracteurs, les automoteurs de récolte, le matériel de fenaison et les systèmes électroniques embarqués (Isystem). Les 360 produits au catalogue montrent la diversité des activités. A une question sur la motorisation des machines, il est répondu que Claas ne fabrique pas de moteurs. La firme fait appel à cinq ou six fournisseurs dont, par exemple pour les gros matériels, Caterpillar et Mercedes. Dans les très gros matériels on peut citer la moissonneuse-batteuse « Lexion » avec une coupe de plus de 12 m et un tracteur « Xérion » de 900 ch. avec une cabine réversible permettant de choisir le sens du travail. En fait les tracteurs de moyenne gamme (moteurs de quatre cylindres) constituent 50 % du marché et la part des tracteurs de 200 ch. et plus est d'environ 20 %.

A la fin de cette présentation Monsieur Panadero, Président de Claas France intervient pour saluer notre groupe.

Pour terminer la visite le groupe se déplace pour voir de près la transmission Claas à variation continue conçue à l'usine de Paderborn. Le dispositif fait appel à des trains d'engrenages épicycloïdaux, dont la vitesse relative est pilotée par une transmission hydrostatique. Deux gammes des vitesses vont de la plus lente à la plus rapide autorisée, avec pour chacune une variation obtenue sans glissement ni perte de puissance.

La visite n'aura pas été exhaustive de toutes les innovations primées et celles qui n'ont pas été vues dans le détail faute de temps méritent aussi une grande attention comme le montrait l'importance des visites.

Le groupe se sépare après avoir remercié René Autellet pour l'organisation de cette journée et les commentaires précis qu'il a pu apporter avec ses collègues Frédéric Vigier et Gilbert Grenier. Chacun a pu continuer librement la visite et il était conseillé de terminer par la galerie des anciennes machines qui fait le pendant de la galerie des innovations par où a commencé la visite.

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