



AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT

# **COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE**

**LA CONCURRENCE, LEVIER DE COMPÉTITIVITÉ POUR LES AGRICULTEURS**

**VERS UNE POLITIQUE PUBLIQUE DES SOLS**

**DES MATIÈRES PREMIÈRES AGRICOLES AUX ALIMENTS :  
QUEL IMPACT DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION SUR  
LA QUALITÉ DE L'ALIMENTATION ?**

**LES NOUVELLES FORMES DE FINANCEMENT DES INSTALLATIONS  
ET DES INVESTISSEMENTS INNOVANTS AGRICOLES**

**GÉOSTRATÉGIE ALIMENTAIRE EN MÉDITERRANÉE :  
L'ENJEU CÉRÉALIER**

**RÉVOLUTION VARIÉTALE EN VITICULTURE ! DE NOUVEAUX CÉPAGES  
RÉSISTANT AUX MALADIES : CRÉATION, DÉPLOIEMENT ET IMPACT SUR LA  
FILIÈRE VITICOLE**

**LE BOIS ÉNERGIE : ELDORADO OU ILLUSION**



## SOMMAIRE

### SÉANCES D'AVRIL À JUIN 2018

---

- 3 **LA CONCURRENCE, LEVIER DE COMPÉTITIVITÉ POUR LES AGRICULTEURS**  
Séance animée par **Chantal CHOMEL** (4 avril 2018)  
Agriculture et concurrence : entre concurrence et régulations publiques :  
quelles marges de manœuvres ? par **Thierry DAHAN**.  
L'arrêt CJUE « endives » et les récentes évolutions du règlement européen dit règlement  
OMNIBUS et leur portée, par **Bruno NÉOUZE**.  
La concentration des coopératives agricoles face à celle de la distribution : quelle prise en  
compte de leurs spécificités dans le contrôle des concentrations ? Quel impact des décisions  
de l'Autorité sur la structuration des filières ? par **Marine NOSSEREAU**.
- 9 **VERS UNE POLITIQUE PUBLIQUE DES SOLS**  
Séance animée par **Christian VALENTIN** (11 avril 2018)  
Gouvernance territoriale des sols, par **Pierre DONADIEU**.  
Le suivi de l'état des sols : dispositifs existants et recherches associées, par **Antonio BISPO**.  
Un besoin d'un enseignement sur les sols plus visible en France, par **Cécile QUANTIN**.
- 17 **DES MATIÈRES PREMIÈRES AGRICOLES AUX ALIMENTS :  
QUEL IMPACT DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION SUR LA QUALITÉ DE  
L'ALIMENTATION ?**  
Séance animée par **Gérard PASCAL, Véronique BRAESCO, Didier MAJOU,  
Gérard CORTIER, Ismène GIACHETTI, Jean-Jacques BIMBENET et PHILIPPE IMBERT**  
(2 mai 2018)  
Impacts des opérations et procédés sur les attributs des aliments, par **Gilles TRYSTRAM**  
Mieux connaître la transformation industrielle et la diversité de nos aliments pour une  
alimentation plus saine et plus durable : exemple d'une cartographie multicritère du marché  
français des pizzas, par **Isabelle SOUCHON**.  
La structure des aliments module leur cinétique de digestion et la biodisponibilité des nutriments,  
par **Didier DUPONT**.
- 25 **LES NOUVELLES FORMES DE FINANCEMENT DES INSTALLATIONS ET  
DES INVESTISSEMENTS INNOVANTS AGRICOLES ?**  
Séance animée par **Lucien BOURGEOIS, Jean-Claude GUESDON** (16 mai 2018)  
Le financement de l'installation, par **Dominique BOUVIER**.  
Le nouveau paysage du financement bancaire de l'agriculture, par **Sébastien PRIN**.  
Le rôle et l'importance des fonds de garantie en agriculture. Exemple de la Société de caution  
mutuelle pour les petites entreprises (SIAGI), par **Michel COTTET**.

- 29 **GÉOSTRATÉGIE ALIMENTAIRE EN MÉDITERRANÉE : L'ENJEU CÉRÉALIER**  
Séance animée par **Jean-Jacques Hervé** (23 mai 2018)  
Géostratégies alimentaires en Méditerranée : L'enjeu céréalier, par **Sébastien ABIS**.  
Le marché méditerranéen des céréales : dynamique et positionnement concurrentiel de la France et de ses compétiteurs, par **Rémi HAQUIN**.  
Le point de vue du premier groupe logistique français et européen d'exportation de céréales, par **Gilles KINDELBERGER**.  
La question céréalière en Algérie et les marchés mondiaux par **Omar BESSAOUD**.
- 37 **RÉVOLUTION VARIÉTALE EN VITICULTURE ! DE NOUVEAUX CÉPAGES RÉSISTANT AUX MALADIES : CRÉATION, DÉPLOIEMENT ET IMPACT SUR LA FILIÈRE VITICOLE**  
Séance animée par **Yves LESPINASSE** (30 mai 2018)  
Création de variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium, en France et en Europe, par **Didier MERDINOGLU**.  
Comment accompagner le déploiement des nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium ? par **Laurent DELIÈRE**.  
Contexte réglementaire de la diffusion des nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium, par **Rémi CAILLIATTE**.
- 57 **LE BOIS ÉNERGIE : ELDORADO OU ILLUSION**  
Séance animée par **Patrick OLLIVIER** (6 juin 2018)  
Rétrospective, analyse de la situation mi 2018 et prospectives, par **Serge DEFAYE**.  
Retours d'expériences par une société d'approvisionnement en tous seconds bois, par **Laurent MEYRONEINC**.  
Retours d'expériences par un groupe de coopératives forestières, par **Alain JACQUET**.
- 65 **Présentations d'ouvrages**
- 89 **Présentations de thèses**
- 129 **Communications de recherche**
- 182 **Vie de l'Académie**  
Visites diverses

## LA CONCURRENCE, LEVIER DE COMPÉTITIVITÉ POUR LES AGRICULTEURS

Séance organisée par **Chantal CHOMEL**  
Membre de l'Académie d'agriculture

L'agriculture est longtemps restée à l'écart des questions du droit de la concurrence, en grande partie parce que la PAC avait notamment pour objet de donner un cadre économique aux productions, sur les volumes et sur les prix. L'orientation prise par la PAC, au fil des réformes successives depuis 1992, de rapprocher les producteurs du marché a entraîné une plus grande sensibilité de ces derniers et de leurs organisations au droit de la concurrence. Certes des alertes avaient déjà eu lieu – notamment dans l'affaire de la viande bovine, pour laquelle des organisations syndicales avaient été assez sévèrement condamnées pour entente. Dans une période plus récente, des producteurs et leurs OP d'endives ont été condamnés par l'ADLC en 2012, puis des producteurs de farines et de produits laitiers. Ces condamnations ont fait apparaître que d'une part il existait un flou et des ambiguïtés sérieuses sur l'articulation dans le TFUE entre les articles définissant les objectifs de la PAC et ceux posant le principe d'une concurrence libre et parfaite- au demeurant figurant dans le Traité de 1957- L'approche « banalisante » du droit de la concurrence, assimilant les producteurs agricoles à d'autres acteurs du marché, a fait la preuve de son inadéquation aux problématiques de ce secteur, en prenant insuffisamment en compte les fortes asymétries entre les producteurs et le marché, liées à un nombre important d'acteurs à l'amont et un nombre très restreint à l'aval, la distribution étant très concentrée, et aux aléas de productions propres à l'agriculture. Des évolutions en cours du cadre juridique des relations économiques entre les agriculteurs et leur aval visent à remédier aux défauts constatés : règlement OMNIBUS, adopté à la fin de l'année, plans de développement des filières, et par là même les pouvoirs des interprofessions, et à venir une proposition de directive européenne sur les relations avec la distribution. L'arrêt de la CJUE du 14 novembre 2017 a confirmé que les objectifs de la PAC primaient sur ceux de la concurrence et a fixé des limites – étroites il est vrai- sur les possibilités d'échanges d'information et de régulation des volumes et des prix. Pour faire face à la concentration de la distribution, les coopératives elles- mêmes se concentrent sous la surveillance de l'Autorité de la Concurrence, qui n'intègrent pas dans ses critères d'appréciation les caractéristiques propres des coopératives et notamment le principe de double qualité. Le moment est donc pertinent pour faire le point sur les évolutions en cours et sur celles qui seraient utiles pour que le droit de la concurrence réponde à sa fonction : être un facilitateur de compétitivité par un fonctionnement plus efficient des marchés, ce qui bien sûr ne clôt pas le débat sur la nécessité de la régulation.

## AGRICULTURE ET CONCURRENCE

par Thierry DAHAN<sup>1</sup>

- L'agriculture est souvent présentée comme un secteur très particulier du point de vue de l'économie de marché et du droit de la concurrence, au point de voir dans ces particularités une incompatibilité. J'aimerais relativiser, voir dissiper cette idée fausse.
- La concurrence et le droit de la concurrence ont pour objectif de permettre aux marchés de produire des prix efficaces qui se fixent librement. En régime de concurrence, on est « preneur de prix », celui qui est « faiseur de prix » est celui qui a un pouvoir de monopoleur.
- Le droit de la concurrence ne cherche pas à produire un optimum économique. Donc, il y a toujours une place pour la régulation quand des défaillances sont constatées. Justification du régime d'exemption (article 101§3).
- La régulation poursuit un objectif propre qu'on juge difficile à atteindre par le libre marché (égalité d'accès à la santé, sécurité d'approvisionnement en énergie, neutralité de l'information, etc...).
- Quel peut être cet objectif pour l'agriculture ? Au-delà de l'enjeu social que représente l'alimentation de la population, les marchés agricoles ont comme spécificité première d'être soumis à des aléas de production liés aux cycles biologiques et à leurs « accidents » (climat, récoltes, reproduction, élevages, gel, maladies, ravages, etc...). L'ajustement des volumes aux prix est donc très contraint, voire impossible si on prend en compte les effets d'hystérésis.
- On peut donc légitimement considérer que la volatilité des prix agricoles est une externalité négative. Comment la combattre ? Plutôt par une régulation des volumes. En effet, La régulation directe des prix est très difficile à justifier en régime de marché parce qu'il y a une contrainte de débouché : il faut que le consommateur achète. Or il n'achète pas à n'importe quel prix (surproduction, stockage, subvention, perte de surplus social). La régulation des volumes est plus acceptable car elle revient à mimer le comportement d'un entrepreneur avisé qui connaît les besoins du marché.
- Les condamnations du secteur agricole en droit des ententes sont presque toujours relatives à la régulation des prix : fraises du Sud-Ouest 2003, choux fleurs 2005, endives 2012, volailles 2015.
- Ce que reconnaît l'article 152 du règlement Omnibus c'est que la coordination des producteurs pour réguler les volumes est licite par principe. La PAC considère donc désormais qu'il est légitime de réduire la volatilité des prix de manière indirecte en jouant sur la coordination des volumes. C'est un grand progrès.
- La volatilité n'est pas le seul problème : il faut aussi que des prix moins volatils s'établissent à un niveau satisfaisant. La priorité numéro 1 est que les produits de l'agriculture ne soient pas des commodités aux yeux du consommateur final mais seulement aux yeux de l'industrie agro-alimentaire. La priorité numéro 2 est de contractualiser le prix des commodités qui sont des intrants de l'industrie agro-alimentaire.

---

<sup>1</sup> Vice-président de l'ADLC.

**LA PROCÉDURE DITE DU « CARTEL DES ENDIVIERS » :  
UNE DOUBLE PRISE DE CONSCIENCE**

par Bruno NÉOUZE<sup>1</sup>

Bien que n'étant pas la première manifestation de l'application du droit de la concurrence aux entreprises agricoles, l'affaire dite, non sans emphase, du « cartel des endiviers », a eu l'effet d'une déflagration pour l'ensemble des producteurs agricoles, et spécialement pour les plus organisés d'entre eux. Elle les a obligés à accélérer et approfondir la réflexion timidement engagée, mais pas toujours prise au sérieux, sur les limites de leur structuration, y compris dans le cadre qu'ils pensaient protecteur de la politique agricole commune.

Au travers des décisions successives de l'autorité française de la concurrence, de la cour d'appel de Paris et de la Cour de cassation, puis de la réponse par la Cour de justice de l'Union européenne aux questions posées par cette dernière, et même si, sur le plan judiciaire, le dossier n'est pas clos, les grands principes de l'articulation entre les règles du droit de la concurrence et celles de la politique agricole commune ont pu être sinon dégagés, du moins précisés : prééminence sur les règles générales du Traité en matière de concurrence du droit spécial applicable aux organisations et aux marchés agricoles, mais dans le cadre d'interprétation strict applicable à toute exception.

Si le seul résultat du dossier « endives » n'avait été que ce qui, en définitive, n'a constitué qu'un rappel assorti de quelques précisions, les professionnels auraient tout lieu d'être déçu.

Mais plus que l'irruption du droit de la concurrence dans la sphère agricole, qui n'était pas une vraie nouveauté, ce dossier restera le marqueur de l'irruption de l'agriculture dans le droit de la concurrence. La brutalité des condamnations prononcées - sous couvert d'indulgence - à l'origine de la procédure et le sentiment d'injustice qui en est résulté ont créé non seulement dans les milieux professionnels, mais également dans la classe politique et les milieux juridiques un réel malaise devant un droit qui est apparu inadapté, non seulement pour les agriculteurs, mais pour les consommateurs eux-mêmes et au regard des préoccupations politiques envers le monde rural.

Il en est résulté l'accélération d'une réflexion sur une nécessaire évolution des règles de concurrence applicables à l'agriculture, engagée par le groupe de travail mis en place par le commissaire Hogan et qui a trouvé son prolongement dans le règlement « Omnibus ».

La loi qui résultera du projet élaboré par le gouvernement à la suite des états généraux de l'alimentation pourra être l'occasion d'apporter une pierre de plus à l'édifice.

Sans doute pas la dernière sur le chemin d'une véritable organisation des producteurs qui leur permette de gagner en efficacité, en compétitivité et en poids sur le marché.

---

<sup>1</sup> Avocat en droit européen de l'agriculture et des filières agroalimentaires.

## LA CONCURRENCE, LEVIER DE COMPÉTITIVITÉ POUR LES AGRICULTEURS

### CONCLUSIONS

par Jean-Marc **BOUSSARD**<sup>1</sup>

La conclusion majeure, c'est qu'il y a bien un problème entre l'agriculture et le droit de la concurrence, même si nous n'aurons pas beaucoup parlé de compétitivité.

Cette dernière notion est compliquée... je n'en parlerai pas moi non plus ici. En revanche, je parlerai du premier sujet, le droit de la concurrence. Il s'est édifié sur l'idée que, dès lors qu'il est en face de plusieurs fournisseurs potentiels, un acheteur se trouve en position de force pour ne jamais devoir payer un prix supérieur au coût de production (coût entendu au sens large, incluant le profit normal et légitime). Il suffit donc d'interdire tout monopole ou toute « entente » aboutissant à un monopole de fait pour obtenir ce résultat.

C'est une vieille idée : sans parler de l'ordonnance de Turgot en 1776, ni de la suppression des corporations en 1791, le droit moderne en la matière s'est largement édifié à partir du *Sherman Act* américain de 1890 (je suis surpris qu'il n'ait pas été évoqué aujourd'hui, pas plus que ses médiocres résultats lorsque, vers 1928, il empêcha le président Hoover d'autoriser les coopératives laitières américaines à s'entendre pour éviter de jeter leurs stocks sur le marché toutes à la fois au même moment, ce qui faisait bêtement effondrer les cours !).

Or l'expérience montre que les règles juridiques correspondantes sont difficiles à mettre en œuvre dans le secteur agro-alimentaire. On voit bien les insuffisances de la réforme de la PAC dite *OMNIBUS*, qui prévoit toutes sortes de dérogations aux règles standards en la matière. De la même façon, les conclusions des récents états généraux de l'alimentation vont directement à l'encontre sinon de la lettre, du moins de l'esprit du droit de la concurrence lorsqu'elles envisagent la création d'*accords de branche* typiquement corporatistes. Enfin, on voit bien que les *coopératives*, qui jouent un si grand rôle dans l'agro-alimentaire, ne peuvent pas être traitées comme n'importe quelle entreprise, quoiqu'en disent les intégristes de la chose.

Dès lors, se pose la question de savoir ce que le secteur agro-alimentaire a de si exceptionnel pour que de telles difficultés apparaissent. Or ce sujet aura été à peine effleuré dans cette séance. Je vais essayer de l'aborder maintenant.

D'abord, en ce qui concerne les exploitations agricoles de base (à l'exception peut-être des grands châteaux bordelais ou bourguignons), il est clair qu'aucune d'entre elles n'est en capacité d'influer sur les prix et les marchés. Toutes sont de parfaits *price takers*. Elles sont déjà en situation de concurrence quasiment parfaite ! Or, c'est justement bien là le problème : dans la vie économique réelle, il est très rare qu'une entreprise vende au même prix le même produit que son concurrent. Par la publicité, les accessoires ou le « sourire de la vendeuse », toutes les entreprises s'acharnent à *différencier* leur produit, de façon à disposer d'un pouvoir de monopole, même partiel. Seuls, les agriculteurs ne peuvent pas le faire : c'est ce qui les conduit à se grouper sur la base d'AOP, ou

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture.



d'autres *groupements de producteurs* pour jouir des avantages de la *concurrence monopolistique* en identifiant les produits et en contrôlant l'offre (on limite les surfaces et les rendements, ce qui revient à limiter la production). Comme on va le voir, en rigidifiant l'offre, cette pratique est plutôt stabilisatrice. Elle garantit en même temps un certain revenu aux producteurs. Il serait dommage de s'en priver ! Mais cela ne fonctionne pas pour tous les produits, seulement pour une toute petite minorité d'entre eux (par exemple, les endives !). Pour les autres, la concurrence sauvage est la règle...

La question de la concurrence se pose en revanche pour d'autres acteurs des filières agro-alimentaires : les firmes qui fournissent les agriculteurs, ou qui leur achètent leurs produits. Le plus souvent, s'il veut éviter des charges de transport insupportables, un agriculteur n'a guère le choix de l'entité à laquelle il pourra livrer sa production. Et il y a pour cela des raisons techniques bien précises, liées à la notion de *monopole naturel* : il est évidemment absurde d'avoir deux camions laitiers sur la même tournée pour le seul plaisir de donner aux agriculteurs l'impression de pouvoir mettre les laiteries en concurrence. C'est là une situation bien répertoriée dans tous les manuels de 1ère année d'économie, où l'on prend l'exemple des lignes de chemins de fer : il serait absurde de construire deux lignes de chemin de fer parallèles pour le plaisir de mettre en concurrence deux trains qui partiraient et arriveraient à la même heure. Il faut donc s'accommoder du fait que le transport ferroviaire est un monopole. Il en est de même, *mutatis mutandis* pour l'agriculture, du seul fait qu'elle occupe l'espace géographique. Il est surprenant que cet aspect des choses n'ait pas été évoqué dans cette séance.

Or l'existence des monopoles naturels est fort mal prise en compte par le droit de la concurrence. Par exemple, on impose la concurrence aux compagnies de chemin de fer. Mais pour éviter d'avoir à construire de nouvelles lignes, les trains des différents concurrents rouleront sur les mêmes voies : dès lors, le propriétaire des voies, celui qui définira les créneaux horaires, fera marcher les aiguillages et évitera les collisions, celui-là, quel qu'il soit, sera en situation de monopole... On voit bien, ainsi, que l'on a fait que déplacer le problème. La situation est la même dans beaucoup de domaines agro-alimentaires. C'est donc là que se trouve l'origine de certaines au moins des difficultés évoquées au cours de cette séance, en particulier celles qui ont trait à l'équilibre des pouvoirs de négociation au sein des filières.

Mais ce n'est pas tout, ni même l'essentiel. L'essentiel, c'est la possibilité en faisant jouer la concurrence, d'obtenir des prix raisonnablement stables et significatifs. De fait, pour qu'un marché fonctionne bien, il n'est pas suffisant qu'il puisse être « en équilibre » à un moment donné, l'offre étant égale à la demande. Il faut encore que cet équilibre soit *stable*, c'est à dire que le système tende à y revenir quand on l'en écarte, comme une bille au fond d'une tasse (à la différence d'une bille en équilibre *instable* à la pointe d'un crayon).

La stabilité des équilibres est un sujet important et pointu en économie comme dans beaucoup d'autres disciplines. Dans le cas des marchés, il existe tout de même un assez large consensus sur le fait qu'un *équilibre de marché est stable si, au voisinage de l'équilibre, la demande est plus sensible au prix que l'offre*. Or ce n'est généralement pas le cas des produits agricoles. Certes, une augmentation du prix du poulet conduira-t-elle rapidement à un effondrement de la demande de poulet, qui se reportera sur le porc... Mais le prix du porc, alors, augmentera aussi, et on se retrouvera bientôt confronté au fait que, globalement, la demande alimentaire est fondamentalement *rigide*, tandis que, grâce aux stocks, l'offre, au contraire est relativement élastique à court terme. De là résultent les fluctuations de prix si fréquentes sur les marchés qui nous intéressent. Les fluctuations associées à ces mécanismes sont beaucoup plus puissantes que celles dues aux mauvaises récoltes, lesquelles sont pratiquement négligeables à l'échelle d'un pays aussi vaste que la communauté européenne, avec des climats aussi variés.

Or ces fluctuations ont des coûts gigantesques. Il est donc tout aussi important de les supprimer que d'éviter de construire deux lignes de chemin de fer quand une seule suffit. Il serait donc tout à fait

justifié de faire jouer la notion de *monopole naturel* dans toutes ces questions de politique agro-alimentaire. Elle justifierait des actions de régulation, mais celle-ci *ne pourraient pas être basées sur la concurrence...*

◦ ◦

Voici donc les réflexions qui, à mon sens, ont manqué dans cette séance trop axée sur une théorie juridique elle-même trop chargée d'idéologie pour être vraiment applicable.

## VERS UNE POLITIQUE PUBLIQUE DES SOLS

### INTRODUCTION

par Christian VALENTIN<sup>1</sup>

#### *Principaux enjeux*

Les sols ont, ces dernières décennies, constitué la composante la plus délaissée de l'environnement. Toutefois, depuis un peu plus de cinq ans, ils retrouvent un intérêt auprès des pouvoirs publics français comme en attestent le rapport du Conseil Economique Social et Environnemental de 2015 « La bonne gestion des sols agricoles : un enjeu de société » et le lancement fin 2016 du réseau national d'expertise sur les sols (RNEST) à l'instigation des ministères en charge de l'agriculture, de la transition écologique et de la recherche. En témoignent également la prospective de l'ANR sur les sols agricoles (2015) et le livre blanc du CNRS sur les sols (2015). Les sols reviennent également sur l'agenda international, comme l'a souligné le lancement par la FAO en 2012 du Partenariat Mondial sur les Sols et par les Nations Unies de l'Année Internationale sur les sols en 2015. De fait, les sols se situent à la confluence des trois conventions de RIO. Celle sur la lutte contre la désertification porte sur la dégradation des sols. Sa secrétaire exécutive, une française, Mme Monique Barbut ne manque pas de relier au demeurant, dégradation des sols en milieu semi-aride, aux problèmes sociaux et émigration. Fin mars, l'IPBES, groupe d'experts de la convention sur la diversité biologique a remis son rapport sur la dégradation et la restauration des terres. Le sixième rapport du GIEC comprendra un volet spécialement dédié aux terres émergées. Comme le souligne l'initiative internationale 4 pour mille, le sol n'est pas seulement un lieu d'émission de gaz à effets de serres, mais surtout le deuxième puits de carbone, et dès lors, l'agriculture, d'un problème doit devenir une solution dans la lutte contre les dérèglements climatiques.

Au-delà des sols agricoles qui fournissent 95% de la nutrition humaine et de leur dégradation en particulier en termes de biodiversité, et l'on voit bien qu'en France cette question est vive dans le débat public (labour, non labour ; engrais de synthèse ou non), au-delà des dérèglements climatiques se posent de manière de plus en plus évidentes des questions ayant aussi trait aux sols en termes d'artificialisation (cf. le rapport remis fin 2016 par l'IFSTARR et l'INRA « Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : quels leviers pour en maîtriser l'expansion ou les effets ? »), de régulation du cycle hydrologique (cf. les récentes crues de la Seine) et de la qualité des eaux, mais aussi d'énergie. N'oublions pas par exemple que la majeure partie des terres accaparées est destinée à la production d'agrocarburants (éthanol et diesel) et non à la sécurisation de filières alimentaires.

#### *Activités du GT Sols*

Ces différents enjeux ont incité un certain nombre de membres de notre Académie, particulièrement notre regrettée consœur Suzanne MÉRIAUX, à souhaiter le lancement fin 2014, début 2015 d'un groupe de travail dédié aux sols. Celui-ci a réuni, dix fois par an, une vingtaine de membres dont dix très assidus, appartenant aux sections 4, 5, 7, 9 et 10. Ce groupe s'était fixé un assez grand nombre de livrables : la rédaction d'un dossier : « Le sol : un patrimoine à valoriser » (n°7 de la Revue de l'AAF, 2015) qui a été présenté et débattu lors d'un petit déjeuner organisé à l'Académie avec l'association 4AF : « Les sols face aux grands défis : climat, alimentation, énergie, urbanisation », le 1<sup>er</sup> décembre 2015. Ce GT a également organisé, en plus de cette séance finale du 11

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section VII, animateur du groupe de travail sur les sols, IRD.

avril 2018, la séance du 27 janvier 2016 : Sols des villes, sols des champs qui décide ? et contribué à plusieurs colloques, notamment, le 24 juin 2015 : Utilisation du potentiel biologique des sols : un atout pour la production agricole (avec la Section V) ; le 3 décembre 2015 : Les sols et le climat (avec l'AFES et le Club Parlementaire pour la Protection et l'Etude des Sols) ; le 8 décembre 2015 : Empreinte des climats et des hommes dans les sols et paléosols.

La plus grande part des activités a consisté à concevoir puis rédiger plus de cinquante chapitres de six ouvrages destinés à l'enseignement supérieur qui paraîtront à la fin de ce semestre aux éditions ISTE, en versions française et anglaise, en version papier et téléchargeable (moins de 10 € le volume). Cette série « Les sols » dont chaque ouvrage a pour titre « Les sols au cœur de la zone critiques » comprend : 1 - Fonctions et services (eds. J. Berthelin, C. Valentin, J.C. Munch), 2-Enjeux de société (ed. G. Dhérissard), 3-Les sols et la circulation de l'eau (ed. G. Bourrié), 4-Les sols et la qualité de l'eau (ed. G. Bourrié), 5-Dégradation et réhabilitation (ed. C. Valentin), 6-Ecologie (eds. P. Lemanceau, M. Blouin). Les sols constituent effectivement le cœur de la zone critique, puisque celle-ci définie par la NRC américaine en 2001 comme s'étendant depuis la basse atmosphère jusqu'aux roches saines et aux nappes. Cette zone qui s'étend, comme les sols, verticalement et latéralement, est critique dans le sens où sa suppression ou sa dégradation aurait des conséquences désastreuses pour l'Homme. Concept résolument interdisciplinaire, la zone critique souligne le rôle des interactions entre les sols et les autres composantes de l'environnement, et particulièrement dans le contrôle des flux d'énergie et de matière (eau, sédiments, gènes...). Cette vision intégratrice a été adoptée dans de nombreux pays, notamment la Chine et la France (notamment l'ANR et le CNRS). L'infrastructure de recherche qui rassemble l'ensemble des observatoires des milieux continentaux français a pris pour nom OZCAR, Observatoires de la Zone Critique, Applications et Recherches.

Parmi les dernières activités du GT sols qui se réunit pour la dernière fois le 12 avril, citons la contribution à l'Encyclopédie de l'AAF sous la forme d'une dizaine de fiches « sols », coordonnées par Michel-Claude Girard ; la correction des entrées Wikipedia sur les sols, coordonnée par Jacques Berthelin ; la contribution au numéro des Annales des Mines : Sols en danger : réduire l'artificialisation (eds. Dominique Dron, André-Jean Guérin), numéro qui sera présenté lors d'un petit déjeuner 4AF à l'Académie le mardi 10 juillet, et enfin la rédaction d'un avis académique qui sera soumis au bureau et à l'ensemble des membres de l'Académie.

#### *Introduction de la séance*

L'ensemble des conflits d'usages évoqués incite à se poser la question de la gouvernance territoriale des sols (présentation de Pierre **DONADIEU** et Guillaume **DHERISSARD**). Cette gouvernance ne pourra correctement s'exercer que si les différentes parties prenantes ne se fonderont pas qu'à leurs intérêts et leurs convictions militantes, mais sur des données scientifiques bien établies, d'où l'importance d'un suivi de l'état des sols et de la mise en place de dispositifs et de mener des recherches sur les sols (présentation d'Antonio **BISPO** *et al.*, INRA, InfoSol, Orléans). Il est tout aussi indispensable que ces parties prenantes aient une bonne connaissance eux-mêmes des sols, de leur diversité et de leurs fonctions, d'où le besoin d'un enseignement sur les sols plus visible en France (présentation de Cécile **QUANTIN**, Prof. Université Paris-Saclay, Christian **WALTER**, AgroCampus Ouest). Enfin, Jacques **BERTHELIN**, section V, tirera les conclusions de ces présentations et du débat de cette séance.

## FACILITER LA GOUVERNANCE TERRITORIALE DES SOLS AGRICOLES

par Pierre DONADIEU<sup>1</sup>

L'utilisation actuelle des sols agricoles, qui est fondée surtout sur les droits de propriété foncière, de l'urbanisme et de l'environnement, tient très peu compte des services multiples qu'ils peuvent fournir localement et globalement. Pour construire des territoires soutenables, la communication suggère de fonder la gouvernance de l'utilisation de l'espace sur le devenir possible des sols au regard d'un débat public démocratique. Ainsi pourraient être élaborés, en partageant le droit de propriété des sols, grâce à des processus de facilitation et à des médiateurs, des communs territoriaux dans le cadre institutionnel des territoires des collectivités locales.

Il est proposé, à la suite des travaux d'Elinor Ostrom, prix Nobel d'économie en 2009, que soient dissociés et cogérés les droits d'accès, de gestion, d'exclusion, d'usages et de vente concernant les sols agricoles. Ainsi pourrait être fondée une notion de « propriété commune » capable de mettre en œuvre la multifonctionnalité agricole préconisée par les pouvoirs publics.

Plusieurs expériences menées en France montrent que la gouvernance territoriale des sols agricoles en tant que communs territoriaux n'est plus une utopie.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BAUDÉ S., HÉRIARD DUBREUIL G., OLLAGNON H., DE MONTBEL A., LEVINSON E., CHRISTIN D., STASSART P., VANKEERBERGHEN A., VERHOEVEN F. – SAS-STRAT, « Sustainable Agriculture and Soil : comparative study of strategies for managing the integrated, quality of agricultural soils in different regions of Europe / Belgium, France, Netherlands ». *Final Scientific Report*, 2014.
- (2) DONADIEU P., REMY E., GIRARD M.-C. – « Le sols peuvent-ils devenir des biens communs », *Natures, Sciences, Sociétés*, Vol. **24**, 3, 2016.
- (3) ORSI F. – « Elinor Ostrom et les faisceaux de droits : l'ouverture d'un nouvel espace pour penser la propriété commune », *Revue de la régulation* [En ligne], 14 | 2e semestre / Autumn 2013, mis en ligne le 14 février 2014, consulté le 23 mars 2018. URL : <http://journals.openedition.org/regulation/10471> ; DOI : 10.4000/regulation.10471
- (4) OSTROM E., 1990. – *Governing the commons. The evolution of institutions for collective action*, Cambridge, Cambridge University Press. Trad. fr. : Ostrom, E., 2010. *La gouvernance des biens communs. Pour une nouvelle approche des ressources naturelles*, Bruxelles, De Boeck.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 7.

## L'INVENTAIRE ET LE SUIVI DE L'ÉTAT DES SOLS : DISPOSITIFS EXISTANTS ET RECHERCHES ASSOCIÉES

par Antonio **BISPO**<sup>1</sup>

Bien que leurs rôles restent encore peu perçus et connus par la société, les sols sont au cœur des grands enjeux planétaires que sont la sécurité alimentaire (en quantité et en qualité), la qualité des masses d'eau souterraines et superficielles, l'atténuation du changement climatique ou la préservation de la biodiversité. Ils constituent une ressource naturelle qu'il convient non seulement de protéger mais aussi de valoriser efficacement et durablement pour le bien-être de l'humanité. Leur formation très lente et leur destruction qui peut être rapide et quasi irréversible en font une ressource que l'on peut qualifier de non renouvelable.

Les propriétés des sols présentent naturellement une forte variabilité spatiale. Pour les gérer au mieux, il convient d'abord de les connaître et donc d'en réaliser un inventaire cartographique. Par ailleurs, certaines propriétés étant susceptibles d'évoluer, en particulier sous l'effet des pressions anthropiques ou du changement climatique, la mise en place de dispositifs de surveillance est nécessaire afin de détecter précocement des dégradations qui peuvent être irréversibles. La prise en compte de la multiplicité des fonctions des sols nécessite de définir des notions de qualité des sols qui ne reposent plus sur les seuls concepts de fertilité physique, chimique et biologique.

Afin de réfléchir à leur affectation et raisonner les pratiques, les pouvoirs publics doivent pouvoir disposer d'informations sur les sols et s'appuyer sur des données fiables sur l'état des sols, fondées sur des dispositifs de suivi à long terme associées à des recherches sur leur distribution et leur évolution. Ce rôle a été confié à partir de 2001 au Groupement d'intérêt scientifique Sol (Gis Sol) qui regroupe les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). Ses objectifs sont de constituer et gérer un système d'information (SI) sur les sols de France répondant aux besoins régionaux et nationaux, dans le contexte européen et mondial. Pour ce faire, le Gis Sol a confié à l'Unité de Service InfoSol de l'INRA la coordination des activités de capitalisation des données sur les sols ainsi que l'acquisition de nouvelles données au sein d'un système d'information afin de répondre aux demandes des pouvoirs publics et de la société, mais également de la recherche.

Cette intervention présentera les dispositifs existants (ex : observatoires de la qualité des sols, inventaires multi-échelle, zones atelier), leurs utilisations actuelles en appui aux politiques publiques agricoles (ex : zones défavorisées simples, réservoir utile) ou environnementales (ex : stockage de carbone, biodiversité) et en soutien à la recherche (ex : modélisation, biodiversité). Elle précisera également les besoins de recherche complémentaires, par exemple, en termes de traitement spatial et temporel des données. Enfin, il s'agira également de proposer des approches innovantes de diffusion de ces informations pour les rendre accessibles et compréhensibles, afin que les enjeux liés aux sols soient mieux connus des acteurs concernés et, plus largement, des citoyens.

---

<sup>1</sup> INRA, Unité de Service InfoSol, Orléans

## UN BESOIN D'UN ENSEIGNEMENT SUR LES SOLS PLUS VISIBLE EN FRANCE

par Cécile QUANTIN<sup>1</sup>

La place de la science du sol dans l'enseignement supérieur a beaucoup évolué dans le monde au cours des dernières décennies. Un fort déclin du nombre d'étudiants inscrits dans des cycles spécialisés a été noté aux Etats-Unis et au Canada au début des années 2000 (Baveye *et al.*, 2006 ; Collins, 2008) et a notamment été attribué à un trop fort lien entre l'enseignement de science du sol et l'agriculture, alors que les étudiants étaient surtout intéressés par les enjeux environnementaux. Néanmoins, des analyses récentes (Hartemink *et al.*, 2014 ; Diochon *et al.*, 2016) notent un regain des inscriptions qu'elles associent à un développement de l'enseignement de science du sol dans de nouveaux cursus (sciences de l'environnement, géographie, gestion des ressources naturelles).

En France, la géographie de l'enseignement de la science du sol a également beaucoup changé en 20 ans en raison notamment de la disparition en 2005 du DEA national de Science du Sol et de la création, dans les différents sites universitaires, de formations souvent pluridisciplinaires incluant une dimension sol. Il est néanmoins difficile d'avoir une vision exhaustive des formations existantes en raison de leur multiplicité et des évolutions très rapides de leurs dénominations et contenus.

Une enquête menée en 2015 par l'Association Française pour l'Etude des Sols et réactualisée en 2018 a permis de faire le point sur la place des sols dans l'enseignement supérieur français. Elle a été complétée par une analyse de l'évolution du nombre de thèses soutenues depuis 25 ans et incluant une dimension d'étude des sols. Cette enquête confirme que le nombre de formations incluant des modules d'enseignement sur les sols a nettement augmenté en 15 ans. Mais, elle montre aussi que les formations spécifiques sont peu nombreuses et souffrent d'un faible flux d'étudiants. Il apparaît aussi qu'il existe en France peu d'équipes pédagogiques regroupant plusieurs enseignants-chercheurs spécialistes des sols et ceux-ci sont donc souvent relativement isolés au sein de leur département d'enseignement.

Au final, l'évolution récente montre des aspects positifs à travers l'introduction d'enseignements sur les sols dans des cursus (environnement, géosciences, écologie) où ils étaient absents. Néanmoins, l'état des lieux fait apparaître la nécessité :

- de recrutement d'enseignants chercheurs dans ce domaine (qui ne se limite pas à la biodiversité et à l'écologie des sols),
- de la mise en place et d'un meilleur affichage de parcours sols de masters, nationaux et internationaux,
- et plus largement d'une sensibilisation des décideurs et du grand public aux questions ayant trait aux sols.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BAVEYE P., JACOBSON A.R., ALLAIRE S.E., TANDARICH J.P., and BRYANT R.B. 2006. – Whither goes soil science in the United States and Canada? *Soil Sci.* **171**, 501–518.
- (2) COLLINS M.E. 2008. – Where have all the soils students gone? *J. Nat. Res. Life Sci. Educ.* **37**: 117–124.

---

<sup>1</sup> Université Paris-Sud.

- (3) HARTEMINK A.E., BALKS M.B., CHEN Z.S., DROHAN P., FIELD D.J., KRASILNIKOV P., LOWE D.J., RABENHORST M., VANREES K., SCHAD P., SCHIPPER L.A., SONNEVELD M., WALTER C.. 2014. – The joy of teaching soil science. *Geoderma*, 217–18 (2014), pp. 1-9.
- (4) Amanda DIOCHON, Nathan BASILIKO, Maja KRZIC, Thomas T. YATES, Edith OLSON, Jacynthe MASSE, Brian AMIRO, Darshani KUMARAGAMAGE. 2016. – Profiling undergraduate soil science education in Canada: Status and projected trends. *Can. J. Soil. Sci.*, 2017, 97.

## CONCLUSION

par Jacques **BERTHELIN**<sup>1</sup>

### *Les enjeux*

Les sols sont maintenant reconnus, avec les océans, comme le cœur de la zone critique de la Terre où la vie s'épanouit. Ils sont aussi reconnus pour être le cœur des écosystèmes continentaux. Ils forment un compartiment terrestre stratégique, la pédosphère, qui en renfermant 25 % des espèces vivantes décrites, est l'habitat d'une biodiversité et d'une activité biochimique très diversifiées d'une très grande richesse.

Les sols doivent répondre à de nombreux enjeux pour : assurer la sécurité alimentaire ; être un des leviers de l'atténuation du réchauffement climatique ; assurer et maintenir la richesse et la diversité de leurs activités biochimiques et biogéochimiques et des communautés d'organismes impliquées ; contribuer efficacement au cycle de l'eau et aux cycles des éléments majeurs et en trace (C, N, P, S, etc.) ; supporter une urbanisation galopante ; contribuer à la production d'énergie, de matériaux ; être sites de dépôts et gestion de déchets ; contribuer aux activités culturelles et de loisirs.

Les sols présentent aussi une grande diversité de statuts juridiques et réglementaires (code rural, code de l'environnement, code de l'urbanisme, code forestier, code minier, code de santé publique, protection de la biodiversité ou d'espèces menacées...).

Enfin, pour l'enseignement et la recherche, ils sont considérés par certains relevant des géosciences et pour d'autres des sciences de la vie mais pourraient aussi l'être plus par la géographie, les sciences économiques, humaines et sociales.

Leur grande diversité, leur multi fonctionnalité, leur multi usage, leur multi statuts juridiques et économiques, les divergences de rattachement disciplinaire, rendent difficile les adaptations d'une politique commune de leur gestion.

Pour ce faire, une politique de gouvernance territoriale des sols, définie par les parties prenantes, pourrait proposer des voies de gestion efficaces et pertinentes. Cette politique de gouvernance devrait pouvoir s'appuyer sur une meilleure connaissance des sols ; sur des bases de données de l'état et de la qualité des sols accessibles aux parties prenantes et fournissant des aides robustes et pertinentes. Elle devrait aussi s'appuyer sur un enseignement et une recherche bien lisibles et résolument pluri et inter disciplinaires et proposer une information grand public de qualité.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section V, groupe de travail sur les sols.



### **Proposer une gouvernance territoriale des sols.**

La gestion des sols, en visant à intégrer leur multifonctionnalité et à maîtriser la compétition entre leurs différents usages est un problème complexe, multi-acteurs et qui peut, à des niveaux très différents, être source de conflits, d'un niveau international à celui de problèmes de voisinage. Pour y répondre, une politique de gouvernance territoriale, impose la participation de tous les acteurs pour aboutir à des propositions consensuelles, avec différents niveaux d'implications, prenant en compte et hiérarchisant les usages des sols. Ainsi, faudrait il positionner les sols en regards de l'agronomie, de l'urbanisme, de l'environnement incluant le climat, préciser sans diviser les droits de propriétés et les droits d'usages, veiller à ce que les agriculteurs, qui ont trop d'interlocuteurs et sont des acteurs principaux, ne soient pas dépossédés de leurs choix sur leurs exploitations ; veiller à éviter des ambiguïtés dans les politiques publiques. Le maintien de la multifonctionnalité des sols pourrait être modulable en fonction des objectifs.

Une politique de gouvernance territoriale des sols se devrait d'appliquer le principe de subsidiarité en définissant des échelles « opérationnelles » qui ne correspondent pas toujours aux découpages administratifs actuels (et qu'il faudrait simplifier !).

### **Besoin de systèmes d'information, de sites expérimentaux et d'observatoires pour, l'inventaire et le suivi de l'état des sols et disposer d'aides à la recherche.**

Cette politique commune, ne peut se faire qu'en connaissant bien les sols et en disposant de bases de données qui soient de bons outils d'information, ouvertes à divers niveaux de précision, pour être des aides efficaces à la recherche, à la définition d'indicateurs de qualité et à la gestion des sols aux diverses échelles des usages. Les dispositifs actuels, qui couvrent le territoire et ont déjà donné lieu à des applications (Groupement d'intérêt scientifique Sols (GIS Sols), Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS), pourraient améliorer l'accès aux données et les compléter pour répondre aux demandes des utilisateurs, diversifier les échelles d'information...en fait développer les liens entre les sols et les utilisateurs.

Ces échelles pourraient aller de la parcelle (qui relève plus de l'échelle cadastrale et de l'agriculture de précision) à celles des petits bassins versants, terroirs ou à la région (qui relèvent plus de l'aménagement du territoire, des périmètres de protection des eaux, de la définition des appellations, du changement climatique, de plans d'urbanisme, etc.).

Les représentations du sol, au moins pour certains usages, pourraient se faire en 3D.

Les dispositifs (sites de référence, dispositifs expérimentaux) existants, sont de bons outils de recherche, pour appuyer des travaux fondamentaux et appliqués, définir et proposer des indicateurs de qualité des sols, élaborer des modèles fonctionnels et prévisionnels inter et pluridisciplinaires.

### **Besoin d'un enseignement sur les sols, plus visibles et plus complets et d'une information grand public.**

La science du sol ou pédologie sont des disciplines pluridisciplinaires qui pour la solidité des connaissances, la progression de la recherche et les applications liées à la gestion des sols, nécessitent un enseignement supérieur dédié aux sols, qui soit intégratif et allie l'expérience de terrain aux démarches conceptuelles des disciplines physiques, chimiques, biochimiques, biologiques et microbiologiques, géographiques, géochimiques de la science du sol.

L'enseignement supérieur de science du sol a été « victime » de la mise en place du système Licence, Maîtrise, Doctorat (LMD) et de l'autonomie des Universités qui ont défavorisé les disciplines pluri et interdisciplinaires en les intégrant dans de nouveaux cursus (sciences de l'environnement, géographie, gestion des ressources naturelles, etc.). L'enseignement sur les sols est souvent minoritaire dans ces cursus, alors que les sols représentent des enjeux considérables. A part quelques pôles associant écoles

d'agronomie, universités, organismes de recherche, la science du sol souffre de trop petites équipes. Il y a un besoin de créer ou recréer des réseaux nationaux et internationaux, qui soutiennent un enseignement et une recherche pluri et interdisciplinaire de qualité, fondés sur des pôles complémentaires reconnus.

Il existe aussi un vrai besoin de développer l'enseignement sur les sols dans les parcours des écoles, des collèges et lycées (évitons le mauvais classement de la France dans les disciplines scientifiques !). Enfin, le public est très mal informé de ce que sont les sols, de ce qu'ils font, évitons les clichés et même des idées fausses, pour promouvoir une vision « juste » des sols.

**Des perspectives de poursuites des travaux sur les sols au sein de l'Académie d'Agriculture de France.**

Comme l'annonce Christian VALENTIN dans l'introduction de cette séance « Vers une politique publique des sols », le groupe sols va arrêter ses travaux après de nombreuses contributions aux séances et de nombreuses publications.

Dans d'autres groupes de travail de l'AAF, le sol est un partenaire essentiel, et les participants au groupe sols, pourront s'y retrouver et y apporter leurs points de vue et leurs compétences comme pour : Agriculture, Eau, Climat et Politiques publiques ; Agro-écologie ; et quelques autres concernant l'agriculture, mais aussi le projet stratégique, les relations internationales.

---

## DES MATIÈRES PREMIÈRES AGRICOLES AUX ALIMENTS : QUEL IMPACT DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION SUR LA QUALITÉ DE L'ALIMENTATION ?

Séance organisée par Gérard **PASCAL**, Véronique **BRAESCO**, Didier **MAJOU**, Ismène **GIACHETTI**, Jean-Jacques **BIMBENET** et Philippe **IMBERT**

Au cours des millénaires, l'homme a appris à transformer les matières premières agricoles en aliments, grâce à des techniques et des procédés qui améliorent la conservation, la sécurité, la facilité d'utilisation des aliments, et qui donnent accès à des produits appréciés. Domestique et artisanale pendant des siècles, la transformation des aliments est aujourd'hui largement passée à l'échelle industrielle et on voit actuellement poindre la crainte que la consommation d'aliments transformés ou « ultra-transformés » ne soit défavorable à l'équilibre nutritionnel et à la santé.

L'objectif de cette séance publique est de fournir quelques éléments factuels sur la transformation des matières premières agricoles, de montrer sur des exemples précis le potentiel et la complexité de ce domaine, et d'aborder la façon dont elle peut impacter la qualité de notre l'alimentation.

### INTRODUCTION

par Gérard **PASCAL**<sup>1</sup>

La notion de qualité des aliments s'est considérablement enrichie au cours des 50 dernières années. Intégrant initialement essentiellement les paramètres de sécurité sanitaire (de la responsabilité des pouvoirs publics) et de valeur nutritionnelle (Rapport A. François, 1971), la qualité était plus tard présentée comme reposant sur 4 piliers, les 4S du rapport de P. Mainguy (1989) qui associait de plus l'aspect sensoriel et celui de service, directement appréciables par le consommateur. Aujourd'hui des préoccupations nouvelles des citoyens ont été intégrées (critères environnementaux, économiques, sociétaux...) de telle sorte que l'on peut parler comme le propose Didier Majou, évoquant les critères de qualité, de concept des 8S.

L'actualité récente a cependant placé sur le devant de la scène les critères nutritionnels et sanitaires, ceux qui permettent plus facilement de créer un « buzz » médiatique en faisant appel à la peur ; mais ceci n'est pas nouveau ! Ce qui est nouveau c'est, après que de nombreux efforts au plan international ont été réalisés pour proposer un étiquetage informant le consommateur sur la qualité nutritionnelle des produits (NutriScore, Sain-Lim, SENS, Traffic Light, Keyhole...), l'émergence de la proposition d'un critère qualitatif (nutrition,

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Directeur scientifique honoraire de l'INRA.

sécurité) discriminant fondé sur leur degré de transformation technologique (la classification NOVA).

Mon expérience m'a enseigné qu'une approche réductionniste de la nutrition (nutriment par nutriment, mais aussi aliment par aliment) était bien insuffisante pour juger de la valeur santé d'une alimentation. Les résultats des études épidémiologiques sont fragiles en dehors des études d'intervention. Même ces études ne permettent pas toujours de parvenir à un accord sur une allégation de santé (réduction de risque de maladie), les aliments dits « fonctionnels » ayant pourtant connus quelques succès.

Les progrès récents des connaissances des interactions des différents composants au sein d'une diète, du rôle des matrices alimentaires, des effets des transformations technologiques et culinaires sur l'ensemble des critères de qualité, imposent de s'interroger sur la solidité des bases scientifiques sur lesquelles s'appuyer pour différencier des produits, différenciation dont les conséquences sanitaires et économiques peuvent être déterminantes.

Pour en revenir à la qualité, la maîtrise de ses différents critères suppose une approche intégrée, d'ingénierie, impliquant tous les acteurs de la chaîne alimentaire.

C'est pour analyser scientifiquement ces différents aspects que le programme de cette séance a été imaginée abordant successivement :

- Une description des impacts des opérations et procédés sur les attributs des aliments, par **Gilles TRYSTRAM** ;
- La présentation d'une cartographie multicritères du marché français des pizzas, dans le cadre d'une meilleure connaissance de la transformation industrielle et de la diversité de nos aliments, par **Isabelle SOUCHON** ;
- La démonstration de la modulation de la cinétique de digestion et de la disponibilité des nutriments par la structure des aliments, par **Didier DUPONT** ;
- **Véronique BRAESCO** conclura.

## IMPACTS DES OPÉRATIONS ET PROCÉDÉS SUR LES ATTRIBUTS DES ALIMENTS

Pr Gilles **TRYSTRAM**<sup>1</sup>

Les procédés alimentaires visent à conférer des attributs, à un aliment ou un produit alimentaire intermédiaire, en mettant en œuvre une série d'opérations. Ces opérations utilisent des mécanismes variés, souvent combinés, physique, chimique, physico chimique et biologique. Historiquement au fil

---

<sup>1</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France. Directeur Général AgroParisTech, UMR Génial. Membre de l'Académie des Technologies.

des siècles des opérations et procédés ont été mis au point pour obtenir soit de nouveaux attributs (sanitaire, sensoriel), soit répondre aux évolutions des comportements et attentes des mangeurs. L'impact des opérations induit toujours une série d'attributs dont la littérature scientifique propose des classifications assez variées. On y trouve toujours la maîtrise des attributs impactant l'état sanitaire (biologique ou chimique notamment) de l'aliment, ses attributs sensoriels, nutritionnels, mais aussi technologiques qui permettent la réalisation d'opérations de transport, de conservation et d'usage des aliments. Les attributs attendus évoluent au cours du temps avec l'état des connaissances, les attentes des consommateurs et les comportements alimentaires associés, la réglementation (sanitaire, nutritionnelle et environnementale). Les procédés alimentaires sont souvent considérés à la seule échelle industrielle, mais les mécanismes sont les mêmes aux échelles artisanales et domestique.

Au plan des macro-mécanismes mis en œuvre dans les procédés alimentaires, deux grandes classes d'effets se distinguent. La création de structure des aliments (à toutes échelles) qui notamment impacte les attributs sensoriels et qui est ces dernières années un axe majeur pour la maîtrise de facteurs impactant les attributs nutritionnels. Les réactions biologiques, chimiques, biochimiques qui résultent de mécanismes de transferts de matière et de chaleur sont le second grand axe. Pour ces dernières, si l'on dispose de plus en plus de données et d'instruments pertinents, à toutes échelles, la complexité des effets d'interactions avec les matrices rend difficile, parfois impossible la prévision des conséquences des réactions qui s'enchaînent. Cette compréhension est sans doute un des grands enjeux du futur.

L'étude des procédés passe par l'expérimentation, la modélisation et l'analyse dans des espaces assez divers de représentation. Outre le classique et simple espace temps-température, l'impact d'une formulation sur des attributs de structure est possible par des diagrammes d'état, ce qu'à ce jour on ne sait pas simplement faire pour des mécanismes réactionnels. Des espaces d'analyses fonctionnent par des classifications a priori, et parfois très discutables qui sont utilisés notamment dans des approches d'épidémiologie nutritionnelle. Des espaces plus intéressants permettent l'analyse des trajectoires d'un aliment dans la dynamique du procédé considéré.

## MIEUX CONNAÎTRE LA TRANSFORMATION INDUSTRIELLE ET LA DIVERSITÉ DE NOS ALIMENTS POUR UNE ALIMENTATION PLUS SAIN ET PLUS DURABLE :

Exemple d'une cartographie multicritère du marché français des pizzas

I. SOUCHON<sup>1</sup>, B. MAURICE<sup>1</sup>, C. PENICAUD<sup>1</sup>,  
J. DELARUE, LG SOLER, A. SAINT-EVE<sup>1</sup>

Les consommateurs et citoyens ont aujourd'hui pris conscience que leur alimentation est un facteur clé de leur bien-être, de leur santé et qu'elle impacte l'environnement et le futur de nos sociétés à travers des pratiques plus ou moins durables. Les produits industriels transformés sont pointés du doigt pour être pour partie responsables de syndromes métaboliques conduisant à des maladies telles que le diabète de type 2, l'obésité, les maladies cardio-vasculaires (Monteiro *et al.* 2018, Moodie *et al.*, 2013).

<sup>1</sup> UMR GMPA INRA AgroParisTech, Thiverval-Grignon; UMR GENIAL INRA AgroParisTech Massy; UR ALISS INRA Ivry.

Des études récentes classent les aliments selon le niveau de transformation (Classification NOVA, Monteiro et al., 2016) et tentent d'établir des profils de consommation et des liens avec la santé. Par exemple, Poti et al. 2015 ont montré que plus de 3/4 de l'énergie quotidienne ingérée par les consommateurs Américains provenait de produits moyennement à hautement transformés. Au Brésil, et en Asie des liens semblent exister par exemple, entre la consommation de ces produits transformés et l'obésité (Baker et Friel, 2014 - Canella et al., 2014). Récemment une étude Française sur la cohorte NutriNet a montré des liens entre consommation d'aliments dits « ultra-transformés » et les risques de cancer (Foliet et al., 2018)

Toutefois, la catégorisation des produits selon leur niveau de transformation (classification NOVA) reste relativement empirique et ne prend que peu en compte la diversité de l'offre alimentaire. Il est donc clairement nécessaire aujourd'hui pour aider à la mise en place de recommandations pour les consommateurs, ainsi que pour les industriels ou les pouvoirs publics afin de construire d'une offre alimentaire industrielle plus saine et durable, d'analyser l'offre existante de façon multidimensionnelle sous l'angle de différents critères nutritionnels, technologiques, environnementaux, économiques et sensoriels et en s'appuyant sur des méthodes de détermination d'indicateurs robustes.

Pour cela, une cartographie du marché des pizzas vendues en grandes et moyennes surfaces a été réalisée à partir des données OQALI (Observatoire de la qualité des Aliments). Le choix des pizzas industrielles comme support de notre étude s'est basé sur la consommation élevée de ces produits en France, et sur le fait que les pizzas sont classées dans la catégorie des produits dits « ultra-transformés » selon la classification NOVA. Par ailleurs, les pizzas offrent des leviers importants de reformulation qu'il sera possible de mettre en œuvre pour tendre vers une alimentation plus saine, plus durable et appréciée. La première étape du travail a été de mettre en place un indicateur de *processing* (IDP) à partir de la connaissance des itinéraires technologiques de chacun des ingrédients. Cet indicateur a permis de montrer des différences significatives entre les familles de pizza ainsi qu'entre les secteurs frais et surgelés. Les indicateurs nutritionnels (5C, SENS) ainsi que le nombre d'additifs et d'ingrédients étaient également très variables entre les pizzas. Des modèles statistiques ont pu être mis en place afin d'étudier les liens entre les différents indicateurs. Ces travaux ont montré que le niveau de transformation des pizzas (indice de *processing*) était peu corrélé aux autres indicateurs. Si cet indicateur ne semble pas corrélé aux indicateurs environnementaux (Analyse de Cycle de Vie et Analyse exergétique), il reste faiblement corrélé à la qualité nutritionnelle des pizzas et notamment à la teneur en sel et à la densité calorique. Ainsi cette étude a permis de mettre en évidence la grande diversité au sein d'une même catégorie d'aliment industriel, montrant des leviers possibles pour une alimentation plus saine et adaptées aux besoins et préférences des consommateurs.

#### PUBLICATIONS

- (1) BAKER P.; FRIEL S., 2014. – Processed foods and the nutrition transition: evidence from Asia, *OBESITY REVIEWS*, **15**, 7, 564-577.
- (2) FIOLET T., SROUR B., SELLEM L., KESSE-GUYOT E., ALLES B., MEJEAN C., DESCHASAUX M., FASSIER P., LATINO-MARTEL P., BESLA M., HERCBERG S., LAVALETTE C., MONTEIRO C.A., JULIA C., TOUVIER M., 2018. – Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from NutriNet-Santé prospective cohort, *British Medical Journal*, *BMJ* 2018;**360**:k322.
- (3) MONTEIRO CA, CANNON G, LEVY RB et al., 2016. – NOVA. The star shines bright.[Food classification.Public health] *World Nutrition* January-March 2016, **7**,1-3, 28-38.

- (4) MONTEIRO CA; CANNON G; MOUBARAC JC; LEVY RB., LOUZADA MLC; JAIME PC., 2018. – The UN Decade of Nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing, *Public Health Nutrition*, **21**, 1, 5-17
- (5) MOODIE R., STUCKLER D., MONTEIRO C. et al., 2013. – Profits and pandemics: prevention of harmful effects of tobacco, alcohol, and ultra-processed food and drink industries, *LANCET*, **381**, 9867, 670-679.
- (6) POTI JM; MENDEZ MA., NG SW., POPKIN BM, 2015. – Is the degree of food processing and convenience linked with the nutritional quality of foods purchased by US households, *Am. J. Clinical Nutrition*, **101**, 6, 1251-1262.

### LA STRUCTURE DES ALIMENTS MODULE LEUR CINÉTIQUE DE DIGESTION ET LA BIODISPONIBILITÉ DES NUTRIMENTS

par Didier **DUPONT**<sup>1</sup>

Contrairement aux idées reçues qui résumant les propriétés nutritionnelles d'un aliment à sa seule composition, de nombreux travaux récents ont démontré que la structure de la matrice alimentaire est l'un des facteurs clés qui contrôlent la digestion des aliments et, par voie de conséquence, la cinétique de mise à disposition des nutriments.

Un aperçu de différentes études *in vitro* ou *in vivo* menées sur une grande variété de produits laitiers sera présenté pour illustrer ce fait. Par exemple, la comparaison des cinétiques de digestion de produits laitiers modèles (lait cru, pasteurisé, yaourt et fromage) de composition identique mais de structure différente montre une forte influence de l'état physique du produit sur la vidange gastrique qui affecte fortement la cinétique d'hydrolyse des protéines lactiques et la biodisponibilité des acides aminés.

De façon similaire, la digestion par le nouveau-né prématuré du lait humain soumis à un procédé d'homogénéisation indique clairement une augmentation de la lipolyse gastrique par rapport au même lait non traité. L'agrégation des protéines due aux effets cumulatifs de plusieurs traitements thermiques pendant la fabrication des préparations pour nourrissons a tendance à augmenter la résistance des caséines à la digestion.

Toutefois, bien qu'il soit maintenant établi que la structure des produits laitiers contrôle la cinétique d'hydrolyse des protéines et lipides, d'autres travaux sont nécessaires pour déterminer les conséquences physiologiques générées par les différences de cinétique observées.

---

<sup>1</sup> INRA – Agrocampus Ouest - UMR STLO Rennes.

## NOTE DE SYNTHÈSE

Cette séance a été organisée par la section alimentation de l'Académie d'agriculture en contrepoint des nombreuses interventions médiatiques portant sur les « aliments ultra-transformés » (selon une classification brésilienne dénommée NOVA) et à la position récente du Haut Conseil de la Santé Publique qui vise à réduire leur consommation de 20% d'ici 2021. L'objectif de cette séance était de verser au débat actuel des éléments scientifiques sur la notion de transformation des aliments.

Gérard **PASCAL**, membre de l'Académie d'agriculture de France, a introduit cette séance avec une perspective historique de la notion de qualité des produits alimentaires, qui s'est complexifiée au cours du temps. Pour appréhender correctement les relations entre alimentation et santé, il convient de prendre en compte, dans une approche scientifique intégrée un large ensemble de facteurs (besoin et comportement des consommateurs, consensus scientifique aliments/nutriments et pathologies, composition nutritionnelle des aliments et sa diversité, effets des transformations technologiques industrielles et culinaires, etc...).

Le professeur Gilles **TRYSTAM**, membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, est intervenu sur le thème de l'impacts des opérations et procédés sur les caractéristiques des aliments. Il a rappelé que les opérations de transformation ont été mises au point pour répondre aux enjeux sanitaires ou technologiques et aux attentes des consommateurs et ajouté que ces procédés sont les mêmes dans les domaines industriel, artisanal et domestique. On peut distinguer deux grandes classes d'effets des procédés sur l'aliment : la création de structure des aliments et les réactions biologiques, chimiques, biochimiques. On ne maîtrise pas bien ces dernières réactions du fait des interactions complexes avec la matrice des aliments. Le professeur explique que l'étude des procédés passe par l'expérimentation, la modélisation et l'analyse dans des espaces divers de représentation : il s'agit d'un domaine complexe, qu'il semble difficile de réduire à quelques principes généraux.

Isabelle **SOUCHON**, directrice de recherche Inra, a ensuite illustré cette complexité de la transformation, au cours de son intervention sur la transformation industrielle et la diversité de nos aliments, en donnant l'exemple d'une cartographie multicritère du marché français des pizzas. L'offre existante (387 produits industriels) a été analysée en fonction de différents critères nutritionnels, technologiques, environnementaux, économiques et sensoriels et en s'appuyant sur des méthodes de détermination d'indicateurs robustes. Sur la partie technologique, un indicateur de *processing* a été élaboré, qui prend en compte chaque ingrédient des pizzas et sollicite l'avis d'experts de chaque domaine technologique. Un résultat notable, parmi beaucoup d'autres, était que cet indicateur n'était pas ou peu corrélé aux autres indicateurs (environnementaux, sensoriels ou nutritionnels). Cette étude a permis de mettre une évidence une grande diversité au sein d'une même catégorie d'aliments et de suggérer des leviers possibles pour une alimentation plus saine et mieux adaptée aux besoins et préférences des consommateurs

Didier **DUPONT**, Directeur de recherche Inra a ensuite traité de la structure des aliments et de leur capacité à moduler la cinétique de digestion et la biodisponibilité des nutriments. Il explique l'influence de la structure de la matrice alimentaire sur la digestibilité des aliments et donc sur la mise à disposition des nutriments. Pour illustrer son propos, il utilise une étude menée sur des produits laitiers de composition identique mais de structures différentes : laits crus, pasteurisés, yaourt et fromage. Les résultats montrent une forte influence de l'état physique du produit sur la vidange gastrique, qui affecte la cinétique d'hydrolyse des protéines laitières et la biodisponibilité des acides aminés. Il faut maintenant orienter les études vers les conséquences physiologiques de ces différentes cinétiques de digestion : les résultats préliminaires suggèrent qu'on peut utiliser les modifications de structure induites par les traitements technologiques pour concevoir des produits plus adaptés, notamment aux besoins de catégories de populations particulières, telles que les sportifs de haut niveau, les seniors, les nourrissons prématurés...



Lors de la discussion qui a suivi, Didier Dupont et Isabelle Souchon ont pu répondre à des questions méthodologiques sur le fonctionnement du digesteur artificiel, sur l'élaboration de l'indice de processing ou encore la prise en compte de facteurs psychologiques sur les préférences exprimées sur des pizzas fraîches ou surgelées. Gilles Trystam a pu préciser son propos qui comparait les mécanismes de transformation à la maison et en industrie. La présence des nanoparticules dans les aliments a été abordée ainsi que le sujet de la cuisine note à note (cuisine à partir de composés purs et non plus d'aliments entiers). Une question sur l'évolution du traitement de l'obésité en lien avec les récentes découvertes a également été posée aux scientifiques présents.

Véronique **BRAESCO**, membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, a conclu la séance en revenant sur la notion de qualité des aliments, évoquée en introduction. Elle explique que la dimension de la qualité est riche et importante mais également complexe et difficile à réduire à une classification des aliments en fonction d'un degré de transformation que les technologues ont eux-mêmes du mal à définir. En s'appuyant sur les interventions précédentes, Véronique Braesco insiste sur le manque de robustesse de la classification NOVA et la nécessité d'aller plus loin, de mieux construire cette classification à l'aide d'experts en procédés de transformation alimentaire. Elle ajoute que la classification devrait prendre en compte beaucoup plus de facteurs que le degré de transformation (comme le coût, l'impact environnemental, l'appréciation des consommateurs) pour être réellement considérée comme intégrative et pour permettre de mettre en évidence les leviers sur lesquels jouer pour améliorer les choses.



---

## LES NOUVELLES FORMES DE FINANCEMENT DES INSTALLATIONS ET DES INVESTISSEMENTS INNOVANTS AGRICOLES

Séance organisée par Lucien **BOURGEOIS**, Jean-Claude **GUESDON**  
Membres de l'Académie

et Sébastien **PRIN**

Responsable marché de l'agriculture à la Confédération Nationale du Crédit Mutuel

La période actuelle est caractérisée par des taux d'intérêt extrêmement faibles. Est-ce pour autant que le financement des investissements est facile pour les exploitants agricoles ? Deux catégories particulières semblent rencontrer des difficultés, les jeunes qui s'installent et les exploitants qui se lancent dans des projets innovants, qu'ils comportent ou non d'importants investissements.

Cette séance sera l'occasion de passer en revue des solutions originales de financements adaptés à ces situations nouvelles.

### LE NOUVEAU PAYSAGE DU FINANCEMENT BANCAIRE EN AGRICULTURE

par Sébastien **PRIN**

La demande annuelle de financement dans les exploitations agricoles peut être estimée à 13 milliards d'Euros. Cette demande est depuis toujours essentiellement satisfaite par l'endettement bancaire sous forme de crédits, proposés majoritairement par trois réseaux de banques mutualistes. Dans cette intervention, l'auteur, salarié du groupe Crédit Mutuel, s'interroge sur les facteurs d'évolution du monde agricole et bancaire pouvant conduire à des changements dans les pratiques de financement.

Les banques répondent aujourd'hui à de nombreux projets, parfois très innovants, et qui participent à l'évolution des pratiques agricoles et des modèles alimentaires. Avec l'agrandissement des structures agricoles et le renchérissement d'un certain nombre de facteurs de production, notamment du foncier, les demandes de financement peuvent atteindre des montants importants.

Ces financements sont accordés en dépit du risque inhérent à tout projet innovant et dans un environnement où les aléas agronomiques, sanitaires, climatiques, économiques et humains ne cessent de croître.

Ces évolutions conduisent notre groupe mutualiste à questionner les actuelles offres de financement aux agriculteurs. Ces évolutions sont d'autant plus nécessaires que les pratiques bancaires changent également rapidement sous l'effet des contraintes réglementaires renforcées après la crise financière de 2007 et des modifications des pratiques des clients avec l'arrivée des outils de communication numérique.

C'est donc un nouvel écosystème de la relation bancaire qui est en train de se créer avec d'une part des évolutions internes reposant sur la diversification de l'offre de financement et le renforcement de la digitalisation des relations avec les clients, d'autres part l'association avec des partenaires externes permettant de renforcer la capacité de notre groupe bancaire à répondre à la diversité des projets.

Pour illustrer ces changements dans les pratiques de financement, Il est proposé à trois partenaires du groupe Crédit Mutuel d'exposer leur activité :

- SIAGI est une société créée à l'initiative des Chambres de Métiers et de l'Artisanat. C'est une société de caution mutuelle spécialisée dans la garantie de bonne fin des crédits d'investissements consentis par les banques aux entreprises de petite taille (artisans, commerçants, TPE, mais aussi les exploitations agricoles).
- Blue Bees est une société gérant une plateforme internet de don et prêt participatif dédiée au soutien ou au financement de projets agro-écologiques participant à la transition vers des modèles alimentaires soutenables. Les 25 000 membres donateurs et prêteurs de Blue Bees ont ainsi permis d'octroyer 3 millions € à 200 projets en France et à l'étranger.
- Labeliance Invest est une société proposant des solutions de financement en fonds propres à des sociétés et coopératives, notamment celles intervenant dans les filières agricoles et alimentaires, y compris des exploitations agricoles.

## CONCLUSION

par André NEVEU<sup>1</sup>

**Vous n'allez pas me croire si je vous dis que le métier de banquier de l'agriculture est un métier à haut risque, et pourtant...**

**C'est vrai que dans le passé, le financement de l'agriculture était considéré comme tranquille, mais modeste, car**

- Il comportait un grand nombre de tout petits prêts,
- Les agriculteurs étaient prudents, soucieux de faire face à leurs engagements et, s'ils étaient propriétaires, pouvaient offrir des garanties réelles,
- L'agriculture a longtemps bénéficié de prix garantis et, en cas de crise grave, les gouvernements intervenaient financièrement afin de limiter les conséquences des sinistres.

**Mais aujourd'hui, la situation a bien changé :**

- En raison de l'accroissement de la taille des exploitations, des matériels toujours plus puissants et des installations de ferme de plus en plus conséquentes, les niveaux d'endettement par exploitation ont beaucoup augmenté,
- Il est maintenant bien difficile d'obtenir des garanties réelles de la part des emprunteurs et encore plus celles des membres de la famille,
- Les prix de vente donc les marges ont fortement diminué tandis que la volatilité des marchés s'accroissait,
- Enfin le changement climatique menace les rendements futurs.

Heureusement, tous les financements ne présentent pas les mêmes risques. Mais incontestablement **deux domaines** sont très délicats. Ce sont les installations et les opérations de développement importantes.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, ancien Adjoint au directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales du CNCA.

Comme nous l'a montré Dominique **BOUVIER**, l'installation de nouveaux agriculteurs est une nécessité si on veut conserver une agriculture vivante partout en France. C'est aussi une opération très délicate pour de nombreuses raisons :

- Les capitaux à mobiliser sont importants,
- L'activité agricole ne dégage qu'une rentabilité médiocre, parfois négative pendant les années qui suivent l'installation,
- C'est souvent un nouveau métier pour l'intéressé, en particulier lorsqu'il s'agit d'installation hors cadre familial.

Les pouvoirs publics l'ont compris depuis longtemps. Ils ont donc accordé divers avantages à l'installation et pendant les premières années qui la suivent : dotation en capital, autrefois prêts bonifiés, réduction de charges, avantages fiscaux... Mais pour en bénéficier, les futurs agriculteurs dans leur parcours à l'installation doivent posséder une sérieuse formation agricole, disposer d'une exploitation d'une certaine taille, présenter à une commission régionale un projet crédible et échelonné sur plusieurs années...

Devant les difficultés auxquelles sera inévitablement confronté le repreneur, les parents agriculteurs acceptent souvent de quitter l'exploitation de manière progressive, ce qui est maintenant possible en restant associés dans le cadre d'un GAEC ou d'une EARL. Surtout les GFA familiaux se sont multipliés afin de porter les terres en propriété et éviter ainsi leur rachat par le nouvel agriculteur. Néanmoins, de nombreux dangers peuvent vite fragiliser le nouvel exploitant : installation avant une chute des prix de vente, investissements mal calibrés, choix d'une production aux résultats incertains ou sans débouchés garantis, sous-estimation des besoins en fonds de roulement...

Sébastien **PRIN** nous a prévenu : les opérations de développement sont aussi une cause sérieuse de risque pour les agriculteurs, en particulier lors de projets innovants. Il peut s'agir d'un achat de terre (en cas de préemption par exemple), d'une extension de l'entreprise en reprenant les terres d'une exploitation voisine, de la création d'un gros atelier d'élevage porcin ou avicole, de l'installation d'une serre importante... Tous ces investissements, qui vont modifier profondément le cadre dans lequel travaillait jusqu'ici le chef d'exploitation, doivent être l'objet d'une étude complète par celui-ci et ses conseillers, mais aussi d'une analyse approfondie par le banquier. Car dans la plupart des cas, les besoins de financement sont importants et les garanties bien maigres.

D'ailleurs, l'insuffisance des garanties réelles, telle l'hypothèque, a longtemps freiné les interventions des banques commerciales. Les banques mutualistes les complétaient par des garanties personnelles comme les cautions solidaires. Mais celles-ci sont de plus en plus difficiles à obtenir car elles engagent trop lourdement le garant.

Des fonds de garantie ont alors été créés, parfois avec l'apport financier de l'Etat car ils doivent être suffisamment capitalisés. Mais il est nécessaire de lever une ambiguïté : ces fonds constituent une garantie pour le prêteur et non pour l'emprunteur. D'ailleurs en général, ils n'interviennent qu'une fois l'exploitation mise en liquidation.

Nous avons vu, avec Michel **COTTET** que la SIAGI, une société de garantie intervenant depuis longtemps dans le secteur de l'artisanat s'est depuis quelques années élargi au secteur agricole.

Les apports en fonds propres constituent une autre solution pour aider les agriculteurs qui manquent de capitaux alors que les initiatives se multiplient. C'est pourquoi le rôle de ces fonds d'investissements participatifs reste limité car les ressources manquent comme Emmanuelle Paillat nous l'a montré.

Gérald **EVIN** nous a présenté un autre type de financement participatif qui est certes en expansion, mais reste tout de même encore modeste au regard des besoins de financement du secteur. On aurait pu citer aussi la Société Gestel SA qui loue 30 000 vaches à 1000 éleveurs, lesquelles vaches sont financées par 900 épargnants.

Quoi qu'il en soit, on est encore loin en France de l'action des fonds d'investissements internationaux qui financent pour leur plus grand profit d'immenses exploitations en Amérique du Sud par exemple. Car dans l'hexagone, le plus souvent, **la faible rentabilité du capital agricole** ne permet pas de rémunérer en même temps l'épargnant et l'agriculteur, sans compter les frais de gestion de l'intermédiaire. A mon sens, le rôle de ces fonds de garantie ou d'investissements participatifs est plutôt de montrer à des banquiers, toujours prudents mais souvent aussi fort frileux, que le projet de l'exploitant doit retenir son attention bienveillante. Ce n'est pas négligeable.

## GÉOSTRATÉGIE ALIMENTAIRE EN MÉDITERRANÉE : L'ENJEU CÉRÉALIER

Séance organisée par Jean-Louis **RASTOIN**  
Membre de l'Académie d'agriculture de France

Un exercice de prospective conduit par l'Inra et Pluriagri pour la région ANMO (Afrique du Nord & Moyen-Orient) montre une forte progression de l'insécurité alimentaire dans cette zone à l'horizon 2050 dans un scénario tendanciel prenant en compte les effets du changement climatique. Le taux de dépendance aux importations pourrait s'établir à 65%, contre environ 40% aujourd'hui (Le Mouel et al., 2015) et concerne principalement les grains (céréales, en raison d'une diète alimentaire qui reste basée sur les dérivés des farines et semoules et oléagineux du fait du développement de l'élevage intensif). On observe par ailleurs depuis quelques années un affaiblissement des exportations européennes de grains et une progression des positions nord et sud américaines et des Balkans. Cette situation pose à la fois le problème des modèles de consommation et de production et celui des relations économiques et politiques de la région avec ses fournisseurs.

L'objectif de la séance est d'analyser le rôle des céréales dans ces géostratégies, avec en perspective 2 scénarios contrastés, celui d'une coopération régionale renforcée, ou au contraire celui d'une globalisation élargie et une approche de leurs impacts nationaux et internationaux.

### INTRODUCTION

Jean-Louis **RASTOIN**

**La géostratégie**, terme forgé par le général et homme politique piémontais Giacomo Durando (1846) s'intéresse aux actions des entités publiques et privées dans les espaces géographiques. Selon l'expression du général Beaufre (1965) «*La stratégie est l'art de faire concourir des moyens hétérogènes (militaires, économiques, psychologiques, scientifiques...) et des actions dissemblables à la réalisation d'objectifs globaux*». On se situe donc dans le domaine des phénomènes structurants et du long terme et non pas dans la conjoncture. Nous appliquerons ces concepts au système alimentaire méditerranéen et plus particulièrement à la filière céréales.

#### Quelles justifications à ce thème ?

1/La Méditerranée constitue un espace sous fortes contraintes dont l'UE est partie prenante, avec 10 pays sur les 25 riverains. Ces contraintes sont d'ordre :

- Politique, avec plusieurs zones de conflits armés et des migrations de grande ampleur
- Démographique, avec un accroissement attendu à l'horizon 2050 d'environ 100 millions d'habitants (d'environ 500 millions d'habitants aujourd'hui à 600 millions). La progression concernant essentiellement les PSEM (pays du sud et de l'est de la Méditerranée)
- Foncier, avec une surface agricole limitée et souvent dégradée

---

<sup>1</sup> Nous devons la première publication scientifique francophone relative aux politiques et stratégies alimentaires à notre regretté confrère Louis Malassis (Malassis, 1985).

- Climatique, avec un réchauffement prévu parmi les plus élevés au monde, d'ores et déjà accompagné d'un lourd déficit hydrique dans une majorité de pays
- Économique, avec de très importantes inégalités de revenu entre pays et au sein de chaque pays

2/De nombreux pays méditerranéens connaissent une forte insécurité alimentaire, avec le double fardeau d'importations massives et très coûteuses (la facture extérieure alimentaire avoisinait 70 milliards de dollars en 2016), et d'une dérive du modèle de consommation porteuse de pandémies (obésité, maladies cardio-vasculaires, diabète de type 2, cancers)

3/Les céréales, blé dur et blé tendre et leurs dérivés, occupent une place centrale dans l'alimentation

**Dans ce contexte**, les stratégies d'acteurs, tant publics (les États) que privés (les entreprises et les filières) seront déterminantes pour l'avenir du système alimentaire en général et de la filière céréales en particulier.

En effet, la plupart des exercices de prospective sectorielle, en particulier ceux de l'IPEMED (Rastoin *et al.*, 2012, 2014) et de l'Inra/Pluriagri (Le Mouel et Schmidt, 2017) démontrent que le scénario « au fil de l'eau » fondé sur l'expansion du système agroindustriel, spécialisé, concentré, globalisé et financiarisé aggraverait l'insécurité alimentaire de la région méditerranéenne.

Il apparaît en conséquence utile et urgent de réfléchir à la conception et à la construction de systèmes alimentaires alternatifs pour contribuer aux objectifs du développement durable (ODD) tels que définis par les Nations Unies pour 2030. Ces systèmes devraient mobiliser des innovations dans plusieurs domaines dont :

- Les technologies de production et commercialisation agricole et agroalimentaire (bioéconomie circulaire)
- La localisation des productions (territorialisation selon le principe de la souveraineté alimentaire)
- Les échanges internationaux (en passant du marché spot à des contrats pluriannuels d'approvisionnement et au co-développement des filières)

Pour procéder à des analyses, proposer des pistes d'action et susciter des débats sur ce vaste sujet, 5 conférenciers prendront successivement la parole :

Sébastien **ABIS**, directeur du Club Déméter :

« *Géostratégies alimentaires en Méditerranée : L'enjeu céréalier* »

Rémi **HAQUIN**, Agriculteur, responsable du Conseil spécialisé céréales de FranceAgriMer

« *Le marché méditerranéen des céréales : dynamique et positionnement concurrentiel de la France et de ses compétiteurs* »

Gilles **KINDELBERGER**, Directeur général du groupe SENALIA, Rouen :

« *Le point de vue du premier groupe logistique français et européen d'exportation de céréales* »

Omar **BESSAOUD**, membre correspondant de l'AAF, enseignant-chercheur associé au CIHEAM-IAM de Montpellier :

« *La question céréalière en Algérie et les marchés mondiaux* »

Jean-Paul **CHARVET**, membre de l'AAF :

*Conclusions*



### Références bibliographiques

- BEAUFRE Gal A., 1965. – *Introduction à la stratégie*, Librairie A. Colin, Paris
- DURANDO G., 1846. – *Della nazionalità italiana - saggio politico-militare*, Lausanne, S. Bonamici e comp, 1846.
- LE MOUËL C., SCHMITT B. (coord.), 2017. – *La dépendance alimentaire de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient à l'horizon 2050*, Quae, Paris : 144 p.
- MALASSIS L. (coord.), 1985. – *Politiques et stratégies alimentaires, Économies et Sociétés, Cahiers de l'ISMEA*, série AG N°18, Paris : 287 p.
- RASTOIN J.-L., BENABDERRAZIK E.H., 2014. - *Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb : Pour un co-développement de filières territorialisées*, Ipemed, Col. « Construire la Méditerranée », Paris : 136 p.
- RASTOIN J.L., BOURGEOIS L., CHERIET F., MOHAVEDI N., 2012. – *Pour une politique agricole et agroalimentaire euro-méditerranéenne*, Ipemed, Col. « Construire la Méditerranée », Paris : 86 p.

### L'ENJEU CÉRÉALIER

par Sébastien ABIS<sup>1</sup>

Les céréales ont toujours eu une dimension stratégique dans l'histoire. La Méditerranée n'échappe pas à cette réalité. Depuis un demi-siècle, les pays de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient (ANMO) sont devenus des importateurs structurels en céréales. En effet, entre leur croissance démographique (100 millions d'habitants en 1950, 500 millions actuellement, 700 à l'horizon 2050), la raréfaction de l'eau mais aussi de la terre ou l'accentuation des contraintes climatiques, ces pays sont confrontés à des difficultés majeures de production et parallèlement à une augmentation significative de la demande en céréales. Bien que des performances agronomiques, techniques ou logistiques aient été enregistrées pour permettre à ces pays de produire plus et mieux, ils n'équilibrent leurs besoins que grâce aux approvisionnements depuis les marchés internationaux. Ainsi, les importations de céréales dans la zone ANMO sont passées de 30 millions de tonnes en 1990 à 50 millions en 2000 puis 75 millions en 2010 pour atteindre désormais la barre symbolique des 100 millions de tonnes. Près de deux-tiers des céréales consommées par ces pays proviennent du commerce international. A l'horizon 2025, la région importera sans doute entre 120 et 140 millions de tonnes de céréales chaque année. Le blé constitue la céréale dominante dans cette équation géostratégique, parce qu'il est très prisé des consommateurs de ces pays, grands mangeurs de pain et de pâtes. 60 % des céréales importés par la zone ANMO sont des blés, surtout tendres. Actuellement, la zone achète sur les marchés internationaux environ 55 millions de tonnes de blé et tout porte à croire que les volumes importés par ces pays continueront à croître en raison des limites géographiques évoquées, des dynamiques de consommation et d'un contexte géopolitique globalement peu favorable au développement agricole local et à l'optimisation de la sécurité alimentaire. Il faut donc comprendre le rôle géostratégique persistant des grandes zones de production de céréales de la planète vis-à-vis des besoins en croissance de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Celle-ci achète ses matières premières vitales aux quatre coins du globe. Les approvisionnements se font depuis les États-Unis, le Canada, l'Argentine ou encore l'Australie, mais

<sup>1</sup> Directeur du Club DEMETER, Chercheur associé à l'IRIS.

également, et surtout, de Russie et d'Ukraine de plus en plus ces dernières années, sans oublier ceux d'origines européennes et françaises. Il est certain que la montée en puissance des productions russes, qui a mécaniquement entraîné un accroissement de leur potentiel à l'export, est venue concurrencer la France sur les marchés nord-africains. Deux tiers de l'exportation de blé russe se font actuellement vers la zone ANMO où des parts de marché ont été conquises grâce à plus de quantité, à un rehaussement des qualités proposées et une diplomatie économique déterminée. Il est intéressant toutefois de comparer sur la durée (c'est-à-dire depuis au moins une à deux décennies, et pas uniquement depuis une à deux campagnes) les performances de la Russie ou de la France pour constater que notre petit Hexagone, où les surfaces cultivées en blés sont 10 fois inférieures à celles de la Russie, parvient à produire des quantités importantes. Les céréales françaises assurent depuis les années 1970 à la fois une sécurité alimentaire pour les Français, mais aussi pour les Européens et les populations du bassin méditerranéen. Bien évidemment, les productions françaises ne suffisent pas à elles seules à combler l'intégralité des besoins de la Méditerranée, mais elles contribuent de manière stratégique à équilibrer la sécurité alimentaire de ces pays. Il serait regrettable de l'ignorer d'un point de vue stratégique ou de vouloir abandonner cet axe clef de la politique extérieure de notre pays vis à vis du voisinage méridional. 15 % de la récolte française en blé depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle a terminé sur la table des consommateurs nord-africains. Outre les considérations économiques et sociales pour les agricultures et les ruralités en France, sans oublier non plus ce que ces échanges céréaliers permettent au niveau de la balance commerciale, de l'influence internationale, de la coopération technique ou de la francophonie, l'existence de ces circuits longs mérite d'être analysé à l'aune d'enjeux géopolitiques colossaux qui se dessinent entre l'Afrique, la Méditerranée et l'Europe. Il s'agit là aussi d'un point de réflexion à creuser quant aux futurs possibles de la politique agricole européenne et d'une redéfinition des relations stratégiques entre la France et ces espaces du voisinage où les actions de défense, de développement et de diplomatie s'imbriquent de plus en plus.

### **LE MARCHÉ MÉDITERRANÉEN DES CÉRÉALES : DYNAMIQUE ET POSITIONNEMENT CONCURRENTIEL DE LA FRANCE ET DE SES COMPÉTITEURS**

Rémi HAQUIN<sup>1</sup>

En moyenne des 4 campagnes concernant les récoltes 2013 à 2016, la France se situe au 5<sup>e</sup> rang mondial des producteurs et au 3<sup>e</sup> rang mondial des exportateurs de blé.

Pour des raisons historiques, le bassin méditerranéen est une destination privilégiée des blés français : la France en est le 1<sup>er</sup> fournisseur (30 %) et l'Afrique du Nord est parmi les pays tiers, le principal débouché du blé français (60 %).

La bonne adéquation des blés français aux différents besoins se traduit par une présence forte et régulière en Algérie et au Maroc, mais plus aléatoire en Égypte et en Tunisie.

Selon les pays destinataires, les acheteurs peuvent être des offices d'état ou des entreprises privées, mais les cahiers des charges y sont toujours stricts et doivent être rigoureusement respectés, traduisant

---

<sup>1</sup> Agriculteur, président du Conseil spécialisé Céréales de FranceAgriMer.

**la nécessité d'une amélioration continue de la qualité des blés français** (taux de protéines, indice de Hagberg et poids spécifiques élevés, taux d'humidité bas).

Le retour parmi d'autres, de la Russie et de l'Argentine dans le cercle des pays exportateurs de blé, exacerbe la concurrence internationale et génère un besoin de **compétitivité** du blé français, d'autant plus crucial que les parités monétaires lui sont actuellement défavorables.

Dans un marché en forte croissance et de plus en plus concurrentiel, si la part de marché du blé français diminue, **la filière s'organise** pour maintenir un volume important d'exportation vers ces destinations méditerranéennes. C'est en particulier le rôle de France Export Céréales qui par une présence permanente et son action, y assure la promotion du blé français.

## LE POINT DE VUE DU PREMIER GROUPE LOGISTIQUE FRANÇAIS ET EUROPEEN D'EXPORTATION DE CEREALES

Gilles **KINDELBERGER**<sup>1</sup>

Alors qu'auparavant la France était importatrice de céréales, depuis le début des années 60, la production française devenue excédentaire a dû trouver des marchés à l'exportation.

Timidement sur les deux premières décennies, puis très activement à partir des années 80, le secteur agricole, et principalement au travers de son réseau coopératif, a construit des outils portuaires conséquents permettant de répondre à leurs besoins en termes de capacités de stockage, mais aussi et surtout en matière de capacité de chargement.

C'est ainsi que des Unions de coopératives ont été créées, les unes en vue d'assurer la commercialisation de la production (Union Invivo), d'autres pour en assurer la logistique (Sénalia, Sica Pallice, Sica Dunkerque...)

Les céréales exportées durant les années 80 et début 90 avaient une destination toute trouvée. Même si nous pourrions parler de temps anciens, rappelons-nous l'ère de l'Union soviétique où le bloc constitué, malgré le fait qu'il soit producteur de céréales, avait beaucoup de difficultés à satisfaire la demande intérieure et importait massivement blés et orges.

Les bousclements politiques, la désintégration de cette Union, les indépendances retrouvées, tous ces éléments ont redistribué toutes les cartes. Une politique volontariste et productiviste s'est mise en place dans les pays de l'Est et en un peu plus de dix ans, ces pays se sont trouvés excédentaires et donc exportateurs.

La France a dû conquérir d'autres marchés. Ce sont principalement les pays d'Afrique du Nord qui, aujourd'hui, sont destinataires de la production céréalière française. Notre proximité géographique, notre proximité culturelle et historique, et le fait que l'Algérie, le Maroc et certains pays de la côte ouest de l'Afrique consomment du pain à la Française, ont été des éléments structurants et déterminants.

Exporter nos productions céréalières françaises est un acte majeur à plusieurs titres. Ces exportations contribuent de façon significative, à la balance du commerce extérieur. Elles assurent également des débouchés pour ce que produisent nos agriculteurs français. La France, du reste, a longtemps conservé

---

<sup>1</sup> Directeur général du Groupe SENALIA.

sa place parmi les 5 grandes nations exportatrices de céréales. Et puis l'Afrique est un continent où l'évolution démographique sera la plus importante d'ici 2050. Comment va se nourrir toute cette population si les pays qui en ont la capacité ne le font pas pour eux, ou à leurs côtés ?

Et dans tout cela, quel peut-être le rôle d'une Union comme Sénalia ? en quoi pouvons-nous contribuer, à notre modeste niveau, à ce que la France reste un des leaders d'une production céréalière et conserve une part significative dans les échanges mondiaux au profit des pays importateurs ?

Pour être et demeurer compétitive, la France a besoin d'une production rationnelle et optimisée. Mais elle a également besoin d'outils logistiques performants et compétitifs. Au travers des outils voulus et construits par ses 60 coopératives adhérentes, Sénalia reste le leader français portuaire dans les exportations de céréales. Sénalia est également la première installation portuaire de l'Europe de l'Ouest. La collecte réalisée par les adhérents de Sénalia représente près de 60 % de la production céréalière française. Son hinterland d'approvisionnement s'étend du Nord au Sud sur une distance de plus de 350 kilomètres et d'Ouest en Est de 450 kilomètres. De grandes plaines de productions pour lesquelles les marchandises sont acheminées des zones de collectes sur Rouen par camions, par trains, mais aussi par péniches et barges. Le positionnement stratégique de Rouen, place multimodale, a donné à Sénalia toutes les opportunités de transport.

Depuis 1992, le groupe s'est diversifié en assurant toute la logistique et le stockage pour certaines agro-industries. Sénalia assure l'approvisionnement et le stockage pour les usines de Saipol à Grand Couronne (trituration de Colza pour la production d'huile et d'ester méthylique), Téréos à Lillebonne (transformation de blé pour la production de Gluten et de Bioéthanol), Saint Louis Sucre pour l'exportation de sucre en sac et en vrac. Sénalia assure également l'approvisionnement des usines de Cargill et Barry Callebaut en fèves de cacao, fèves qui sont principalement importées du Ghana, de la Côte d'Ivoire et du Nigéria.

Compte tenu de ces atouts, depuis plusieurs années, Sénalia a mis en œuvre un système de navettes mutualisées permettant aux organismes stockeurs de livrer leurs productions à des prix plus compétitifs que s'ils le faisaient par leurs propres moyens. Des gains de production significatifs ont été opérés au profit des livreurs, tout en assurant des approvisionnements réguliers sur les installations portuaires.

C'est donc au travers de ses capacités 500 000 tonnes de capacité de stockage en silo vertical, de ses capacités de chargement ou les cadences horaires sont de 3000 tonnes, lui permettant de charger un navire de 25 à 30 000 tonnes en une journée, que Sénalia s'est fait connaître. C'est aussi en devenant organisateur de transports, créateur de solutions logistiques innovantes, que Sénalia a trouvé écho non seulement en France, mais aussi à l'étranger. Le groupe a énormément investi ces 10 dernières années pour que les moyens de réception restent performants voire innovants. Avec ses 146 salariés et au plus fort de l'activité, Sénalia est en mesure de charger 700 000 tonnes en un mois. Et pour cela, nous sommes en mesure de réceptionner chaque jour, plus de 800 camions, 10 500 tonnes de barges et péniches, mais aussi 10 400 tonnes par la voie ferrée.

Le groupe Sénalia, uniquement prestataire de service (les marchandises qui transit au travers des installations appartiennent soit au livreur, soit au chargeur), est un groupe dont la structure financière permet à l'ensemble de la filière et de ses clients, d'avoir confiance en l'avenir. Avec un chiffre d'affaire de 39 M€/an, un EBE de plus de 13 M€ et une CAF supérieur à 10,5 M€, le groupe voit ses capacités de développement de façon positive.

Forts de ces succès, nous avons pensé que proposer ces mêmes solutions à destination pourrait représenter des facteurs de croissance pour le groupe Sénalia, et assurer une pérennité dans les débouchés de nos productions françaises. Nous sommes donc entrés en contact avec les autorités

marocaines, algériennes et qataries et leur proposer nos services. Ce que nous savons faire en France doit pouvoir être transposé à destination, en effet miroir.

Des études menées dans ces différents pays nous ont conforté dans le fait que la logistique à l'arrivée était perfectible. Des sommes importantes sont payées chaque année au titre des surestaries et quel que soit le pays de destination. Cela est principalement dû au fait que les installations portuaires à destination sont souvent congestionnées. Et si elles le sont, c'est principalement dû au fait de problèmes logistiques qui devraient être mis en place pour dégager ces silos portuaires (par Fer ou par Route) pour aller sur les lieux de stockages ou de transformation.

À ce jour, toutes les études et tous les constats faits ont recueilli l'assentiment et la validation des autorités compétentes. Nous allons maintenant passer à la phase de construction ou co-construction de ces nouveaux modèles logistiques à destination. Ces modèles profiteront aux pays importateurs, mais aussi à la ferme France, qui, nous en sommes convaincus, conservera une part de marché significative et suffisante à garantir une production française en quantité, mais aussi et surtout, en qualité.

## LA QUESTION CÉRÉALIÈRE EN ALGÉRIE ET LES MARCHÉS MONDIAUX

Omar **BESSAOU**<sup>1</sup>

Mon intervention s'articulera autour des points suivants :

Remarques préliminaires sur les statistiques et le commerce des produits agricoles

1. Place des céréales dans le système productif agricole et la consommation
2. Les importations algériennes de céréales (volumes, prix, origines)
3. L'organisation de l'office algérien des céréales et sa stratégie commerciale
4. Etat du commerce des céréales entre l'Algérie et la France
5. Quelques éléments pour penser l'avenir des relations commerciales entre les deux pays

## CONCLUSIONS

par Jean-Paul **CHARVET**<sup>2</sup>

Les exposés introductifs de Jean-Louis RASTOIN et de Sébastien ABIS ont souligné – tout comme l'ouvrage collectif dirigé par S. Le Mouél et B. Schmitt (*La dépendance alimentaire de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient à l'horizon 2050*, Quae, 2017) – l'ampleur et la croissance continue de la dépendance alimentaire des pays du sud et de l'est du Bassin méditerranéen vis-à-vis des marchés mondiaux, dépendance qui constitue une donnée géopolitique majeure. L'ensemble « Afrique du Nord – Moyen-Orient » qui importait chaque année 30 millions de tonnes de céréales en 1990, 50 millions de tonnes en 2000 et plus de 100 millions de tonnes actuellement pourrait en importer entre 120 et 140

---

<sup>1</sup> Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 10.

millions de tonnes en 2025 (S. Abis). Cette première zone déficitaire en grains de la planète se trouve à proximité immédiate de l'Europe, ce qui pose sur le plus long terme une question géostratégique de première importance. Pour l'avenir irons-nous vers une globalisation toujours plus poussée ou vers une coopération régionale renforcée? (J.-L. Rastoin).

Dans ce contexte la compétition est devenue de plus en plus vive en Méditerranée entre les grands pays exportateurs de grains, et en particulier entre la Russie et la France. La Russie bénéficie de coûts de production moins élevés et d'une monnaie sujette à des dévaluations. En revanche la France propose des blés dont la qualité est meilleure et mieux suivie et de filières solidement organisées (exposé de Rémi HAQUIN). La logistique sur laquelle peuvent s'appuyer ces filières s'est améliorée, grâce en particulier à Sénalia (exposé de Gilles KINDELBERGER). Sénalia est une entreprise prestataire de services logistiques à l'exportation de première importance alors que la collecte réalisée par les adhérents de Sénalia représente aujourd'hui près de 60% de la production céréalière française. L'entreprise propose désormais des solutions logistiques innovantes non seulement dans un pays exportateur comme la France, mais aussi dans des pays importateurs.

Dans un contexte où l'Afrique du Nord constitue un débouché majeur pour les blés français l'exposé d'Omar BESSAOUD a présenté la question céréalière en Algérie ainsi que la stratégie commerciale de l'Office Algérien des Céréales, en particulier dans ses relations avec la France. Dans un pays où la progression de la production céréalière demeure handicapée par de fortes contraintes (ressources en terres cultivables et en eau limitées), le recours de l'Algérie aux importations a pris une ampleur considérable : le taux de dépendance céréalière de l'Algérie (pays dont la population est, avec plus de 40 millions de personnes, quatre fois plus élevée qu'en 1961) est désormais supérieur à 70%. Les relations étroites qui existent entre la France et l'Algérie, relations fondées sur les interconnaissances entre acteurs économiques, sur la proximité géographique et sur une réelle proximité culturelle (dont la langue et la consommation de blé) permettent de comprendre que l'Algérie soit le premier importateur de blé français.

En conclusion J.-P. CHARVET a souligné que la géographie des échanges de céréales en Méditerranée était loin de reposer uniquement sur des conditions agronomiques et socio-économiques s'exprimant au travers de coûts de production, même si ceux-ci ont toute leur importance. Cette géographie apparaît également fondée sur la qualité des produits échangés et de la logistique (organisations du transport, du stockage ...) mobilisée ainsi que sur les relations de confiance mutuelle que savent entretenir les acteurs économiques ... et les Etats. Alors que le multilatéralisme apparaît de plus en plus mis à mal et que l'OMC éprouve bien des difficultés pour parvenir à un accord portant sur l'agriculture, des coopérations régionales renforcées constituent sans doute des initiatives à soutenir et à encourager.

---

## RÉVOLUTION VARIÉTALE EN VITICULTURE ! DE NOUVEAUX CÉPAGES RÉSISTANT AUX MALADIES : CRÉATION, DÉPLOIEMENT ET IMPACT SUR LA FILIÈRE VITICOLE

Séance organisée par Yves **LESPINASSE**  
Membre de l'Académie d'agriculture de France

Les variétés traditionnelles de vigne cultivées d'origine européenne (*Vitis vinifera*) sont très sensibles aux maladies cryptogamiques venues d'Amérique, comme le mildiou (*Plasmopara viticola*) ou l'oïdium (*Erysiphe necator*). Plusieurs sources de résistance à ces champignons parasites ont été décrites chez des espèces de *Vitis* d'origine américaine ou asiatique. Par hybridations, l'INRA a incorporé certaines de ces résistances dans le fonds génétique cultivé ; pour éviter un contournement précoce des résistances monogéniques, des variétés associant plusieurs gènes de résistance ont été développées. Elles viennent d'être plantées à Colmar et à Bordeaux selon un mode expérimental qui sera présenté. Ces essais visent à préparer le déploiement des nouvelles variétés en préconisant les itinéraires techniques les mieux adaptés à la gestion durable des résistances. Les premiers résultats sont très encourageants en termes de réduction des traitements fongicides. La démarche scientifique multidisciplinaire combine des analyses relevant de l'agronomie, de l'économie et de la sociologie, et mobilise des professionnels.

Plusieurs variétés de vigne résistantes à ces deux maladies sont en cours d'inscription sur le catalogue officiel. L'utilisation des nouveaux cépages naturellement résistants au mildiou et à l'oïdium constitue un outil novateur à la disposition des viticulteurs. Mais intégrer ces variétés aux paysages de nos cépages traditionnels va modifier en profondeur l'ensemble des pratiques viticoles et œnologiques et conduire à une évolution du cadre réglementaire. Il est donc nécessaire de baliser le chemin en concevant et en évaluant les systèmes viticoles de demain.

### INTRODUCTION

par Yves **LESPINASSE**<sup>1</sup>

Jean-Louis **BERNARD**<sup>2</sup> intervenait à l'Académie d'Agriculture, lors d'une séance libre le 30 mars 2016, sur le thème de la protection des vignobles européens – 2500 ans d'histoire ; il montrait que le nombre de bioagresseurs de la vigne n'a cessé de s'accroître au fil du temps, en particulier lors de la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. Ce fut une période catastrophique avec l'arrivée de l'oïdium en 1847, le phylloxéra à partir de 1864 et le mildiou en 1878. Depuis cette époque, la majorité des interventions phytosanitaires porte sur la lutte contre le mildiou et l'oïdium. Dans sa conclusion, J-L. Bernard s'interrogeait : Et demain ? Pour se protéger des bioagresseurs, la viticulture ne peut négliger plusieurs pistes d'évolution dont certaines entrent déjà dans les pratiques – et de citer : **des variétés résistantes sont attendues mais un effort devra être fait pour vérifier leur bonne intégration dans nos terroirs**, ce dans le contexte d'un marché mondialisé. C'est bien le thème de notre séance aujourd'hui dans le prolongement de l'exposé de Jean-Louis Bernard.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France (Section 1).

<sup>2</sup> Membre de la section 9, vice-président de l'Académie d'Agriculture de France pour l'année 2018.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

Dans cette introduction, considérons le contexte de la viticulture en matière d'encépagement au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. C'est historiquement pour lutter contre la fraude que s'est construit progressivement, dès 1905, le concept d'Appellations d'Origine. En 1935, le Comité National des Appellations d'Origine crée l'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) ; ce comité deviendra en 1947, l'INAO - l'Institut National des Appellations d'Origine, rebaptisé en 2007, l'Institut national de l'origine et de la qualité. L'INAO définit les conditions de production des indications géographiques lors de leur reconnaissance, en particulier l'encépagement, afin de favoriser l'originalité et de promouvoir la qualité des produits. Créées en 1935, les AOC reposent sur l'existence d'un lien fort entre le produit et son terroir ; la « typicité » devient le concept-socle des indications géographiques. Les producteurs ont proposé des cépages alliant adaptation au milieu de l'appellation et usages locaux de production.

Les cépages peu qualitatifs ont été supprimés. En fait, les cépages interdits, hybrides producteurs directs 'Noah', 'Herbemont', 'Jacquez'..., ne seront vraiment supprimés que vers la fin des années 1970, grâce à la détection d'un marqueur biochimique dans les vins, les malvosides, anthocyanes diglucosides.

Que recouvre précisément le terme de « cépage » ? En 2009, l'INAO a défini le cépage en s'appuyant sur des travaux de chercheurs de l'INRA à Montpellier :

*« Le cépage, unité taxinomique propre à *Vitis vinifera* L., est le produit d'un semis ou d'un individu unique au départ, multiplié par voie végétative. Au cours des multiplications, des variations peuvent se produire et être fixées. Un cépage est donc composé d'un ensemble de clones suffisamment apparentés les uns aux autres pour être confondus sous un même nom et dont le nombre est variable (un ou plusieurs) ou indéterminé. Lorsque la variation touche un caractère évident et remarquable ou ayant des conséquences technologiques importantes, le clone concerné est alors considéré comme une forme différenciée du cépage initial ». Chacun des clones ainsi défini porte un numéro d'introduction.*

Le nombre de cépages dans chacune des AOC est en nombre restreint. Certaines appellations sont monocépages, l'AOC Chablis par exemple, avec le 'Chardonnay B'. L'assemblage de deux cépages est une pratique fréquente et renommée, comme celui du 'Merlot' (fruité) et du 'Cabernet-Sauvignon' (puissance et corps) en bordelais. Six cépages noirs sont autorisés en région bordelaise, dont trois assurent 90% de la production : 'Merlot', 'Cabernet-Sauvignon' et 'Cabernet franc'.

S'inspirant de la politique française de valorisation des produits agricoles, l'Union européenne a élaboré une réglementation établissant en 1992 les Appellations d'Origine Protégées (AOP), équivalent européen des AOC, pour les produits autres que les vins et les eaux-de-vie, puis l'a étendu aux vins en 2009. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2012, parmi les produits agroalimentaires européens classés AOP, seuls les vins sont autorisés à porter l'Appellation française AOC. Définies en 1992 par la réglementation européenne, en même temps que les AOP, les Indications Géographiques Protégées (IGP) ont aussi été étendues aux vins en 2009. Les IGP s'appuient sur la catégorie « Vins de Pays » issue des vins de table ; elles présentent un lien à l'origine moins établi que les AOC. Le nombre de cépages offrant le droit à l'IGP est beaucoup plus important qu'en AOC. Toutefois, ces dernières années, 75% du vignoble français était planté par 10 cépages, blancs et noirs confondus, le 'Merlot' étant le plus planté. Une évolution se dessine depuis 2000 : une vingtaine de nouveaux cépages ont fait leur apparition pour répondre à certaines demandes.

Quelles sont donc les demandes actuelles en matière d'encépagement ?

- les demandes visant à introduire des cépages de forte notoriété, étrangers à la région viticole de l'AOC concernée.
- les demandes de cépages issus de croisements intraspécifiques, entre différents cépages de *Vitis vinifera* – ceci peut rétablir une certaine diversité tout en compensant certains caractères défaillants (moindre sensibilité à *Botrytis cinerea* du Gamaret N par rapport au Gamay N) ...



- les demandes de cépages issus à l'origine de croisements interspécifiques pour apporter des gènes de résistance à certaines maladies – **objet de la séance présente, portant sur la sélection de nouveaux cépages de qualité et résistant au mildiou et à l'oïdium.**

C'est donc une véritable révolution variétale qui s'opère actuellement en viticulture. Depuis 2009, l'INAO appuie ces initiatives d'obtention de nouveaux cépages, dès lors que ceux-ci maintiendront et réaffirmeront la « typicité » des AOC, et donc leur lien au terroir – tenant compte de la réduction des intrants et des contraintes liées au changement climatique. Les expérimentations doivent être conduites selon un protocole rigoureux mettant en œuvre le cahier des charges de l'AOC sur une période longue.

Trois exposés vont nous être présentés suivis d'un débat et d'une conclusion :

- **Création de variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium, en France et en Europe**
  - ❖ Didier MERDINOGLU - INRA, UMR 1131, SVQV, 68021 Colmar Cedex, France - [didier.merdinoglu@inra.fr](mailto:didier.merdinoglu@inra.fr)
- **Comment accompagner le déploiement des nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium ?**
  - ❖ Laurent DELIÈRE - INRA, UMR 1065, SAVE, 33883 Villenave d'Ornon Cedex, France - [laurent.deliere@inra.fr](mailto:laurent.deliere@inra.fr)
- **Contexte réglementaire de la diffusion des nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium**
  - ❖ Rémy CAILLIATTE - INRA, Adjoint au chef de département Biologie et Amélioration des Plantes, Avignon - [remy.cailliatte@inra.fr](mailto:remy.cailliatte@inra.fr)

Le débat sera animé pour partie par la section 4 (sciences Humaines et Sociales) à propos des mots-clés : *expérimentation participative* avec des aspects sociologiques (*appropriation de l'innovation* par les acteurs socio-économiques) et de *droit* (le contexte réglementaire de la diffusion des nouveaux cépages).

- **Conclusion :** Christian HUYGHE – directeur scientifique Agriculture INRA, membre Section 1

#### Références bibliographiques

GAUTIER J., ROSAZ E., 2014. – *L'évolution de l'encépagement des indications géographiques françaises: outils de gestion du vignoble et contraintes subies*. 37th World Congress of Vine and Wine and 12<sup>th</sup> General Assembly of the OIV – <https://doi.10.1051/oivconf/201407009>

## CRÉATION DE VARIÉTÉS DE VIGNE RÉSISTANTES AU MILDIOU ET À L'OÏDIUM, EN FRANCE ET EN EUROPE

par Didier MERDINOGLU<sup>1</sup>

La protection contre les maladies des parties aériennes les plus menaçantes pour le vignoble que sont le mildiou et l'oïdium est actuellement essentiellement réalisée par l'application massive de fongicides. Une contrainte majeure pèse donc sur la viticulture : l'obligation de réduire l'usage des fongicides afin de limiter leur impact, notamment, sur l'environnement, la santé humaine, le revenu des entreprises viticoles et son image de marque. La création de variétés de vigne résistantes constitue une voie majeure pour répondre à cet enjeu. Les variétés traditionnelles de vigne cultivée d'origine européenne (*Vitis vinifera*) sont, dans leur grande majorité, sensibles au mildiou et à l'oïdium. En revanche, plusieurs sources naturelles présentant une résistance au mildiou et à l'oïdium ont été identifiées dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et le début du XX<sup>ème</sup> siècle chez des espèces de *Vitis* d'origine américaine, comme *V. rupestris*, *V. lincecumii* ou *V. berlandieri*. Les recherches développées au cours du XX<sup>ème</sup> siècle ont permis de compléter l'inventaire des sources de résistance en y ajoutant de nouvelles espèces de *Vitis* américaines, comme *V. rotundifolia*, mais également des espèces de *Vitis* d'origine asiatique, parmi lesquelles *V. amurensis*. Depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, les recherches visant à connaître le déterminisme génétique de ces résistances se sont multipliées. A ce jour, l'on connaît plus d'une douzaine de facteurs de résistance au mildiou et une dizaine pour l'oïdium.

Ces espèces constituent donc un réservoir de ressources génétiques important pour améliorer la vigne cultivée pour sa résistance aux bio-agresseurs. Cependant, un premier cas de contournement du facteur de résistance au mildiou *Rpv3* a été décrit en Europe (Peressotti et al., 2010). De même, le contournement du locus de résistance à l'oïdium *Run1* a été observé aux Etats-Unis (Feechan et al., 2013). Ces gènes de résistance constituent ainsi un patrimoine fragile, leur efficacité, et donc leur utilité, étant soumises aux risques d'évolution des populations de pathogènes. Par ailleurs, seule une partie d'entre eux est effectivement utilisée en sélection. C'est pourquoi, il apparaît essentiel de préserver ce patrimoine commun à travers un déploiement dans les variétés, puis une gestion à l'échelle du vignoble, guidés par les principes d'une gestion durable qui mettent en œuvre, sur le plan génétique, l'association dans une même variété de plusieurs facteurs de résistance vis à vis d'un pathogène, stratégie appelée pyramidage.

Pour répondre à ce principe, l'INRA s'est engagé en 2000 dans un programme, appelé Inra-ResDur, visant à la création de variétés de vigne, d'une part, possédant une résistance au mildiou et à l'oïdium efficace et durable et, d'autre part, adaptées à la production de vins de qualité (Merdinoglu et al., 2009, Schneider et al., 2014). La stratégie utilisée repose principalement sur (i) l'association par hybridation de plusieurs sources de résistance issues de *Vitis* sauvages, afin d'obtenir des résistances peu susceptibles d'être contournées ; (ii) l'utilisation de géniteurs possédant majoritairement un fond génétique cultivé, afin de limiter les caractères agronomiques et technologiques défavorables pouvant provenir des espèces sauvages ; (iii) la mise en œuvre d'un schéma de sélection associant génotypage et évaluation multi-locale des obtentions créées. Il fait intervenir trois sources naturelles de résistance au mildiou et à l'oïdium : *V. rotundifolia*, d'autres *Vitis* d'origine américaine et *V. amurensis*, d'origine asiatique. Le schéma de sélection, d'une durée totale de 15-16 ans, s'organise en 3 étapes successives : (i) sélection précoce par sélection assistée par marqueurs, (ii) sélection intermédiaire au vignoble en réseau, (iii) sélection finale au vignoble en partenariat avec le réseau de l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV). A ce jour, le programme Inra-ResDur a permis l'inscription au catalogue des variétés de vigne de quatre obtentions, Artaban, Floreal, Vidoc et Voltis.

<sup>1</sup> INRA, UMR 1131, SVQV, 68021 Colmar Cedex, France

[didier.merdinoglu@inra.fr](mailto:didier.merdinoglu@inra.fr)

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

L'inscription d'une trentaine d'autres est prévue d'ici 2023. Afin de valoriser et de transférer le savoir-faire et les ressources acquis dans le cadre du programme Inra-ResDur, plusieurs partenariats ont été mis en place en collaboration avec l'IFV pour engager des programmes de création de variétés résistantes à typicité régionale sous la maîtrise d'ouvrage des interprofessions des grandes régions viticoles françaises.

Hormis l'INRA et l'IFV, il existe d'autres acteurs européens de la sélection de variétés de raisin de cuve résistantes, principalement en Allemagne, en Italie et en Suisse. Grâce à la nouvelle procédure de classement des variétés de vigne, il est probable que ces obtenteurs européens contribuent également au déploiement de nouvelles variétés sur le territoire national. Devant l'engouement que connaissent aujourd'hui les variétés résistantes face à l'utilisation massive de fongicides en viticulture, l'on est donc, en France, à la veille d'un bouleversement génétique au vignoble avec l'arrivée de nouvelles variétés inconnues jusqu'alors. Afin que ces nouvelles variétés résistantes constituent une solution pérenne pour réduire drastiquement les intrants phytosanitaires en viticulture, une gestion durable des résistances est indispensable et essentielle. Elle passe, sur le plan génétique, par la connaissance de l'architecture des variétés en termes de gènes de résistance.

#### Références bibliographiques

- (1) FEECHAN A, ANDERSON C, TORREGROSA L, JERMAKOW A, MESTRE P, WIEDEMANN-MERDINOGLU S, MERDINOGLU D, WALKER AR, CADLE-DAVIDSON L, REISCH B, AUBOURG S, BENTAHAR N, SHRESTHA B, BOUQUET A, ADAM-BLONDON AF, THOMAS MR, DRY IB. 2013a. – Genetic dissection of a TIR-NB-LRR locus from the wild North American grapevine species *Muscadinia rotundifolia* identifies paralogous genes conferring resistance to major fungal and oomycete pathogens in cultivated grapevine. *Plant J* 76:661–674. <https://doi.org/10.1111/tpj.12327>
- (2) MERDINOGLU D, MERDINOGLU-WIEDEMANN S, MESTRE P, PRADO E, SCHNEIDER C. 2009. – Apport de l'innovation variétale dans la réduction des intrants phytosanitaires au vignoble : exemple de la résistance au mildiou et à l'oïdium. *Prog Agric Vitic* 126:290–293.
- (3) PERESSOTTI E, WIEDEMANN-MERDINOGLU S, DELMOTTE F, BELLIN D, DI GASPERO G, TESTOLIN R, MERDINOGLU D, MESTRE P. 2010. – Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety. *BMC Plant Biol* 10:147. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-147>
- (4) SCHNEIDER C, PRADO E, ONIMUS C, LEY L, FORGET D, BARBEAU G, AUDEGUIN L, MERDINOGLU D. 2014. – ResDur, le programme Inra de création de variétés de vignes de cuve résistantes aux maladies cryptogamiques et de bonne qualité œnologique. *Union Girondine* Novembre:62–68.



## Réduire la consommation de fongicides

- 16 traitements par an
- 300 à 400 millions d'euros
- Impact sur l'environnement et la santé humaine
- Souches résistantes au fongicides



*V. rupestris* *V. lincecumii*

*V. rotundifolia*

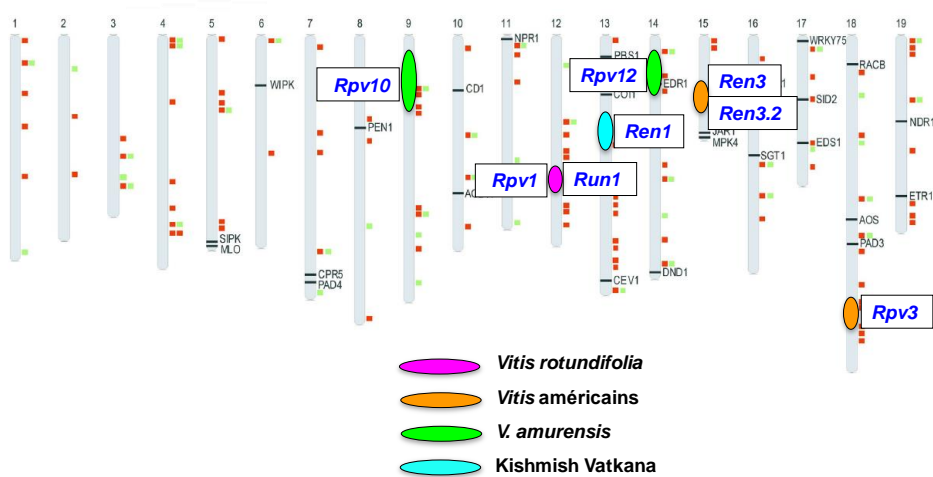
*V. vinifera*

*V. amurensis*

Les *Vitis* d'origine **américaine** et **asiatique** sont **résistantes au mildiou** et à l'**oïdium**

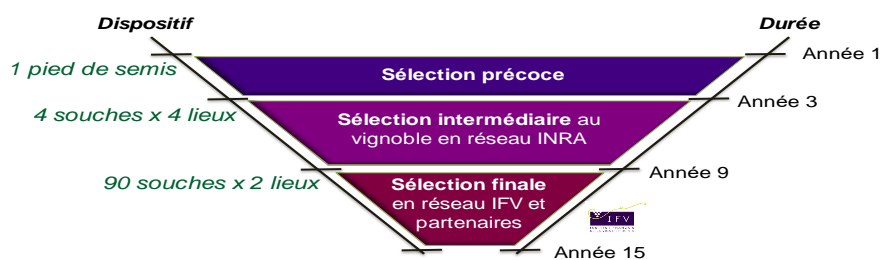
- ✓ 14 facteurs de résistance au mildiou
- ✓ 10 facteurs de résistance à l'oïdium

## Facteurs de résistance au mildiou et à l'oïdium utilisés dans les programmes de sélection européens



## Le programme Inra ResDur

15 ans pour sélectionner une variété, en partenariat avec l'IFV



## Variétés Inra ResDur

### FLOREAL

- Vins expressif et avec une bonne fraîcheur
- Arômes dominés par des notes de fruits exotiques et de buis

### VOLTIS

- Vins légèrement bouquetés, souples et amples
- Acidité soutenue

### VIDOC

- Vins charpentés et puissants
- Arômes complexe dominés par des notes fruitées et épicées

### ARTABAN

- Vins légers et gouleyant
- Arômes dominés par des notes fruitées



## COMMENT ACCOMPAGNER LE DÉPLOIEMENT DES NOUVELLES VARIÉTÉS DE VIGNE RÉSISTANTES AU MILDIU ET À L'OÏDIUM ?

par Laurent DELIÈRE<sup>1</sup>

Après la quasi-disparition du vignoble des "hybrides producteurs directs", de nouvelles variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium ont récemment été inscrites en France. Les premières variétés sont aujourd'hui à la disposition des viticulteurs et l'offre va s'accroître dans les années à venir. Les questions soulevées par le déploiement de ces nouvelles variétés sont nombreuses et concernent aussi bien les exploitations viticoles et les filières, que les territoires.

La première question concerne le **potentiel qualitatif** de ces nouvelles variétés et leur valorisation possible. Plusieurs programmes de recherche sont en cours pour appréhender les caractéristiques organoleptiques de ces vins, définir des itinéraires de vinifications adaptés et identifier les marchés et les modes de valorisation les plus porteurs (Raineau, 2018). Parallèlement, les expérimentations réalisées par les viticulteurs qui ont planté ces variétés et en commercialise le vin, apporteront un éclairage essentiel sur cette question. Le deuxième enjeu, plus collectif, concerne la **gestion de la durabilité des résistances**. Plusieurs cas d'érosion voire de contournement de certains facteurs de résistances au mildiou et à l'oïdium ont été observés en Europe. Le suivi de l'évolution des populations d'agents pathogènes ciblés par les résistances est donc nécessaire pour préserver au mieux l'efficacité des cépages résistants sur le long terme. Enfin, le troisième enjeu concerne la **conception d'itinéraires techniques** adaptés aux variétés résistantes, respectant les objectifs de production, favorisant la durabilité des résistances tout en recourant le moins possible aux produits phytosanitaires. Pour ce faire, il est nécessaire d'acquérir des données et des connaissances, en situations de production, sur le comportement des cépages, les dynamiques épidémiques des bio-agresseurs et, plus globalement, sur les performances de ces systèmes.

Pour répondre à ces enjeux l'INRA a mis en place des dispositifs originaux, de longue durée et de dimension nationale :

- Des **expérimentations systèmes** visant à mettre en œuvre et évaluer des systèmes de culture viticoles mobilisant la résistance variétale. Les premiers résultats obtenus depuis 2012 montrent la possibilité d'une réduction de près de 90% de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT, Ministère de l'Agriculture, 2016) avec une absence de résidus mesurés dans les vins (Delière, 2018). Le réseau d'expérimentation systèmes SALSA, incluant des dispositifs à Bordeaux, Colmar et Montpellier et intégré au dispositif DEPHY Expe, permet de tester des systèmes de culture combinant, dans une approche agro-écologique, l'usage de la résistance variétale, les régulations naturelles, la gestion du sol sans herbicide et des traitements en dernier recours. Ces systèmes originaux très bas-intrant font l'objet d'une évaluation multicritères, environnementale, agronomique et socio-économique.

- **L'Observatoire National du Déploiement des Cépages Résistants (OSCAR)**, est un dispositif participatif qui s'appuie sur les expérimentations réalisées par les viticulteurs en situations de production. Il

---

<sup>1</sup> INRA, UMR 1065, SAVE, 33883 Villenave d'Ornon Cedex, France.

[laurent.deliere@inra.fr](mailto:laurent.deliere@inra.fr)

s'agit d'un dispositif inclusif, qui a vocation à suivre l'ensemble des variétés revendiquant une résistance, dont celles obtenues par l'INRA. Avec 34 parcelles en 2017, l'observatoire s'étend progressivement avec plus de 60 parcelles en 2018.

La dimension participative du dispositif favorise la capitalisation des retours d'expériences sur la conduite des variétés sur le terrain (comportement agronomique, potentialités de mécanisation, facilité de conduite ...) et sur la qualité des vins. L'observatoire permet aussi de surveiller le comportement des variétés résistantes face aux agents pathogènes (émergence de nouvelles maladies, contournement de la résistance). Des isolats d'oïdium et de mildiou sont collectés sur les parcelles de l'observatoire pour suivre au laboratoire l'évolution de leur agressivité. Cette approche sera bientôt renforcée grâce aux recherches en cours sur l'identification des facteurs génomiques des pathogènes impliqués dans l'érosion des résistances de la vigne.

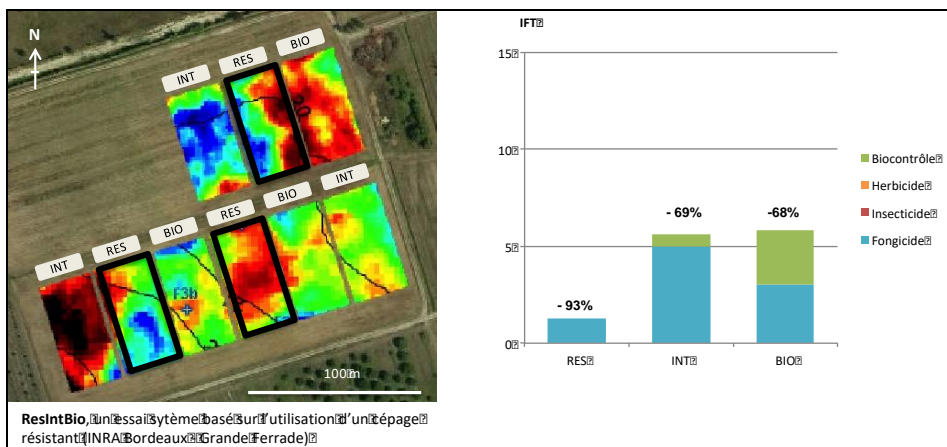
Enfin, les données issues de ces dispositifs alimentent les modèles mathématiques développés par les chercheurs pour comprendre comment les dynamiques épidémiologiques d'érosion des résistances sont affectées par les stratégies de déploiement (proportion et répartition dans le paysage) et par les caractéristiques des paysages agricoles (par exemple la connectivité entre les parcelles). La modélisation mathématique joue ici un rôle essentiel car expérimenter sur ces questions à l'échelle des territoires viticoles est très difficile sinon impossible.

#### *Références bibliographiques*

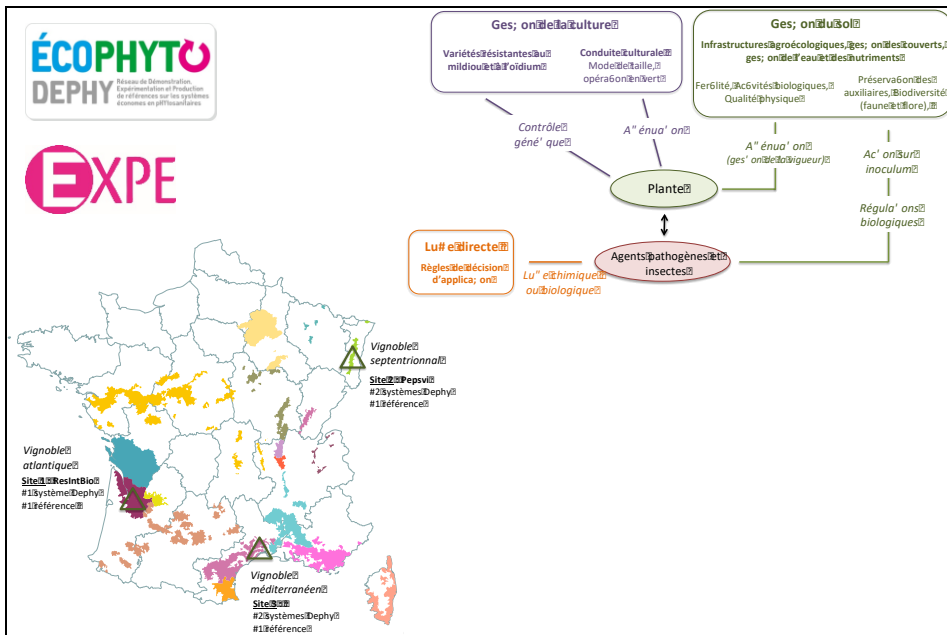
- (1) L. DELIÈRE, S. GUIMIER, M. PETITGENET, JP. GOUTOULY, M. VERGNES, S. DUPIN, L. DAVIDOU, M. CHRISTEN, A. ROCHAS, P. GUILBAULT. 2018. – Performances de systèmes viticoles à faible niveau d'intrants phytopharmaceutiques dans le vignoble bordelais. Accepté à *Innovations Agronomiques*.
- (2) Y. RAINEAU. 2018. – « Défis environnementaux de la viticulture : une analyse comportementale des blocages et des leviers d'action ». Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
- (3) Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2016. – Guide méthodologique : Indicateur de fréquence de traitements phytopharmaceutiques (IFT) Version 2. 74 p.



Dispositif ResIntBio implanté à l'INRA de Bordeaux permettant l'évaluation de 3 systèmes de culture bas intrants : Cépage résistant (RES) ; Conventuel intégré (INT), Agriculture Biologique (BIO)



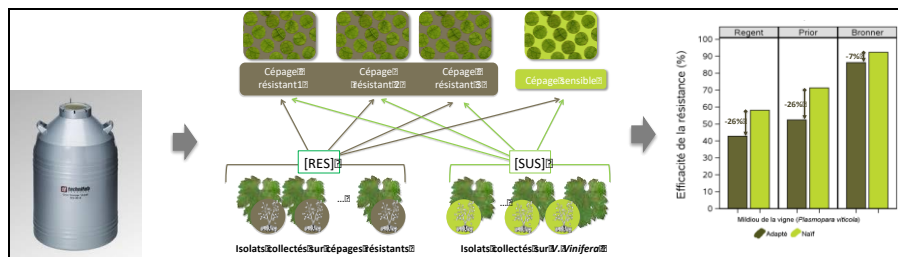
Réseau d'expérimentation SALSA et leviers mobilisés dans les systèmes



L'observatoire du déploiement des cépages résistants (<http://observatoire-cepapes-resistants.fr>)



Méthodologie d'évaluation au laboratoire de l'évolution d'agressivité d'isolats de mildiou



Symptômes de bioagresseurs dits "secondaires" observés sur les parcelles de l'Observatoire

Black-rot



Erinose



Phylloxera



Anthracnose



## CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE DE LA DIFFUSION DES NOUVELLES VARIÉTÉS DE VIGNE RÉSISTANTES AU MILDIOU ET À L'OÏDIUM

par Rémy CAILLIATTE\*

L'Inra mène des programmes d'innovation en amélioration des plantes sur une large gamme d'espèces cultivées. L'objectif est triple : (i) maximiser l'efficacité du continuum entre la recherche académique et l'innovation, dans une logique de valorisation et de réalisation de preuves de concept, (ii) palier à des défaillances du marché en positionnant ses activités d'innovation sur des cibles, espèces et/ou traits, orphelines ou présentant un risque important et (iii) développer une recherche pour l'impact en explorant les conditions d'adoption des innovations par les partenaires socio-économiques<sup>1</sup> (Lefort M ; Riba G ; 2003).

La recherche d'un impact des innovations variétales sur les filières requiert d'accompagner leur déploiement afin d'exploiter au mieux le potentiel des variétés nouvellement créées. Dans le cas spécifique des vignes résistantes au mildiou et à l'oïdium, le déploiement des variétés issues des travaux de l'Inra repose sur une démarche inédite de recherche participative pour répondre à une large gamme d'objectifs.

En premier lieu, donner accès aux innovations le plus rapidement. Pour être plantées sur une parcelle, une vigne doit remplir deux conditions nécessaires : (i) appartenir à une variété inscrite au catalogue officiel, afin que ses bois et plants puissent être commercialisés (ii) être plantée par un viticulteur qui dispose d'une autorisation de plantation. Une autorisation<sup>2</sup> de plantation ne peut être accordée qu'à une variété de vigne classée, c'est à dire une variété qui présente un intérêt agronomique, technologique ou environnemental suffisant suivant des critères objectivés et formalisés par la réglementation<sup>3</sup>. Or, en amont de l'obtention de ces deux conditions, comment tester dans les conditions du vignoble l'adaptation des nouvelles variétés ? Le législateur a prévu un régime dérogatoire, le classement temporaire, qui permet de déployer, selon des modalités contraignantes limitant les risques de distorsion de concurrence, les bois & plants de variétés en cours d'évaluation : contingentement des surfaces et durée limitée des expérimentations. C'est ce régime que l'Inra obtenteur a mobilisé pour donner accès au matériel végétal de ses nouvelles variétés dans des conditions de garanties phytosanitaires permises grâce à son partenariat avec l'IFV.

En second lieu, il convient de proportionner l'échelle du déploiement et les exigences de suivi au niveau de risque de contournement des facteurs génétiques des résistances. En effet, l'offre variétale Inra est composée à la fois de variétés à résistances polygéniques au mildiou et à l'oïdium (Inra-ResDur) et de variétés, obtenues plus tôt, à résistances monogéniques issues des travaux d'Alain Bouquet. De par les données acquises qui

---

\* INRA, UR GAFL  
[Remy.cailliatte@inra.fr](mailto:Remy.cailliatte@inra.fr)

<sup>1</sup> Quelles perspectives pour l'innovation variétale, à l'Inra ? Marianne Lefort, Guy Riba, 2003

<sup>2</sup> Règlement (UE) n°1308/2013 du Parlement européen et du Conseil portant organisation commune des marchés des produits agricoles.

<sup>3</sup> Arrêté du 9 mai 2016 établissant les modalités de classement des variétés de vigne à raisin de cuve.  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

témoignent de la fragilité des résistances monogéniques au mildiou et à l'oïdium, l'Inra, en partenariat avec l'IFV, privilégient le déploiement des variétés issues du programme ResDur. Néanmoins, face à la très forte demande de certains professionnels de pouvoir tester les variétés Inra-Bouquet dans leur bassin de production, l'Inra et l'IFV ont décidé de substituer au principe de précaution le principe de responsabilité. Ce principe de responsabilité s'appuie sur deux éléments structurants : le cadre réglementaire du classement d'une part et un dispositif contractuel d'autre part. Ainsi, pour les variétés Inra-Bouquet, l'Inra obtenteur met en œuvre les démarches réglementaires associées à l'inscription et au classement temporaire. Néanmoins, leur déploiement est conditionné à l'intégration de toutes les parcelles plantées dans le réseau de l'Observatoire de suivi des cépages résistants (OSCAR – cf présentation de Laurent Delière), pour contribuer à la surveillance biologique des vignobles. Par ailleurs, l'Inra se laisse la possibilité de ne pas demander le classement définitif de ces variétés, si les observations effectuées dans le cadre d'OSCAR révèlent un facteur de risque associé au contournement des résistances génétiques trop élevé pour mettre en péril la stratégie de déploiement et la durabilité des résistances polygéniques.

A ce stade du déploiement, en raison de la biologie de l'espèce, l'offre en termes de bois & plants est inférieure à la demande des producteurs. Il convient par ailleurs de mettre à disposition les variétés les mieux adaptées aux conditions spécifiques des producteurs, ce qui passe notamment par l'utilisation de porte-greffes adaptés. Ensuite, le matériel végétal diffusé n'est pas encore protégé par COV (Certificat d'Obtention Végétale) et requiert dès lors une traçabilité spécifique. L'intégration de l'ensemble de ces challenges a été permise par la mise en place de dispositifs contractuels qui ont servi de base à l'organisation d'une concertation large. Cette concertation s'est organisée autour de comités de pilotage animés par l'Inra et l'IFV et qui associent, selon les situations, les producteurs, les comités interprofessionnels, les Chambres d'agriculture, les Régions, FranceAgriMer et le Ministère de l'agriculture.

Pour illustrer ces démarches, nous avons présenté le dispositif contractuel que nous avons co-construit pour encadrer le déploiement des variétés résistantes d'obtention Inra en Occitanie. Ce dispositif permet (i) d'engager la responsabilité collective des comités interprofessionnels dans l'accompagnement du dispositif auprès des producteurs adhérents, (ii) d'engager la responsabilité individuelle des producteurs dans le suivi de dispositions contraignantes mais nécessaires à son succès et (iii) de répondre aux obligations administratives et réglementaires associées aux autorisations de plantation. Ce dispositif permet également à l'Administration d'adapter le nouveau cadre réglementaire des autorisations de plantation et de le mettre à l'épreuve des réalités du terrain.

Efficacité de la mise à disposition, sûreté du matériel végétal, équité dans l'accès aux innovations gouvernement nos actions au service de la transition du vignoble français, pour élaborer un dispositif expérimental en production capable de monitorer les évolutions des pratiques et des pressions épidémiologiques à ce stade à l'échelle nationale.

Dans le but de donner la possibilité à tous les vignobles d'avoir accès à ces innovations il convient de mobiliser des leviers à court terme, telle que la possibilité de produire des vins de cépage en assemblage, à moyen terme via l'évolution des règles d'accès aux appellations et à long terme en intégrant les résistantes pyramidées dans des cépages emblématiques de chaque bassin viti-vinicole.



*Signature des conventions établies entre l'Inra-Agri Obtentions / l'IFV, l'IVSO et le CIVL pour encadrer le déploiement des variétés résistantes en Occitanie et prévoyant des conditions spécifiques associées à l'utilisation des variétés Inra-Bouquet, à résistances monogéniques au mildiou et à l'oïdium.*

## CÉPAGES RÉSISTANTS

### CONCLUSION

par Christian **HUYGHE**<sup>1</sup>

Chers confrères, chers amis,

Je tiens tout d'abord à adresser mes remerciements à l'Académie et à Yves LESPINASSE, pour avoir permis de mettre en évidence les derniers travaux dans ce domaine, qui marquent des ruptures majeures. Ces travaux, sur la création, le déploiement et la réglementation concernant les cépages résistants sont ceux de l'Inra et d'autres organismes en France (IFV, INAO, FranceAgriMer) et à l'étranger (JKI, WBI, Agroscope). Je remercie également mes collègues Didier MERDINOGLU, Laurent DELIÈRE et Rémy CAILLATTE pour leurs présentations de grande qualité. Merci également à l'assemblée pour les nombreuses questions, qui soulignent que les présentations répondaient bien aux interrogations qui nous occupent.

Ce thème, intitulé « Nouvelles variétés de vigne et impact sur la viticulture », correspond à une rupture majeure, puisque comme illustré par Laurent DELIÈRE, le déploiement en conditions viticoles réelles de ces nouvelles variétés permet de voir l'Indice de Fréquence de Traitements phytosanitaires – IFT, passer de 13 à 2 ! Soit une baisse de 86%.

Cette innovation majeure se positionne dans un contexte en forte évolution. Si le besoin de performance économique et de compétitivité dans un marché mondialisé est clairement maintenu à l'agenda, le contexte du déploiement est marqué aujourd'hui par une évolution majeure des attentes des consommateurs et de fait des professionnels. La réduction de l'usage des pesticides est aujourd'hui devenue une priorité dans les choix des consommateurs, articulée avec le goût et la recherche de naturalité, comme le montre l'excellente thèse de Yann Raineau en 2018, référencée dans le texte de Laurent Delière.

Cette transition très rapide de la demande sociétale a engendré une urgence soudaine exprimée par les besoins des professionnels en matière de nouveaux cépages et de résistance au mildiou et à l'oïdium. Ceci ne doit pas faire oublier d'autres problèmes pathologiques comme le dépérissement et les maladies du bois qui font l'objet d'un grand plan national.

La démarche de l'Inra et de ses partenaires en matière de création et de déploiement de cépages résistants est basée sur un principe de responsabilité, qui conduit d'une part à privilégier les constructions génétiques polygéniques et d'autre part à élaborer un plan de déploiement progressif, avec les viticulteurs et les interprofessions viticoles, en mesurant en continu le comportement des populations de pathogènes, et en utilisant les possibilités offertes par le mécanisme de classement temporaire.

On pourrait souligner de nombreuses caractéristiques fortes de ce grand projet. Je vais en souligner deux, essentielles à mes yeux.

Il s'agit tout d'abord de l'importance de la diversité génétique pour la réussite de cette construction de variétés résistantes.

---

<sup>1</sup> Membre Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France (Section 1), Directeur Scientifique Agriculture Inra.

Les gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium sont peu nombreux chez la vigne. Nous devons les regarder comme un bien commun et une assurance pour le futur. Le domaine de Vassal-Montpellier constitue un conservatoire unique au Monde du fait de sa richesse et sa gestion est empreinte des responsabilités que nous exerçons sur cette collection.

Les constructions polygéniques et les modalités de déploiement s'inscrivent dans une volonté de gestion durable des résistances. Il s'agit d'éviter les contournements. Le suivi des populations et le maintien d'une protection fongicide faible (1 ou 2 traitements) s'inscrivent dans cette stratégie, le ou les traitements fongicides permettant également de maîtriser des pathogènes secondaires comme le black rot auquel ces premiers cépages sont sensibles. Le choix du pyramidage est également dicté par cette vision. Est-ce une bonne stratégie ? Le suivi continu des populations de pathogènes permettra de le confirmer.

A long terme, et pour un déploiement responsable individuel et collectif chez les viticulteurs, il sera indispensable de connaître les gènes de résistance présents dans les variétés. Au-delà de la dimension technique de disponibilité de kits de détection, c'est surtout la question de la Propriété Intellectuelle (PI) sur les gènes qui est posée.

En cas de contournement et donc de perte de gènes, la possibilité de disposer de nouvelles ressources semble assez limitée, même avec les techniques d'édition du génome.

Ce grand projet a également mis en œuvre des démarches collectives originales.

Des collaborations très actives ont été à l'œuvre pour la création, avec des partenariats de recherche avec l'Allemagne et la Suisse. Ce travail s'inscrit également dans une collaboration forte avec l'IFV, l'Institut Français de la Vigne et du Vin. Cette collaboration s'exerce à la fois dans la création de matériel génétique, par exemple au sein de l'Unité Mixte Technologique, Géno-Vigne pilotée par l'IFV, dans la mise en marché de ce matériel totalement nouveau, grâce à la structure conjointe Entav-International<sup>2</sup> et dans le déploiement vers les professionnels.

Pour l'adoption de ces nouveautés et la mise en œuvre de modalités de gestion durable, le réseau Oscar est un dispositif unique dans sa conception avec tous les partenaires concernés, dans sa conduite et dans la diversité des disciplines mobilisées. Cette démarche hautement collaborative sera étendue au travers du projet de TIGA (Territoire d'Innovation de Grande Ambition) « Viticulture de demain » élaboré en région Nouvelle-Aquitaine.

La réglementation est au cœur de ce grand changement, depuis l'inscription des variétés, la certification des plants au classement temporaire puis définitif. Elle peut être regardée comme un moteur ou un frein à l'innovation. Mais, dans le cas des cépages résistants, elle est un moteur qui a montré une capacité à évoluer. La réglementation apparaît toujours très complexe, mais ici elle contribue à exploiter tout le champ des possibles. En son temps, la mise en place des AOC fut aussi vécue comme un modèle de complexité.

Des interrogations demeurent sur le déploiement futur. Sera-t-il comme on le voit aujourd'hui avec des parcelles gérées individuellement, et à une faible densité dans les territoires. Ou au contraire, irons-nous vers des territoires et des parcelles maillés, ou en utilisant ces nouveaux cépages pour une plantation dans les ZNT (Zones Non Traitées) à proximité des zones habitées ou des cours d'eau ?

Cette transition majeure pour notre vignoble ne se fait pas en restant isolé du reste du monde. On plante partout avec l'apparition de nouvelles régions viticoles mondiales. Mais, partout, on voit émerger des préoccupations voire des restrictions liées à la présence des résidus !

La France a été le grand pays du vin dans le Monde. On est potentiellement au début d'une nouvelle grande révolution de la viticulture mondiale, que la France peut contribuer à favoriser. Et nous partageons cette vision avec d'autres pays en Europe et dans le monde.

---

<sup>2</sup> ENTAV international: filiale de l'IFV et d'Agri-Obtentions pour la promotion et la diffusion des clones et innovations variétales sous licence de marque ENTAV-INRA® en dehors du territoire français.

La transition et la conversion des vignobles seront longues, car les vignobles et les cépages sont inscrits dans des temps longs.

Pour conclure, une question majeure demeure, pour laquelle nous n'avons pas la réponse. Est-ce que nous sommes au début d'une nouvelle ère des vignobles dans le monde, avec un turnover rapide et régulier des variétés en vigne comme on peut le vivre en arboriculture. Ou, au contraire, sommes-nous dans une période courte de renouvellement massif pour rechercher une caractéristique nouvelle, avant de retrouver une stabilité forte des cépages, comme ce fut le cas en fin 19<sup>ème</sup> lors de la crise phylloxérique ? Cela, l'histoire nous le dira.

## RÉVOLUTION VARIÉTALE EN VITICULTURE ! DE NOUVEAUX CÉPAGES RÉSISTANT AUX MALADIES : CRÉATION, DÉPLOIEMENT ET IMPACT SUR LA FILIÈRE VITICOLE

### SYNTHÈSE

par Yves **LESPINASSE**, membre Section 1, et Didier **MERDINOGLU**, INRA Colmar

Le contexte de la viticulture a beaucoup évolué au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. Tout d'abord, il faut souligner la création en 1935 du Comité National des Appellations d'Origine – devenu en 1947 l'INAO ; ce comité va instituer les Appellations d'Origine Contrôlée (AOC) qui reposent sur l'existence d'un lien fort entre le produit et son terroir ; la « typicité » devient le concept-socle des indications géographiques. Le nombre de cépages dans chacune des AOC est en nombre restreint ; certaines appellations sont monocépages, l'AOC Chablis par exemple, avec le 'Chardonnay B'. Ces dernières années, 75% du vignoble français était planté par 10 cépages, blancs et noirs confondus, le 'Merlot' étant le plus planté. Toutefois, une évolution se dessine depuis 2000 : une vingtaine de nouveaux cépages ont fait leur apparition pour répondre à des demandes variées, dont l'une porte sur le contrôle de certaines maladies à travers la création de cépages tirant leur résistance d'espèces de *Vitis* américaines et asiatiques plusieurs fois croisées avec des cépages de *Vitis vinifera* garantissant la typicité des vins.

C'est une véritable révolution variétale qui s'opère actuellement en viticulture. Depuis 2009, l'INAO appuie ces initiatives d'obtention de nouveaux cépages, dès lors que ceux-ci maintiendront et réaffirmeront la « typicité » des AOC, et donc leur lien au terroir – tenant compte de la réduction des intrants et des évolutions liées au changement climatique. En effet, une contrainte majeure pèse sur la viticulture : l'obligation de réduire l'usage des fongicides afin de limiter leur impact, notamment sur l'environnement et la santé humaine.

#### 1- Programmes de création de variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium en France et en Europe.

Plusieurs sources naturelles présentant une **résistance au mildiou et à l'oïdium** ont été identifiées dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et le début du XX<sup>ème</sup> siècle, principalement chez des espèces de *Vitis* d'origine américaine, comme *V. rupestris*, *V. lincecumii*, *V. berlandieri* ou encore *V. rotundifolia*. A ce jour, on connaît plus d'une douzaine de facteurs de résistance au mildiou et une dizaine pour l'oïdium. Toutefois, ces facteurs de résistance constituent un patrimoine fragile, leur efficacité, et donc leur utilité, étant soumises aux risques d'évolution des populations de pathogènes. Il est donc essentiel de préserver ce patrimoine commun à travers un déploiement particulier des variétés, puis une gestion à l'échelle du vignoble, guidés par les Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.



principes de durabilité qui mettent en œuvre, sur le plan génétique, l'association dans une même variété de plusieurs facteurs de résistance vis à vis d'un pathogène, stratégie appelée pyramidage.

L'INRA s'est engagé en 2000 dans un programme, appelé Inra-ResDur, visant à la création de variétés de vigne, d'une part, possédant une résistance au mildiou et à l'oïdium efficace et durable et, d'autre part, adaptées à la production de vins de qualité. Le schéma de sélection fait intervenir trois sources naturelles de résistance au mildiou et à l'oïdium : *V. rotundifolia*, d'autres *Vitis* d'origine américaine et *V. amurensis*, d'origine asiatique. La sélection précoce est aujourd'hui réalisée grâce à des marqueurs moléculaires liés aux facteurs de résistance. La sélection finale est de type collaboratif, impliquant le réseau de l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV). A ce jour, le programme Inra-ResDur a permis l'inscription au catalogue des variétés de vigne de quatre obtentions, deux variétés « blanches », 'Floreal' et 'Voltis', deux variétés « noires », 'Artaban' et 'Vidoc'. Une trentaine de nouvelles variétés sont prévues d'ici 2024. Hormis l'INRA et l'IFV, il existe d'autres acteurs européens de la sélection de variétés de raisin de cuve résistantes, principalement en Allemagne, en Italie et en Suisse.

2- Comment accompagner le déploiement de ces nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium ?

- Plusieurs programmes de recherche sont en cours pour appréhender les **caractéristiques organoleptiques** de ces vins, définir des itinéraires de vinification adaptés et identifier les marchés et les modes de valorisation les plus porteurs.

- Le deuxième enjeu concerne la **gestion de la durabilité des résistances**. Plusieurs cas d'érosion voire de contournement de certains facteurs de résistance au mildiou et à l'oïdium ont été observés en Europe et aux Etats-Unis. Le suivi de l'évolution des populations d'agents pathogènes ciblés par les résistances est donc nécessaire pour préserver au mieux l'efficacité des cépages résistants sur le long terme.

- Le troisième enjeu concerne la **conception d'itinéraires techniques** adaptés aux variétés résistantes, respectant les objectifs de production, favorisant la durabilité des résistances tout en recourant le moins possible aux produits phytosanitaires.

Les expérimentations engagées montrent une réduction de près de 90% de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT), avec une absence de résidus mesurés dans les vins.

**L'Observatoire National du Déploiement des Cépages Résistants** (OSCAR) est un dispositif participatif qui s'appuie sur les expérimentations réalisées par les viticulteurs en situations de production – 60 parcelles sont testées en 2018.

3- Que dire du contexte règlementaire de la diffusion de ces variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium ?

L'INRA et l'IFV s'appuient sur la nouvelle procédure du classement temporaire des variétés de vigne ; l'objectif de ce classement temporaire est d'évaluer l'adaptation des variétés nouvelles aux bassins de production français, dans le cadre d'expérimentations en conditions de production, pour accéder *in fine* à un classement, c'est-à-dire une autorisation de plantation et de production de vin, définitive. Dès lors, chaque nouvelle variété obtenue par l'INRA a fait l'objet d'une demande de classement temporaire pour permettre à des producteurs, candidats à leur plantation, d'accéder à ce matériel, dans un cadre expérimental. De plus, ce dispositif prescrit, de manière contractuelle, l'intégration des parcelles inscrites au classement temporaire dans le réseau de l'Observatoire OSCAR afin de contribuer à la surveillance biologique des vignobles. Le matériel végétal diffusé pour expérimentation n'est pas encore protégé par COV (Certificat d'Obtention Végétale) et requiert donc une traçabilité spécifique. L'intégration de l'ensemble de ces challenges a été facilitée par la mise en place d'actions concertées pilotées par l'INRA et l'IFV qui associent, selon les situations, les producteurs, les comités interprofessionnels, les Chambres d'agriculture, les Régions,

FranceAgriMer et le Ministère de l'Agriculture. Ainsi, sont engagées à la fois, la responsabilité collective des comités interprofessionnels et la responsabilité individuelle des viticulteurs.

On a pu s'étonner de la complexité de ce dispositif, pourtant nécessaire pour garantir la sûreté du matériel végétal et l'équité dans l'accès aux innovations – dispositif au service de la transition du vignoble français, pour élaborer un modèle expérimental participatif, capable de monitorer les évolutions des pratiques et des pressions épidémiologiques à l'échelle nationale.

#### 4- Discussion et perspectives.

La préoccupation majeure du sélectionneur est de diversifier les facteurs de résistance au mildiou et à l'oïdium, et de les associer avec d'autres facteurs à effet quantitatif induisant une résistance partielle. Ceci ne doit pas faire oublier d'autres problèmes pathologiques de la vigne comme le dépérissement et les maladies du bois qui font l'objet d'un grand plan national.

Des interrogations demeurent sur le déploiement futur des nouvelles variétés résistantes. Sera-t-il comme on le voit aujourd'hui avec des parcelles gérées individuellement, et à une faible densité dans les territoires ? Ou au contraire, irons-nous vers des territoires et des parcelles maillés, ou en utilisant ces nouveaux cépages pour une plantation dans les ZNT (Zones Non Traitées) à proximité des zones habitées ou des cours d'eau ?

On est potentiellement au début d'une nouvelle grande révolution de la viticulture mondiale, que la France peut contribuer à favoriser. Et nous partageons cette vision avec d'autres pays en Europe et dans le monde. La transition et la conversion des vignobles seront longues, car les vignobles et les cépages sont inscrits dans des temps longs.

Pour conclure, une question majeure demeure, pour laquelle nous n'avons pas la réponse. Est-ce que nous sommes au début d'une nouvelle ère des vignobles dans le monde, avec un turnover rapide et régulier des variétés de vigne comme on peut le vivre en arboriculture ? Ou, au contraire, sommes-nous dans une période courte de renouvellement massif pour rechercher une caractéristique nouvelle, avant de retrouver une stabilité forte des cépages, comme ce fut le cas en fin 19<sup>ème</sup> lors de la crise phylloxérique ? Cela, l'histoire nous le dira.

## LE BOIS ÉNERGIE : ELDORADO OU ILLUSION ?

Séance organisée par Patrick **OLLIVIER**  
Membre et Trésorier perpétuel de l'Académie

Dans les années 1990, le Bois Énergie apparaissait comme une ouverture nouvelle et prometteuse, à la fois pour la forêt et pour la réduction de consommation des énergies fossiles.

Les perspectives semblaient même si importantes en termes de consommations du futur, que les industries de la pâte-papier et des panneaux déploierent de gros efforts pour tenter de contrer cette évolution, qu'elles percevaient comme un danger pour leurs propres approvisionnements.

Fortement impulsées par l'ADEME, les chaudières commencèrent à s'installer durant cette décennie.

À partir de 2000, le mouvement prit de l'ampleur, avec une forte appétence d'une part des collectivités et des industries pour installer des chaufferies-bois, d'autre part des forestiers et des scieries pour fournir du Bois Énergie ; les consommations allaient de quelques centaines à quelques dizaines de milliers de tonnes par unité et par an. Les grands projets dits cogénération CRE firent grimper les consommations unitaires au niveau de centaines de milliers de tonnes par an, suscitant une nouvelle effervescence chez les fournisseurs.

Ensuite, l'énergie bois est apparue beaucoup moins favorable, entre autres parce que :

- les chaufferies-bois se sont avérées beaucoup moins souples que prévu face aux matières premières proposées et aux normes environnementales ;
- le prix de la plaquette forestière est demeuré bien plus élevé que ce qui avait été imaginé, tandis que la disponibilité d'autres ressources s'avéraient limitée ;
- l'écologisme primaire a lancé des campagnes du type "on pille les forêts" ;
- les émissions de particules fines ont été montées en épingle à partir d'analyses biaisées ;
- l'effondrement du prix des énergies fossiles a brusquement obéré l'économie des installations existantes, et donc remis en question les nouveaux projets.

Donc : après des années d'enthousiasme, allons-nous vers la stagnation, voire l'extinction, des chaufferies-bois ?

### Section 2 "Forêts et filière bois"

#### Synthèse de la séance publique du 6 juin 2018

#### « Bois énergie : Eldorado ou illusion ? »

#### Introduction : le contexte

M Patrick **OLLIVIER**, membre de l'académie, trésorier perpétuel et membre de la section « Forêts et filière bois », qui a organisé cette séance, l'introduit.

Dans les années 1990, le Bois Énergie apparaissait comme une ouverture nouvelle et prometteuse, à la fois pour la forêt et pour la réduction de consommation des énergies fossiles. Les perspectives semblaient même

si importantes en termes de consommations du futur, que les industries de la pâte à papier et des panneaux déploierent de gros efforts pour tenter de contrer cette évolution, qu'elles percevaient comme un danger pour leurs propres approvisionnements ; cependant, ces industries, qui disposaient de chaînes d'approvisionnement efficaces, auraient pu se positionner à l'amont dans la fourniture du bois énergie. Fortement impulsées par l'ADEME, les chaudières commencèrent à s'installer durant cette décennie.

À partir de 2000, le mouvement prit de l'ampleur, avec une forte appétence d'une part des collectivités et des industries pour installer des chaufferies-bois, d'autre part des forestiers et des scieries pour fournir du Bois Énergie ; les consommations allaient de quelques centaines à quelques dizaines de milliers de tonnes par unité et par an. Les grands projets dits cogénération CRE firent grimper les consommations unitaires au niveau de centaines de milliers de tonnes par an, suscitant une nouvelle effervescence chez les fournisseurs.

Ensuite, l'énergie bois est apparue beaucoup moins favorable, entre autres parce que :

- les quantités de bois mobilisables se sont révélées inférieures aux prévisions ;
- les chaufferies-bois se sont avérées beaucoup moins souples que prévu face à la diversité des matières premières proposées et aux normes environnementales ;
- le prix de la plaquette forestière est demeuré bien plus élevé – environ deux fois plus – que ce qui avait été imaginé, tandis que la disponibilité d'autres ressources s'avérait limitée ;
- divers groupes de pression ont lancé des campagnes sur le thème "on pille les forêts" ;
- les émissions de particules fines ont été montées en épingle à partir d'analyses biaisées ;
- l'effondrement du prix des énergies fossiles a brusquement obéré l'économie des installations existantes, et donc remis en question les nouveaux projets.

Donc : après des années d'enthousiasme, allons-nous vers la stagnation, voire l'extinction, des chaudières-bois ?

### Présentation de la séance et des intervenants

Patrick **OLLIVIER** précise que la séance ne traitera ni du caractère renouvelable de la ressource ni de la « neutralité carbone » du bois énergie.

Puis il présente les intervenants de la séance :

- Serge **DEFAYE**, fondateur, président d'honneur et ancien président (2006-2012) du Comité Interprofessionnel du Bois-Energie (CIBE), qui dressera un tableau général du secteur du bois énergie;
- Deux intervenants qui aborderont la problématique consommation/approvisionnements par un retour d'expérience chacun dans son domaine :
  - o Laurent **MEYRONEINC**, directeur délégué de *Suez Recyclage et Valorisation bois* : bois de recyclage ;
  - o Alain **JACQUET**, président du directoire de *Sylvo Watts* groupement de coopératives forestières, et directeur général de la coopérative *Forêts et bois de l'Est* : bois issus de forêt.
- Mme Sylvie **ALEXANDRE**, Déléguée interministérielle aux filières bois et biosourcées (Ministères de la Transition écologique et solidaire, et de la Cohésion des territoires), membre de la Section « Forêts et filière bois » de l'Académie d'Agriculture de France, qui conclura la séance.

### Intervention de Serge DEFAYE : Bois énergie, rétrospective, situation actuelle, perspectives

S. **DEFAYE** présente d'abord les ordres de grandeur de la ressource en bois pour l'énergie, en millions de tonnes par an, sur une production totale de 120 millions de tonnes par an (forêts, haies, alignements, parcs et jardins) :

Chauffage domestique Bois énergie collectif et industriel

Récolte en forêt	24,3	6,2
Connexes et récupération	2,7	5,3
Total bois énergie	27,0	11,5

Le débouché énergétique absorbe environ 25% des volumes d'accroissement biologique annuel des forêts, contre 23% pour le bois d'œuvre et le bois d'industrie. La ressource forestière se situe majoritairement au sud de la ligne Bordeaux – Sedan, assez loin des régions densément peuplées du nord-ouest.

Le bois énergie comprend cinq filières distinctes :

-le chauffage domestique	7,4 millions de ménages, utilisant des appareils indépendants dans 90 % des cas (10 % de chaudières), consommant 51 millions de stères (bûches) et 1 million de tonnes de granulés
- le chauffage dans l'industrie, - les (petites) chaufferies en milieu rural, - les (grandes) chaufferies urbaines,	1017 unités de plus de 1 MW thermiques, pour 4985 MW installés
-la cogénération (de chaleur et d'électricité)	42 unités de plus de 1 MW thermiques, pour 1600 MWthermiques installés

De 2006 à 2015, la progression de la puissance installée en chauffage collectif et industriel et en cogénération a été forte, mais on observe un net ralentissement en 2016/17/18.

Le bois énergie est très dépendant de deux séries de facteurs externes : le prix des énergies concurrentes, gaz et pétrole notamment, et les politiques publiques.

En ce qui concerne les énergies concurrentes, 1970 à 2018 le prix du baril de pétrole est passé de 3 dollars US en 1970 à 75 environ en 2018, avec des fluctuations considérables : pic aux environs de 130 en 2009, fluctuations entre 80 et 110 de 2011 à 2015. De son côté le prix du MWh de référence pour les particuliers connaît également des variations importantes dans le cas du fioul, plus amorties dans celui du gaz : plus haut en 2012-13, forte baisse de 2013 à 2015, puis de nouveau hausse, surtout liée à la Contribution Climat Énergie, mais sans retrouver le pic de 2013. De janvier 2005 à mai 2018, ce prix est passé de :

- . 49 à 90 € pour le fioul domestique, entrée chaudière,
- . 31 à 60 € pour le gaz naturel (abonnement inclus).

En matière d'énergies renouvelables, les pouvoirs publics poursuivent des objectifs ambitieux. Ils ont mis en place au fil du temps diverses mesures de soutien :

- subvention à l'investissement par le Fonds Chaleur : 200 millions d'euros en 2018 ;
- TVA à 5,5 % sur l'énergie calorifique et l'abonnement (uniquement pour les réseaux de chaleur > 50 % ENR&R);
- aide à la cogénération bois par le Fonds de compensation des charges d'électricité pour un montant estimé de 270 millions d'euros en 2018 (source CRE - hors opérations d'électro-génération seules) ;
- Contribution Climat Énergie, votée dans la Loi pour la transition énergétique pour la croissance verte (TECV)<sup>4</sup> et la Loi de finances 2018<sup>5</sup> ; cette disposition devrait entraîner une forte augmentation des prix du gaz et du fioul de 2018 à 2022.

<sup>4</sup> Loi 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition écologique pour la croissance verte.

Dans le cas d'un réseau de chaleur en Normandie, le CIBE a calculé que l'aide apportée par le Fonds chaleur diminuait le coût de la chaleur de 12%, et que le taux réduit de TVA apportait une autre diminution de 12%. Grâce au cumul de ces deux aides, le coût en € TTC de la chaleur « bois » du réseau passait environ de 92 par MWh utile à 71, la référence gaz naturel, contribution climat énergie incluse, étant de 75.

Néanmoins, les objectifs des pouvoirs publics seront difficilement atteints comme on le constate pour la montée en puissance des réseaux de chaleur inscrite dans la loi « TECV » ou pour la programmation par la CRE<sup>6</sup> de la production d'électricité à partir d'unités de cogénération bois.

En effet, à côté de l'avantage constitué par le faible coût du combustible, le bois énergie conserve des handicaps sérieux :

- les coûts d'investissement sont très élevés (chaufferie, réseau...) et se traduisent par de lourdes annuités de remboursement d'emprunts ;
- les coûts d'exploitation sont importants et doivent être bien maîtrisés (éviter les dérapages et prévoir provisions pour grosses réparations) ;
- les financements publics et privés sont difficiles à mobiliser : complexité du dossier, lenteur de son instruction ;
- la rentabilité est considérée par les opérateurs comme trop faible en deçà d'un certain volume d'énergie produite et/ou distribuée ;
- le coût des énergies de référence fossiles (gaz naturel, fioul domestique) est actuellement encore très bas.

En conclusion, S. DEFAYE propose d'agir (*vite*) dans quatre domaines :

- poursuivre et améliorer la structuration de l'approvisionnement ;
- aller vers toujours plus d'excellence technologique, énergétique et environnementale ;
- simplifier et standardiser les procédures de montage juridique et financier ;
- accroître le soutien aux projets dans la phase délicate actuelle en attendant la montée en puissance de la contribution climat énergie<sup>5</sup>

À la question centrale de cette séance « Le bois énergie, eldorado ou illusion ? » M DEFAYE apporte deux réponses :

- celle de l'analyste, « un développement tributaire du prix des énergies fossiles et des politiques publiques » ;
- celle du praticien, « le bois énergie n'est pas un long fleuve tranquille ».

### **Intervention de Laurent MEYRONEINC : Tribulations du bois énergie et l'implication de Suez Recyclage et Valorisation Bois (SRVB)**

L'exposé de L. MEYRONEINC retrace l'historique des activités « bois énergie » de sa société depuis 2007.

À l'origine, il s'agissait de commercialiser les sous-produits de la première et de la seconde transformation du bois en direction de l'industrie du panneau et du compostage.

---

<sup>5</sup> Par exemple pour le gaz naturel : environ 12 €/MWh PCI en 2018, objectif de 25 €/MWh PCI en 2030.

<sup>6</sup> Commission de Régulation de l'Énergie.

En 2004-2006, SRVB s'engage dans le bois énergie et devient fournisseur de chaufferies dans le Sud-Est et en Italie (Val d'Aoste).

De 2007 à 2012 l'entreprise est sollicitée par de nombreuses chaufferies françaises, industrielles et collectives, nouvellement créées grâce aux investissements impulsés par l'ADEME. A cette époque, la véritable entrée dans la filière de l'énergie s'opère avec le calcul des prix de vente au MWh. Dès lors, on commercialise du pouvoir calorifique et non plus des tonnes et le taux d'humidité des produits devient un paramètre important de la rentabilité. Pour mieux satisfaire ses clients, SRVB crée des groupements de producteurs et des sites dédiés biomasse pour des stockages et des mélanges de matière.

En 2013 et 2014, le marché du bois énergie explose avec l'entrée en service de nombreuses chaufferies. Des ruptures d'approvisionnement se produisent, et le manque d'expérience des acteurs dans le maniement des indices, notamment ceux du Centre d'études de l'économie du bois (CEEB), crée des difficultés pour les contrats à long terme. La sortie du statut de déchet des bois d'emballage impose de nouvelles exigences en matière de tri et de stockage. SRVB y répond en créant des plateformes de stockage, très utiles car elles servent aussi à faire face à la saisonnalité des approvisionnements et à réaliser des mélanges de matières de diverses origines. Malheureusement, la baisse du prix des plaquettes forestières est venue compromettre la rentabilité de ces plateformes.

S'en suivent de 2014 à 2017 trois années difficiles en raison d'hivers doux et de prix très bas du fioul et du gaz. La consommation des chaufferies bois baisse de 25 à 30%. Les entreprises d'approvisionnement stoppent leurs investissements, voient leurs stocks gonfler et leurs marges disparaître. Des incendies se déclarent en 2017 sur les sites de stockage de bois de recyclage, saturés.

Le début de 2018 se déroule avec de meilleures perspectives : augmentation de la consommation des chaufferies suite à un hiver normal, remontée du prix des énergies fossiles, demande accrue de l'industrie du panneau pour les bois recyclés. Les professionnels espèrent la reprise de la croissance de leur secteur.

En conclusion, L. MEYRONEINC souligne les points suivants :

- l'avenir du bois énergie dépend des cours des énergies fossiles et de la volonté de nos pouvoirs publics de continuer à soutenir les installations existantes et les futurs projets en bois vierge ;
- la filière a fait de gros efforts de structuration pour répondre à cette demande ;
- l'augmentation de la consommation passera par une légère hausse tarifaire des combustibles (plaquette forestière) car ils ne sont pas tous facilement exploitables ;
- l'indice CEEB doit être considéré comme un indicateur du marché national, mais ne doit en aucun cas bloquer les accords régionaux ;
- aujourd'hui beaucoup de projets énergie s'orientent vers le bois de recyclage (bois déchets) car la valorisation « panneaux » pour ces bois était insuffisante ces dernières années.

### **Intervention d'Alain JACQUET : Le bois énergie : « Eldorado » ou illusion ?**

A. JACQUET présente SYLVO WATTS, groupement de coopératives dont le métier unique est de produire des plaquettes forestières pour l'énergie. Puis il introduit son propos en exposant la stratégie de sa coopérative vis-à-vis du bois énergie : 2001 démarrage lors du nettoyage des forêts après la tempête LOTHAR, 2009 création d'une filiale de mécanisation de l'exploitation du bois énergie, 2016 création de l'union de coopératives SYLVO WATTS et renforcement des relations avec *ONF Energie*.

- Le bois énergie : une nécessité vitale pour la sylviculture

L'énergie ouvre un débouché à des bois non valorisables autrement : co-produits des bois d'œuvre et d'industrie, cloisonnements, transformation de peuplements médiocres.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

Dans un contexte d'augmentation continue des coûts de main d'œuvre rapportés aux prix de vente du bois, la vente de bois énergie devient une composante indispensable de la rentabilité de la sylviculture. En témoignent deux exemples :

	Coût du chantier €/ha	
	Sans valorisation bois énergie	Avec valorisation bois énergie
Nettoyage coupe rase de peuplier	1000 – 1500	400
Cloisonnement et Eclaircie	1500 – 3000	0 - 300

A. **JACQUET** constate qu'actuellement l'offre de bois énergie, notamment grâce à la mécanisation de la récolte, dépasse la demande (SYLVO WATTS dispose de 250 000 T de production potentielle supplémentaire).

- Quelle vision de l'avenir ?

A. **JACQUET** prévoit un développement considérable de la demande en bois pour l'énergie et pour la chimie verte, à un horizon toutefois impossible à préciser.

Ce développement risque de créer une forte concurrence entre les usages du bois, et d'accentuer la divergence des intérêts des différents acteurs de la filière : propriétaires, exploitants, clients finaux. Le développement de contrats d'approvisionnement avec les exploitants des chaufferies aurait pour cette filière de nombreux avantages : concentration de l'offre, prix plus stables et prévisibles, meilleure allocation de la ressource, gains de productivité, cadre de gestion durable. Malheureusement, les obstacles culturels sont encore nombreux.

Pour A. **JACQUET**, trois éléments principaux concourent à limiter les risques pour les forêts d'une récolte accrue de bois énergie : l'encadrement législatif et réglementaire de la gestion des forêts, la fragmentation de la propriété se traduisant par des modes de sylviculture très divers, le faible rapport financier procuré par le bois énergie.

A. **JACQUET** conclut en insistant sur trois points :

- le débouché bois énergie est nécessaire pour diminuer les coûts de l'investissement forestier ;
- il n'existe pas de risque de sur-exploitation des forêts ;
- pour la filière bois énergie, le regroupement des producteurs privés et la contractualisation sont des éléments de structuration essentiels.

### Principaux sujets abordés lors du débat avec la salle

*Que pensez-vous de l'objectif fixé par les pouvoirs publics d'accroître la récolte de bois en forêt de 12 millions de m<sup>3</sup> par an ?*

Il semble qu'il existe peu de réserves de bois en forêts gérées (forêts publiques sous régime forestier et privées sous PSG). Un recours massif aux forêts non gérées risque d'y produire une sur exploitation « minière ». Pour A. **JACQUET** le comportement patrimonial et la grande diversité des propriétaires privés ont pour conséquence un risque très faible.

*Quel est votre avis sur la certification du bois énergie ?*



Pour S. DEFAYE, la certification n'est pas justifiée. A. JACQUET est au contraire en faveur de la certification, en faisant remarquer que 60 % du bois énergie sont commercialisés en-dehors de tout système organisé : pour lui il est essentiel d'organiser les producteurs et de les accompagner : les systèmes de certification y contribuent. Par ailleurs, les pratiques d'exploitation du bois énergie ont encore besoin de progresser et une spirale d'amélioration continue comme celle de PEFC y contribue.

*Quels sont les échanges de bois énergie sur les marchés internationaux ?*

Pour S. DEFAYE, le bois énergie n'est pas fait pour les transports à longue distance, notamment internationaux. Jusqu'ici l'approvisionnement du marché est français à 95%. Pourtant la Compagnie parisienne de chauffage urbain utilise des granulés importés des pays baltes, et la centrale électrique de Provence (« Gardanne », qui constitue un contre-exemple pour le CIBE et pour le gouvernement) importe 500 000 tonnes de bois du Brésil par an.

*Le bois énergie vaut quelques euros du stère sur pied. N'existe-t-il pas d'autres voies de valorisation énergétique du bois qui seraient plus rémunératrices pour le producteur ?*

Il est techniquement possible d'extraire des gaz du bois : méthane, hydrogène. Pour le méthane, les quantités produites sont très limitées. Pour l'hydrogène à partir de biomasse ligneuse, il n'existe pas de pilote industriel.

*Le gisement des bois recyclés est-il bien exploité ?*

Le gisement des bois en fin de vie en France est de 6 millions de tonnes par an. D'après M DEFAYE, le public s'oppose à ce que ces bois alimentent les usines d'incinération par crainte des dioxines dans les fumées. Seulement 1 million de tonnes sont utilisés pour l'énergie en France. 1,5 millions de tonnes sont perdus, le reste est exporté, notamment vers la Suède ... pour l'énergie. La France dispose de l'ordre de 4 à 5 millions de tonnes de bois actuellement classés « déchets intermédiaires » qui pourraient être utilisés comme combustible à condition d'être traités au préalable.

### **Conclusion par Madame Sylvie ALEXANDRE**

Madame ALEXANDRE commence son propos par des remarques concernant deux points du débat. (i) En matière de recyclage, le projet de contrat stratégique de filière bois fixe l'objectif de récupérer d'ici 2022 1,3 million de tonnes supplémentaires de bois en fin de vie et de les trier sur la base de leur composition chimique : 0,4 million de tonnes pouvant être recyclés, 0,9 million de tonnes pour l'énergie. (ii) L'augmentation de la récolte de bois en forêt suppose de s'adresser aux 50% de la surface forestière qui sont actuellement hors gestion durable. La gestion et la certification groupées, par exemple dans le cadre de PSG simplifiés, sont à cet égard des outils très intéressants.

Depuis 15 ans, des progrès importants ont été réalisés. Le bois est le premier fournisseur d'énergie renouvelable en France. Il absorbe la moitié des financements du Fonds chaleur, et produit les deux tiers de ses Tonnes Equivalent Pétrole (TEP). Le ministre de la transition écologique et solidaire souhaite l'augmentation de l'emploi du bois et des déchets bois, au service de l'objectif de neutralité carbone. Cet objectif est poursuivi en cohérence avec la révision en cours pour fin 2018 de la Programmation pluri-annuelle de l'énergie et de la Stratégie nationale bas carbone prévues par la loi TECV, selon le nouvel objectif de neutralité carbone fixé par le Plan Climat : neutralité carbone, soit les émissions de la France compensées par les absorptions, à 2050. L'accroissement des récoltes doit être réalisé dans le cadre d'un aménagement forestier et d'une sylviculture respectueuse de la biodiversité et des sols. La hiérarchie des

usages doit être respectée : en particulier les usages matériau (construction, industrie) doivent être développés prioritairement, puis le recyclage, puis les usages énergétiques, pour lesquels la production de chaleur sera fortement privilégiée par rapport à celle d'électricité.

Le renouvellement mi 2018 du Contrat stratégique de filière bois s'effectue dans un contexte de collaboration renforcée entre les différents ministères. Une démarche pragmatique s'efforce de lever les verrous un à un, en travaillant avec les acteurs économiques concernés. Le doublement des moyens financiers du Fonds chaleur, qui demeure l'objectif et doit être mise en œuvre en tenant compte de la montée en charge de la contribution climat – énergie attestent du volontarisme des pouvoirs publics.

Au niveau de l'UE, la nouvelle directive RED II<sup>7</sup>, pour la période 2020-2030, devrait apporter des améliorations en ce qui concerne en particulier les critères de durabilité de la biomasse solide, mais des questions persistent autour des analyses de cycle de vie, notamment les méthodologies et hypothèses qui peuvent orienter fortement les résultats et devront être les plus objectives possibles.

Pour Madame **ALEXANDRE**, « OUI, le bois énergie a de l'avenir car son développement est indispensable à la réalisation des objectifs des engagements de la France sur le climat ».

Patrick **OLLIVIER**, trésorier perpétuel, membre de la section 2

Bernard **ROMAN-AMAT**, secrétaire de la section 2

6 juillet 2018

---

<sup>7</sup> New Renewable Energy Directive.

V.A.  
**L'ENTREPRISE AGRICOLE**

Numéro spécial de la revue *Entreprises et Histoire* (N° 88, septembre 2017)

Compte rendu d'ouvrage par  
Jean-Marc **BOUSSARD**  
Membre de l'Académie.

L'histoire de l'entreprise agricole est évidemment un beau sujet. C'est même un sujet très ambitieux, de sorte que ce numéro spécial de la revue *Entreprises et Histoire* nous laisse un peu sur notre faim. Ce n'est pourtant pas faute d'une bonne idée de départ : l'introduction de Nathalie Joly, Thomas Depecker et Julie Labatut dresse un tableau magistral de l'évolution des idées sur la gestion des entreprises agricoles et le progrès technique depuis les origines jusqu'à nos jours. Mais passé cette brillante introduction, on se perd un peu dans les détails.

L'ouvrage débute par deux articles sur l'histoire de la comptabilité agricole en France, l'un à propos des tentatives de Mathieu de Dombasle pour introduire la « comptabilité en partie double », l'autre sur les résistances à cette idée, un auteur comme Lecouteux jugeant cette méthode inutilement compliquée. Une troisième contribution de Nathalie Joly, à la fin de l'ouvrage, commente un document savoureux sur la vulgarisation de ces méthodes.

Cette histoire de la comptabilité agricole est fascinante. L'enthousiasme et le désintéressement des pionniers du progrès agricole au 19<sup>e</sup> siècle sont impressionnants, de même que leur naïveté. Ils entendent mener les « entreprises agricoles » comme on l'avait fait pour l'industrie manufacturière, avec les méthodes comptables directement transposées de celle-ci. Or ce n'est pas du tout la même chose de gérer une ferme de polyculture élevage et une fabrique d'allumettes. Assez curieusement, il n'est pas question de l'« école de Grignon » formée autour de Jean Chombart de Lauwe dans les années 1950-60, qui a joué un rôle si important dans la diffusion du progrès technique au cours des « 30 glorieuses ».

On passe ensuite aux grandes exploitations de l'agriculture coloniale, avec deux études, l'une sur la production d'huile de palme au nord de Sumatra, l'autre sur la production de café en Angola. Dans les deux cas, il faut des méthodes de type esclavagiste pour gérer la main d'œuvre, qui, autrement, échapperait à tout contrôle. Le système indonésien se transforme peu à peu, les anciens ouvriers obtenant de cultiver des terres vierges pour leur usage personnel, tout en travaillant à temps partiel dans les plantations. De son côté, la compagnie portugaise évolue vers un système de quasi-métayage, son avantage comparatif se trouvant plutôt dans le contrôle du marché d'aval, et dans son aptitude à diffuser le progrès technique auprès de sa main-d'œuvre. Mais elle n'a pas de vrai monopole, et se trouve ruinée par la crise du café des années 1930. Ici encore, les auteurs sont tout à fait surpris que les choses se passent finalement d'une façon très différente de ce qu'on aurait pu attendre d'entreprises industrielles exploitant les « économies d'échelle ».

Une troisième (et très intéressante) contribution sur un sujet voisin, mais peu connu concerne les coopératives d'affermage en Italie au début du 20<sup>e</sup> siècle : les grands propriétaires de la péninsule donnaient leurs terres en fermage non à des paysans individuels, mais à des coopératives. Celles-ci rétrocédaient les baux à des fermiers : ainsi, le propriétaire était-il à peu près sûr de toucher son loyer, cependant que la formule coopérative permettait de faire jouer l'entraide en cas de défaillance de l'un des sociétaires. Le procédé était vu comme une sorte de réforme agraire spontanée. On peut aussi le voir comme un procédé de gestion des risques, ce que, c'est dommage, les auteurs ne discutent pas.

Trois autres contributions sont centrées sur la recherche technique : la première, sur le développement de nourritures pour chevaux au 19<sup>e</sup> siècle en France est un peu anecdotique. La seconde, sur l'amélioration génétique des bovins, comporte des erreurs assez grossières (une formule où l'on additionne une variance avec une moyenne ferait dresser les cheveux sur la tête à n'importe quel statisticien !). La troisième, en revanche est du plus haut intérêt en faisant le point sur la difficile question de la « brevetabilité du vivant », un domaine où les décisions juridiques de tous les états du monde s'entrechoquent dans un mouvement qui donne le tournis. L'auteur fournit ici une synthèse de toute cette jurisprudence d'une façon qui n'a pas grand-chose à voir avec l'exploitation agricole (en vérité, les unités concernées sont plutôt les chercheurs et les fabricants de semences), mais qui est extrêmement claire et bienvenue pour quiconque s'intéresse à cette question vitale pour le progrès technique.

Finalement, le seul article qui soit vraiment centré sur l'entreprise agricole est celui de Charles Sheldon, qui décrit les méthodes utilisées par Bory Latour-Marliac à la fin du 19<sup>e</sup> siècle pour lancer le nénuphar comme plante décorative. C'est intéressant, mais anecdotique : ce qui marche pour le nénuphar ne marche pas forcément pour l'avoine ou les pommes de terre...

Reste la conclusion : un débat à quatre voix entre Stéphanie Barral, une sociologue, Gérard Béaur, un économiste, Christiane Lambert, la présidente de la FNSEA et Jacques Remy, autre sociologue, sur « L'Agriculture et le Capitalisme ». J'avoue ici une certaine déception : Il s'agit toujours de se demander pourquoi l'entreprise agricole reste toujours « petite », et sans vraiment intéresser les banques non coopératives, ce qui semble contraire à la loi du capitalisme selon laquelle toute activité économique doit finir entre les mains du capitalisme financier...

Or la réponse est simple : en agriculture, il n'y a pas (ou très peu) d'économies d'échelle. Cela tient à des raisons techniques, liées sans doute à ce que les activités agricoles sont réparties sur de grandes surfaces. Les machines, inévitablement, ne sont pas énormes puisqu'il faut pouvoir les déplacer. De plus il faut constamment surveiller l'évolution des travaux et l'état des plantes, ce qui engendre des coûts dont l'augmentation est plus rapide que celle de la production sur une surface homogène<sup>8</sup>. Cela ne signifie pas l'absence de capital dans la combinaison productive (les exploitations modernes en utilisent beaucoup). Mais cela entraîne qu'à partir d'un seuil assez bas, un accroissement de production devient plus facile à réaliser en créant une nouvelle entreprise un peu plus loin plutôt qu'en augmentant la surface d'une exploitation existante. Dès lors, les exploitations agricoles doivent rester « petites » et ne peuvent que très exceptionnellement bénéficier de rentes de monopole, une circonstance qui, à son tour, concourt à l'instabilité des marchés.

Il y a plus : quiconque dispose d'une grosse somme à investir serait bien stupide de les mettre dans une exploitation agricole quand il pourrait obtenir une rentabilité supérieure dans une activité « avec » économies d'échelle. C'est bien pourquoi « les riches » ont mieux à faire que de l'agriculture ! C'est sans doute là que se trouve l'origine de la fameuse plaisanterie sur les trois manières de se ruiner, « le jeu, les femmes et l'agriculture. Le jeu, c'est plus rapide, les femmes, c'est plus agréable, mais l'agriculture, c'est plus sûr ». On peut comprendre que les auteurs n'aient pas voulu se référer à un axiome de salle de garde. Ce type de propos, pourtant, est parfois assez révélateur d'une société. Ici, il aurait pu illustrer une partie des spécificités des aventures agricoles...

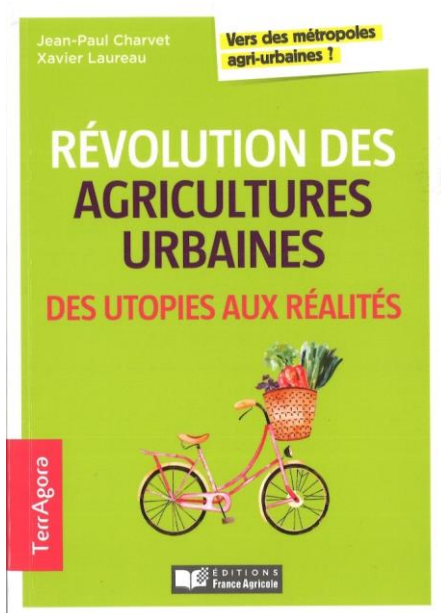
Depuis trois siècles, comme le montrent finalement beaucoup des histoires rapportées dans ce livre, il s'est trouvé une foule de gens (y compris les Soviétiques !) pour ne pas comprendre cette spécificité de l'agriculture, et à s'obstiner à y investir leur fortune... Après tout, c'est très souhaitable, et ces illusions ont au moins permis un développement de la recherche qui n'aurait pas été possible autrement !...

---

<sup>8</sup>Cf Boussard, J.M. (1976) : The concept of economies of scale in a multiproduct industry and its implications for the future of agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 3 (1), pp. 53-70.

## RÉVOLUTION DES AGRICULTURES URBAINES

Des utopies aux réalités.



par Jean-Paul CHARVET<sup>1</sup> et Xavier LAUREAU<sup>2</sup>

Jean-François COLOMER<sup>3</sup>. – Le développement des villes et des métropoles « sitopiques » façonnées en relation étroite avec leur nourriture et leur alimentation correspond à des demandes et des aspirations fortes. La signature du pacte alimentaire de Milan en octobre 2015 par plus de 130 métropoles dans le monde consacre leur volonté de reconquérir une bonne part d'autonomie alimentaire et marque un renouveau et un essor des agricultures urbaines<sup>4</sup>.

Partant de ce constat, Jean-Paul CHARVET et Xavier LAUREAU, tous deux membres de l'Académie d'agriculture de France se sont lancés à la découverte des métropoles agri-urbaines, au décryptage des différents modes de production alimentaire urbaines et périurbaines non sans reconnaître les difficultés

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Professeur émérite, Université Paris Ouest-Nanterre-La Défense.

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Directeur du Groupe Gally.

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France.  
Éditions France Agricole, collection TerrAgora 204 pages.

<sup>4</sup> "Agricultures urbaines" correspond, pour le citadin-citoyen aux formes d'agriculture pratiquées à l'intérieur de la ville-dense (sur les toits et balcons, au sein des jardins partagés...). Pour les scientifiques, il s'agit de celles conduites dans la ville diffuse (périurbain).

techniques et les limites économiques de cette « révolution » réclamée par les consommateurs citoyens.

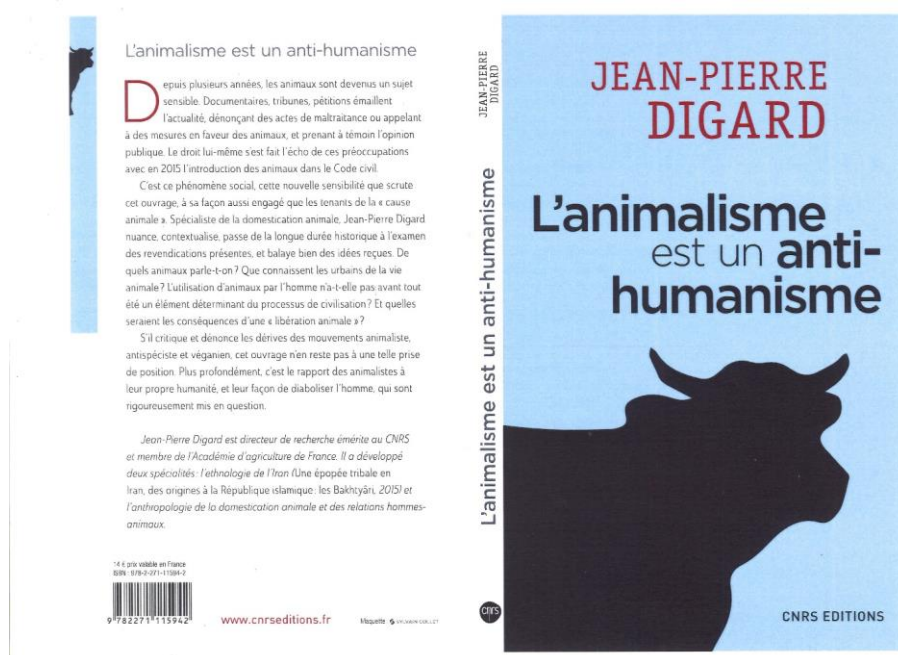
Une révolution qui s'inscrit, selon eux, dans deux mouvements de fond de la révolution agricole du XXI<sup>ème</sup> siècle que sont l'agriculture de précision et l'agroécologie, mais qui possède aussi des références dans le passé. Ainsi la permaculture qui permet de créer des paysages comestibles hautement productifs n'a rien inventé si on se réfère aux jardins maraîchers d'antan autour de Paris utilisant les gadoues urbaines et mettant en synergie le gisement de terres agricoles et celui de fertilisants.

Ce n'est qu'une des multiples initiatives recensées par nos deux auteurs et reliées à des objectifs de développement durable, de gestion améliorée de l'environnement ou de verdissement de la ville et qui vont du « *Low tech* » au « *high tech* ». Au passage ils reconnaissent que la durabilité de nombreuses opérations mises en place repose très largement sur la durabilité des financements extérieurs et sur celles du bénévolat, comme par exemple les « *Community gardens* » de Montréal au Canada ou les potagers de restaurants très en vogue à New York. Mais il existe aussi des fermes urbaines intégrant la révolution numérique comme les containers « *Agricool* » pour produire des fraises, le projet de ferme maraîchère urbaine lyonnaise ou les usines tours à salades asiatiques.

Pour réussir dans ce genre d'entreprise de rapprochement entre producteurs et consommateurs et donc de gouvernance alimentaire périurbaine, nos deux académiciens estiment qu'il convient de mettre en synergie trois grandes catégories d'acteurs : les consommateurs et les associations de consommateurs motivés, les acteurs du marché et enfin les administrations et les élus locaux désireux de soutenir et mettre en place des politiques publiques favorables à des systèmes alimentaires de proximité.

Partant de l'exemple de l'Île de France, Jean-Paul CHARVET et Xavier LAUREAU font le pari que les campagnes franciliennes disposent de réelles capacités d'innovation et d'adaptation ; ces évolutions et innovations vont désormais s'inscrire dans un triple contexte réglementaire : la réforme de la politique agricole commune, la Loi d'avenir pour l'agriculture qui promeut l'agroécologie et ouvre la possibilité de projets alimentaires territoriaux. Enfin, au niveau francilien, le schéma directeur (SDRIF) de 2013 qui privilégie les complémentarités entre territoires et développement de filières alimentaires de proximité.

Sans tomber dans le fantasme de penser que les agricultures urbaines de demain seront en capacité, à elles seules, de pourvoir à l'alimentation de villes multimillionnaires en population, ce livre très documenté et abondamment illustré nous ouvre la voie de la révolution tranquille et en marche des agricultures métropolitaines vers des métropoles agri-urbaines.

L'ANIMALISME EST UN ANTI-HUMANISME<sup>1</sup>de Jean-Pierre DIGARD<sup>2</sup>

Jean-Michel **BESANCENOT**<sup>3</sup>. – En 127 pages, Jean Pierre **DIGARD**, anthropologue, dénonce un courant à la fois idéologique et activiste qui, en niant l'existence des espèces, demande pour « l'Animal », avec un grand A, des droits analogues à ceux des Humains (et les devoirs ?)

Pour notre Confrère, « la cause animale » est montée en puissance à l'approche de la dernière élection présidentielle, la question du traitement des animaux débordant sur une notion d'éthique, non pas une éthique « responsable » à laquelle se rattache Jean Pierre **DIGARD**, mais une éthique de « conviction » sans rigueur scientifique.

Dans un historique des rapports humains-animaux, notre Confrère rappelle 3 types de relations, relations « effectives » rencontrées chez les professionnels de l'élevage, relations également « effectives » mais à dominante « affectives » chez les détenteurs d'animaux de compagnie, et relations qualifiées de « fictives et imaginées » des animalistes, animalistes qui oublient une hiérarchie qui a toujours existé dans

<sup>1</sup> CNRS ÉDITIONS, 2018, 127 pages.

<sup>2</sup> Directeur de recherche émérite au CNRS, Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

les relations humains-animaux et qui est fonction de la proximité dans laquelle vivent humains et animaux, de l'animal de compagnie à la faune sauvage. Certes Jean Pierre **DIGARD** admet que les relations traditionnelles se sont trouvées modifiées par l'explosion du phénomène animaux de compagnie, animaux « surprotégés, survalorisés, ... complètement anthropomorphisés » et la concentration des élevages dits de rente dans des unités de plus en plus grandes chez des détenteurs de moins en moins nombreux (1% de la population). Ainsi naît un idéal de « non utilisation des animaux ».

C'est la Révolution Française, avec « les amis des bêtes de l'an X », qui a amené certains à se pencher sur la condition animale avec le souci de réduire la maltraitance, sujet repris tout au long du XIX<sup>ème</sup> siècle (attention particulière aux chevaux) pour aboutir à une 1<sup>ère</sup> notion de sensibilité en 1898. Cette notion sera reconnue bien plus tard, en 1976, pour aboutir en 1978 à « une déclaration universelle des droits de l'animal », sans grandes conséquences ; en revanche le rapport sur le régime juridique de l'animal en 2005 débouchera en 2015 sur « le pied dans la porte » de Jean **GLAVANY** avec « l'affirmation, pour les animaux d'êtres vivants doués de sensibilité », bien que toujours « biens meubles » ! L'amendement Glavany est vu par notre confrère comme « l'aboutissement d'une campagne médiatique soigneusement orchestrée par des intellectuels médiatisés non compétents ». Les scientifiques ne sont plus écoutés. On passe de la « protection animale » à la « libération animale ». On nie les espèces (antiespécisme) ; on ne parle plus d'espèces animales dans leur grande diversité, mais de « l'Animal » avec un grand « A ».

Avec l'association L 214, on assiste à une radicalisation des positions, un lobby animaliste puissant (plus de 280 associations de « protection) qui trouve des relais de nature inquiétante à l'INRA et au Ministère de l'agriculture. Il semblerait par ailleurs qu'un « complexe » naisse chez ceux qui élèvent les animaux de rente, qui les côtoient, qui en vivent et qui les connaissent bien. Il faut donner des gages à ceux qui attaquent : ainsi va naître ce concept de « bien-être animal » (BEA), une mauvaise traduction de l'anglais « *animal welfare* », que notre confrère qualifie de « Cheval de Troie de l'animalisme », ou « comment se redonner bonne conscience face à cette réputation de productivisme mise en avant pour les activités d'élevage. Les organisations d'élevage, l'agro-alimentaire se précipitent dans la démarche sans se douter que ce « BEA » apporte de l'eau au moulin des animalistes qui en veulent toujours plus, avec des techniques de communication mensongères. On nie ce qui est fait pour protéger les animaux, on sélectionne pour les médias « des faits révoltants », on y introduit aussi le gaspillage alimentaire. On veut convaincre « qu'en rendant justice aux animaux, on aidera à résoudre les problèmes des humains (...la législation nazie était très favorable aux animaux !) ».

Comment résister à un mouvement minoritaire qui s'appuie sur « des sondages bidons et des pseudos experts » ? Tout geste en direction des animalistes est un argument pour de nouvelles revendications. On se doit de mettre en phase les besoins des animaux et ceux des humains et face au flou du « BEA », il faut recentrer le raisonnement sur l'Homme, ses intérêts, ses devoirs notamment en ce qui concerne la biodiversité.

L'ouvrage se termine par un glossaire et une bibliographie récapitulative.

On attend la critique !



**TOUT SAVOIR SUR NOTRE ALIMENTATION : DÉMÊLER LE VRAI DU FAUX !<sup>1</sup>**par Pierre **FEILLET**<sup>2</sup>

Léon **GUÉGUEN**<sup>3</sup>. – Dans le climat actuel de méfiance vis-à-vis de notre alimentation, entretenu par divers mouvements et associations et souvent amplifié par les médias, cet ouvrage est une nouvelle contribution salutaire à la lutte contre les idées reçues et la désinformation.

« Tout savoir » peut sembler ambitieux mais l'auteur est un expert reconnu et qui sait traiter simultanément et de façon crédible (ce qui n'est pas toujours le cas pour d'autres auteurs) les problèmes concernant la nutrition, les technologies agro-alimentaires et les modes de production agricole. Il a déjà publié plusieurs ouvrages sur ce thème.

Présenté sous forme de questions-réponses qui peuvent être lues séparément et dans le désordre, ce livre apporte des réponses claires et bien documentées à des questions courantes qui persistent dans l'opinion publique et qui sont accessibles au plus grand nombre. Bien que très denses, les réponses vont à l'essentiel et ne s'encombrent pas d'anecdotes superflues ou de nombreuses références bibliographiques. Ainsi, seules une ou deux références sont citées, même si ce souci de simplification conduit parfois à occulter d'importantes

<sup>1</sup> Éditions **edp sciences**, 2018, 227 p.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Membre de l'Académie des Technologies, Directeur de recherche honoraire de l'INRA

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

publications récentes. Cependant, innovation très utile dans un ouvrage destiné au grand public, presque toutes les références sont accessibles en ligne par un lien, ce qui facilite considérablement le travail de recherche documentaire du lecteur qui voudrait en savoir plus. Il en résulte un livre clairement présenté de façon didactique, facile à lire, et qui répond parfaitement aux nombreuses questions que se pose le consommateur.

Les justifications fournies s'appuient sur d'indispensables rappels des bases de la nutrition et des fonctions de tous les nutriments (protéines, lipides, minéraux, vitamines, etc.) et sur les tables récentes du Ciqual (Anses) de composition chimique des aliments dont les principales données sont résumées dans les différents grands chapitres.

Les 65 questions traitées sont classées en plusieurs catégories, d'abord par catégorie d'aliments (produits céréaliers, fruits et légumes, produits laitiers, produits carnés, matières grasses, produits aquatiques), puis portent sur les substances chimiques ajoutées, les préférences alimentaires et les modèles de consommation (végétarisme, végétalisme...). Certaines questions sont banales, comme le fer des épinards, les pâtes qui font grossir, l'excès de sel, le « lait » de soja, l'intolérance au lactose, les effets nocifs du barbecue, la viande aux hormones. D'autres sont nouvelles et très médiatisées, parfois préoccupantes, comme celles qui portent sur les résidus de pesticides, les additifs alimentaires, les OGM, les relations entre nutrition et cancer, les édulcorants et tous les régimes « sans » lactose, gluten, viande, lait... Enfin, plusieurs questions plus pointues font l'objet de débats scientifiques en cours, comme l'effet de l'alimentation sur l'épigénome, les fonctions du microbiote intestinal, les perturbateurs endocriniens... Pour terminer ce vaste inventaire, cinq questions-réponses concernent l'alimentation durable pour la planète, l'accent étant mis sur le problème récurrent des effets de l'élevage des ruminants sur la consommation d'eau (souvent caricaturalement surévaluée) et l'émission de gaz à effet de serre.

Enfin, toujours dans un but didactique, un copieux glossaire termine le livre.

Contrairement à de nombreux livres publiés par des écrivains-médecins-gourous dont la vocation intéressée est manifestement de faire peur, ce livre rassure le citoyen-consommateur en apportant des réponses scientifiquement argumentées et mesurées aux nombreuses questions légitimes qu'il se pose... Ainsi, par exemple, le lecteur devrait être rassuré en comprenant pourquoi le lait n'est pas cancérigène, les fruits et légumes bio ne sont pas meilleurs pour la santé, il n'y a pas d'hormones ni d'antibiotiques dans la viande, les OGM ne sont pas dangereux, les produits agricoles n'étaient pas plus nourrissants autrefois, le beurre ne fait pas grossir, le saumon d'élevage n'est pas mauvais pour la santé ou pour la planète, etc. A ce titre, il va à l'encontre des messages exagérément anxiogènes qui nous envahissent et constitue donc un remède efficace contre une maladie émergente dans notre société de nantis, l'orthorexie.

La lecture de ce livre peut aussi être faite de façon plus ludique en utilisant les cases à cocher qui suivent chaque question posée : vrai, faux, discutable. Dommage que les réponses soient révélées avant la lecture du texte !

**DÉCARBONONS !****The Shift Project**

Zeynep Kahraman, André-Jean Guérin  
Jean-Marc Jancovici

**Décarbonons !**

9 propositions  
pour que l'Europe change d'ère



avant-propos de

**Jean-Marc Jancovici**



Jean **Dunlas**<sup>1</sup>. – *"Decarbonons !"* est un petit livre, présenté par l'association *"The Shift Project"* (projet de changement) et écrit par une équipe de 3 personnes : J.M. **Jancovici** (son président), A.-J. **Guérin** ancien membre du Conseil Économique Social et Environnemental et membre de l'Académie d'Agriculture de France, et Zeynep **Kahraman**, économiste, directrice des projets.

Il présente 9 propositions visant à diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) dont l'augmentation continue surtout au cours des 70 dernières années est considérée comme étant l'une des principales causes du changement climatique. Elles couvrent la plus grande part des secteurs économiques : production d'électricité, transports, industrie, habitat et l'aménagement urbain, agriculture et forêt.

Sous une forme très didactique, les auteurs avancent leurs propositions en montrant en quelques lignes l'enjeu pour le climat, l'intérêt sociologique et économique, les coûts et bénéfices. Sont développées, dans un chapitre isolé qui suit, leur bien-fondé aux plans techniques, économiques et écologiques. La conclusion se présente sous la forme d'un "manifeste" pour "décarboner" l'Europe.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Ingénieur général honoraire du GREF.

Ce petit livre est très bien fait. Il est remarquablement présenté avec des textes clairs, des schémas faciles à appréhender et des graphes très démonstratifs. L'ensemble donne une forte impression de cohérence et de rationalité, rassurante pour le lecteur cherchant à se faire une idée des solutions possibles. A ce titre notons que Le chapitre sur la réduction de l'empreinte carbone de l'industrie est particulièrement intéressant.

Les exposés restent toutefois assez souvent théoriques et généraux, et on peut regretter qu'ils n'aient pas été plus enrichis d'exemples concrets réussis. Dans l'ensemble, les solutions proposées restent très classiques. Il est vrai que le choix d'un ouvrage à volume limité avec des présentations courtes et didactiques, ne permettait guère le développement de solutions particulières intéressantes mais difficilement généralisables.

C'est le cas, par exemple, du remplacement des centrales à charbon par des centrales brûlant du gaz naturel qui donne la possibilité de diminuer de moitié les émissions de dioxyde de carbone par kWh produit. Cette solution intéressante aux Etats-Unis qui bénéficient d'une importante production de gaz est beaucoup plus difficile à appliquer en Pologne, en Chine ou en Inde, pays qui n'ont pas les mêmes ressources gazières. De même, le potentiel de l'hydrogène comme vecteur et éventuellement accumulateur énergétique, en particulier dans l'industrie, se heurte aux difficultés d'emploi de ce combustible dont l'usage n'est vraiment intéressant que s'il est obtenu à partir de l'électrolyse de l'eau.

Dans le domaine du chauffage des bâtiments, l'absurdité thermodynamique, consistant à utiliser une flamme à 1800°C pour augmenter la température de l'air d'un local de 10 à 20° est bien connue. La pompe à chaleur permet de faire mieux avec un bien meilleur rendement. Mais cela n'est pleinement intéressant que si l'on dispose d'énergie électrique ne provenant pas de centrales brûlant des combustibles fossiles.

Sur un autre plan, le potentiel de séquestration du carbone des sols agricoles et forestiers à long terme est probablement considérable. Mais la mise en œuvre des méthodes culturales pour le mobiliser varie beaucoup suivant les régions et nécessite un savoir-faire et des équipements adaptés qui sont loin d'être disponibles partout.

Personnellement, j'ai souvent été agacé de trouver dans des décisions publiques récentes des erreurs, des choix et incohérences aux conséquences fâcheuses. Je ne résiste pas à profiter de ces lignes pour les citer.

- Chercher, à tout prix, à réduire l'utilisation des moteurs diesel qui consomment 25 à 35% de moins que les moteurs à essence de puissance équivalente est une aberration quant aux émissions de CO<sub>2</sub>. Le prétexte de la pollution urbaine moindre ne résiste pas aux progrès faits récemment sur ce point.
- Fournir un appui financier probablement excessif aux véhicules hybrides qui ont l'intérêt de diminuer la pollution en ville, mais qui sur route plate ou autoroute consomment au moins autant, sinon plus, que les véhicules classiques car plus lourds et dont la construction utilise des métaux rares et présente une forte empreinte carbone est une décision sur laquelle on peut s'interroger.
- Abandonner des liaisons ferroviaires interurbaines rapides comme Lyon-Turin, ne va pas dans le bon sens.
- Réglementer l'isolement de l'habitat en se basant sur les moyens et non les résultats tout en méconnaissant divers risques associés (sanitaires et incendie) manque de rationalité.

Ce livre devrait se révéler un outil très utile. On peut espérer que son optimisme aura une influence positive sur l'opinion publique française et ses décideurs. A l'échelle européenne, l'éventuelle exemplarité française n'est pas gagnée d'avance. A l'échelle mondiale, il est à craindre que l'appétit de nos concitoyens pour les produits asiatiques bon marché mais à haute empreinte carbone ne submerge les bonnes volontés françaises et européennes. Comment leur rappeler que les énormes émissions chinoises de CO<sub>2</sub> affectent la totalité de l'atmosphère terrestre ? A quand une taxation adéquate pour rééquilibrer un peu mieux les échanges sur ce plan ?



« **Idées reçues et agriculture : Parole à la science** » est au final un « phare dans la mer de l'ignorance » !

Ainsi :

**Paul Vialle**, après avoir justement rappelé que « l'homme a toujours été un perturbateur de son environnement, qui par définition est instable », nous invite à voir le « séquençage du génome des plantes, comme la Caravelle du temps jadis qui ramenait de nouvelles espèces végétales, modifiant à jamais le biotope de son lieu de débarquement ». Il nous incite, néanmoins, à réfléchir à l'éthique « du parcours de ces nouvelles Caravelles ».

**Christian Lévêque**, après avoir rappelé que « la biodiversité actuelle en France est une co-construction de l'Homme et de la Nature, issue notamment des pratiques agricoles », nous explique que si cette biodiversité évolue actuellement, c'est « justement parce que les pratiques agricoles évoluent ». C'est pourquoi, il plaide pour la « recherche d'un compromis entre tous les partenaires concernés sur la biodiversité de demain ».

**André Fougeroux** ramène « à son juste niveau l'implication des abeilles dans la production agricole », commente « les chiffres incertains des populations mondiales d'abeilles » et explique « les nombreux facteurs qui causent leur disparition dans certaines parties du Globe ».

**Catherine Regnault-Roger** rappelle « qu'on ne peut pas parler avec pertinence de contamination des aliments si on confond danger et risque » et qu'on ne peut analyser cette contamination sans « connaître les notions de Limite maximale de résidus (LMR), de Dose journalière admissible (DJA), de Dose sans effet (DES) et d'Apport journalier maximum théorique (AJMT). La lecture de son article devrait être rendue obligatoire à tout commentateur, notamment les journalistes, de la contamination des fruits et légumes par les pesticides ».

**Gérard Pascal** traite « avec courage » le sujet des perturbateurs endocriniens, des substances qui remettent en question le principe de Paracelse (« Tout est poison, rien n'est poison ; c'est la dose qui fait le poison ») et pour lesquelles (reste à savoir qui elles sont...), « il n'y a pas consensus scientifique, notamment sur leur seuil de toxicité et sur la période d'exposition ».

**Léon Gueguen**, après avoir nié être le « pourfendeur du Bio, que certains l'accusent d'être », jette toutefois le trouble dans nos cerveaux sur « la volonté réelle des promoteurs d'une alimentation bio qui coûte entre 30 et 100 % de plus qu'une alimentation non bio, pour des effets, positifs et... négatifs, sur la santé du consommateur qui restent très controversés ».

**Gilles Kressmann** s'interroge, lui, sur l'avenir économique du Bio « dont le marketing est fondé essentiellement sur la peur du consommateur à l'égard des aliments dits conventionnels, alors que la qualité de ces derniers ne cesse pourtant de s'améliorer ».

**Bernard Le Buanec**, après avoir rappelé que « si 12 plantes sont actuellement à la base de 80% de la production d'aliments végétaux », nie néanmoins que la « diversité génétique diminue », notamment parce que les sélectionneurs des végétaux se sont dotés de « banques de gènes » indispensables à leur activité.

**Jean-Claude Pernollet**, traite « avec courage », lui aussi, le sujet des Organismes génétiquement modifiés (OGM) et tout particulièrement des Plantes génétiquement modifiées (PGM), dont « aucune toxicité avérée n'a été démontrée par l'organisme mondial INDEPENDANT : l'International service for the acquisition of Agri-Biotech application ». Serait-ce le cas de toute plante et fruit non OGM actuellement consommés par l'Homme ?

Enfin, **Claude Monnier**, un des deux doyens de l'Académie d'agriculture de France (hélas décédé dans sa 102<sup>ème</sup> année, depuis la rédaction de son article), conclut « Idées reçues et agriculture : Parole à la science », par « son message à la jeunesse », qu'il incite à :

- « redonner sa place à la science »,
- « lutter contre les idées reçues »,
- « avoir foi en un avenir innovant ».

Claude Monnier croyait « viscéralement » à l'avenir de l'agriculture. **Fasse que « Idées reçues et agriculture : Parole à la science » contribue à ce que nos concitoyens rejoignent l'optimisme de Claude Monnier (RIP) !**

### LA BIODIVERSITÉ AVEC OU SANS L'HOMME ?

#### RÉFLEXIONS D'UN ÉCOLOGUE SUR LA PROTECTION DE LA NATURE EN FRANCE<sup>1</sup>

#### LA NATURE EN DÉBAT. IDEES REÇUES SUR LA BIODIVERSITÉ<sup>2</sup>

Compte rendu des ouvrages de Christian LÉVÊQUE<sup>3</sup>



Nicole **MATHIEU**<sup>4</sup>. – Du fait de leur différence de titres et d'éditeurs, les deux ouvrages auraient mérité un compte-rendu spécifique. En effet bien qu'ils mettent au centre de leur interrogation les termes de Biodiversité et de Nature, ils se distinguent par le public visé par leur éditeur respectif. Certes, une même volonté de s'adresser avec clarté et simplicité à un public non averti les caractérise tous deux. Mais, c'est dans celui publié par Quae que l'auteur manifeste une ambition plus étendue, ne se limitant pas à la

<sup>1</sup> Éditions Quae, 2017, 127 p.

<sup>2</sup> Le Cavalier Bleu éditions, 2017, 180 p. (2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée).

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France.

<sup>4</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France.

dénonciation systématique des « idées reçues » sur la biodiversité. En effet, au-delà du manifeste adressé à ceux qui ont une vision étroite voire partisane de l'érosion jugée catastrophique de la biodiversité et, qui, par conséquent font de la protection de la nature voire de sa restauration un principe politique impératif et inaliénable même s'il faut en exclure l'homme, l'auteur des éditions Quae ne se contente pas de traquer les dessous idéologiques de cette politique publique. C'est, comme le titre l'indique, une « réflexion » au sens propre, un retour réflexif sur une expérience de la recherche de longue durée marquée par le côtoiement des scientifiques et en particulier des écologues avec les politiques de la recherche en rapport avec la question environnementale. On y retrouve le scientifique engagé dans les programmes interdisciplinaires entre sciences de la nature et sciences de la société, tentant de redonner une place à « L'homme » dans une « nature » réelle, observée avec exactitude, et non négativement idéalisée pour fonder une légitimité scientifique auprès des « décideurs ».

Pourtant, de mon point de vue, et même si les sciences sociales sont présentes dans la bibliographie<sup>5</sup> et que de nombreux auteurs, sociologues, géographes, économistes sont cités, dont plusieurs dans la mouvance de *Natures Sciences Sociétés*, revue où Christian Lévêque a plusieurs fois été publié, il me semble difficile de ne pas souligner une certaine faiblesse de cet ouvrage dans l'usage qui y est fait des sciences humaines et sociales. Le chapitre 7 « Les relations homme-nature : un débat qui fait encore recette » est en ce sens exemplaire. Car qui est cet « homme » dont on ne sait rien de concret ? Est-il chercheur, agriculteur de précision ou « paysan », fonctionnaire ou retraité ? Vit-il en ville ou en milieu rural e/ou entre les deux milieux ? De quelles natures est-il entouré et quelles sont ces connaissances de la biodiversité végétale ou animale ? Quelles sont ses représentations et ses pratiques et quels décalages révèlent ses comportements ? Sur ces interrogations les sciences sociales ne sont guère unanimes et il n'est pas possible de concilier le point de vue de géographes comme Tatiana Muxart avec qui il a travaillé avec celui des climato-sceptiques comme Yvette Veyret<sup>6</sup>. De même, l'angle d'attaque pour aborder la question du rapport homme/nature n'est pas la même quand c'est la question de l'environnement qui est principale comme chez le sociologue Kalaora ou quand, comme chez les économistes il s'agit de donner une valeur à des faits de nature – la biodiversité par exemple – ou à évaluer des services écosystémiques ou des compensations écologiques. Enfin la référence à Descola n'est, de mon point de vue, d'une piètre utilité quand il s'agit d'interroger les « cultures de la nature » des individus de statuts et d'origine hétéroclites qui composent les sociétés contemporaines dites occidentales.

En conclusion ces ouvrages ont le grand mérite d'ouvrir un débat de fond à partir d'une expression claire et argumentée d'un point de vue sur *la Question de la nature aujourd'hui* en France et sur les *Nouveaux rapports à la nature* des français et en particulier pour l'Académie, des agriculteurs de toutes postures et pratiques confrontés à la question de la transition agricole et énergétique sur fond de changement climatique et d'anthropocène.

---

<sup>5</sup> Des deux ouvrages

<sup>6</sup> Sylvie Brunel et Jean-Robert Pitte (dir.), 2010. *Le ciel ne va pas nous tomber sur la tête - 15 grands scientifiques géographes nous rassurent sur notre avenir*, JC Lattès, 352 pages



**SANTÉ DU VÉGÉTAL : 100 ANS DEJÀ !**(Regards sur la Phytopharmacie)<sup>1</sup>Sous la direction de Catherine **REGNAULT-ROGER** et André **FOUGEROUX**.

Jean-Claude **MOUNOLOU**<sup>2</sup> – N'étaient les parasites et divers bio-agresseurs, le rendement des grandes cultures en France serait plus élevé de quelques 20 %. Sans l'aide de la phytopharmacie, le résultat serait bien pire expliquent les agronomes. Les agriculteurs n'ont pas d'autre choix que de prendre soin de la santé de leurs plantes et de les protéger pour produire... et vivre.

« Comment est-on arrivé à une maîtrise, même partielle, de la santé des plantes ? » diront les uns. « Comment use-t-on encore de pratiques et de produits potentiellement dangereux pour les hommes et l'environnement ? » diront les autres. « Comment peut-on innover et aider les agriculteurs dans leur tâche de protection des cultures ? » diront les derniers. Et pour tous le temps presse, les résultats se font trop attendre mais la précaution doit s'imposer. Bien sûr, en toute hypothèse, les responsabilités d'éventuels échecs dans la lutte contre les bio-agresseurs des plantes pèsent et pèseront principalement sur les épaules des agriculteurs...

<sup>1</sup> Académie d'agriculture de France, Presses des Mines, 2018, 177 pages.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France ? Professeur honoraire de l'Université de Paris-Sud.

C. Regnault-Roger et A. Fougeroux répondent à ces questions dans le livre « Santé du végétal : 100 ans déjà ! Regards sur la Phytopharmacie ». Ils se sont entourés de plusieurs confrères pour rendre compte d'un vaste domaine polymorphe, mobilisant des connaissances scientifiques et des savoir-faire de tous ordres, et traitant de situations presque aussi nombreuses qu'il y a de plantes cultivées et d'agresseurs possibles ! La diversité est telle qu'elle peut même dérouter le lecteur. Les auteurs ont heureusement reformulé dans chaque cas (par exemple pour l'usage de produits phytopharmaceutiques de synthèse) l'objectif général à atteindre. Et leur leçon est toujours de raisonner, d'agir avec discernement et modestie, d'éviter enfin les promesses intempestives. En effet cultiver des plantes n'est pas une simple affaire de semis-protection -récolte. Le résultat espéré par l'agriculteur et attendu par la société demande la compréhension et la maîtrise d'un écosystème agricole qui assemble la plante, les hommes et le cortège inquiétant des animaux, adventices, champignons, bactéries... Pour entretenir la santé des plantes comme la sienne propre il faut traiter et user d'une pharmacopée.

Depuis les temps anciens les pratiques de protection ont évolué. Dans ce livre le lecteur trouvera une histoire des changements dont le progrès des connaissances fut le moteur. A chaque étape la société retient les innovations qui conviennent aux nécessités de l'instant et écarte les pratiques qu'elle juge dépassées ou déplacées. Aujourd'hui le mouvement est mu par la recherche d'un profit et la compassion pour l'environnement. La suffisance alimentaire étant acquise, la France a les moyens de chercher la qualité et d'exiger que des précautions soient prises pour la santé et les milieux.

Trois personnages vont certainement ouvrir ce livre : l'étudiant, le conseiller agricole ou l'ingénieur, le citoyen ordinaire que le mot « santé » a accroché quand il a parcouru le site de l'académie.

Suivre un cours de phytopathologie peut n'être que la réception d'une information. Par contre pour préparer un mémoire ou une thèse, l'étudiant aura besoin d'asseoir sa connaissance sur le passé et de disposer de références. Les premiers chapitres lui fourniront ces informations. Il cherchera aussi à comprendre pourquoi et comment les attentes de la société ont modelé les pratiques de protection. Il découvrira qu'il n'existe pas une théorie universelle de la santé des plantes. Selon son sujet il lui faudra choisir dans une palette de possibilités. Pour lutter contre des adventices faut-il user d'herbicides, travailler le sol, recourir à la lutte biologique et aux compétitions ou finalement renoncer pour préserver une lointaine biodiversité ? Choisir demande d'argumenter et de raisonner. Les derniers chapitres lui proposeront de sages et utiles réflexions sur les méthodes et les enjeux.

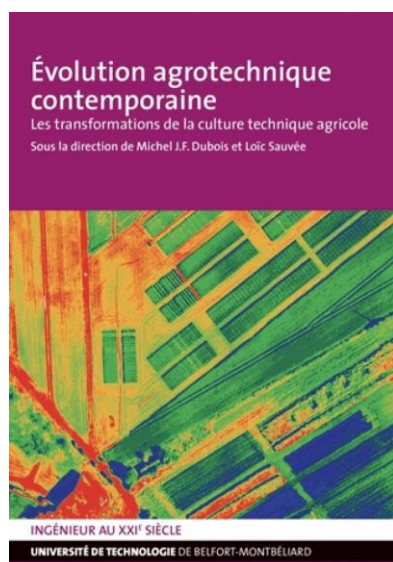
Le conseiller agricole et l'ingénieur trouveront dans la lecture un véritable soutien et un soulagement. Pris dans les difficultés et parfois les contradictions que rencontrent les agriculteurs, tenté par les promesses improbables des théoriciens, des industriels et des charlatans, soumis aux objurgations de quelques citoyens, il faut faire face à l'incertain. Raisonner, être prudent et modeste sont les deux recours. Le livre n'apporte en effet aucune recette définitive. Mais les derniers chapitres réconfortent le lecteur : Autant de situations (maraichage, grandes cultures, arboriculture, viticulture), autant de réponses et surtout pas d'exclusive. Les produits de la chimie organique ne sont pas nécessairement à rejeter par exemple. Et, si les résultats de la lutte biologique ne sont pas aussi brillants que sa théorie, il est bien des cas où elle fait ses preuves. Il est enfin des situations où l'on est face à de profondes ignorances, à propos des sols par exemple. Certes la recherche et l'innovation seront convoquées, mais qui peut annoncer leurs échéances ? En attendant il reste à raisonner avec les informations disponibles.

Le troisième lecteur, celui qui consulte les sites « pour le plaisir », a tendance à penser la santé des plantes comme si c'était la sienne. La vue d'un poirier en espalier aux feuilles bien vertes le rassure. Mais sait-il que cet arbre a subi des tailles et des traitements chimiques contre les tavelures ? Le livre va lui montrer que la santé des plantes ne se raconte pas comme celle des hommes. Elles sont cultivées pour fournir une production, elles sont cultivées en nombre. L'agriculteur se soucie de la santé d'ensembles d'individus. Les possibilités d'agir et leurs coûts imposent souvent de se contenter d'une protection globale et d'accepter de ne pas éliminer tous les agresseurs. L'histoire des productions agricoles et de leurs traitements se

développe tout au long du livre. Elle va de recherche de la suffisance alimentaire aux exigences de qualité. Elle est marquée par la marche de la société : découvertes, stratégies politiques et économiques, partage de l'espace entre les hommes, les plantes cultivées, les bio-agresseurs... et les autres.

En ces temps où les citoyens bien nourris se préoccupent de qualité, de confort, de précautions et d'environnement, la santé des plantes cultivées reste un enjeu important même s'il est caché par des effets de mode. Aux lecteurs intéressés par le sujet je proposerais bien de commencer leur lecture par les deux derniers chapitres. Ils les mettront en bonne condition pour pleinement apprécier les premiers.

### ÉVOLUTION AGROTECHNIQUE<sup>1</sup> CONTEMPORAINE. LES TRANSFORMATIONS DE LA CULTURE TECHNIQUE AGRICOLE<sup>2 3</sup>



<sup>1</sup> Définition « d'agrotechnique », proposée par les auteurs : « sens générique, concernant le monde la production agricole (végétale et animale) vu sous l'angle des pratiques et des techniques par les agriculteurs. A des techniques isolées et sorties de leur contexte », lesdits auteurs privilégient « une vision systémique : les techniques vues comme systèmes imbriqués à plusieurs niveaux d'échelle, mais fortement corrélés entre eux, entrant en "résonance" et, bien sûr, intégrant l'agriculteur dans ses interactions avec ses milieux techniques et vivants associés » (Dubois & Sauvée – 2016).

<sup>2</sup> « Evolution agrotechnique contemporaine. Les transformations de la culture technique agricole », sous la direction de Delphine Caroux, Michel J.F. Dubois et Loïc Sauvée Edition Pôle éditorial de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, diffusion : Le Comptoir des Presses d'Universités (pour les particuliers) 86, rue Claude Bernard, 75005 Paris ; CiD (pour les professionnels) 18-20, rue Robert Schuman 94220 Charenton-le-Pont. Juin 2018. 240 pages, ISBN : 979-10-91901-30-7.

<sup>3</sup> Séminaire de recherche tenu le 29 juin 2017 à UniLaSalle-Beauvais et organisé par l'unité de recherche INTERACT, membre fondateur du Groupement d'intérêt scientifique UTSH (Unité des Technologies et des Sciences de l'Homme), avec les UTC de Compiègne, Troyes et Belfort-Montbéliard et UniLaSalle...  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

Jean-Marie **PIERRE-GUY**<sup>4</sup>. – Sous ce titre quelque peu sibyllin, l'ouvrage évoque, avec originalité, les déterminants de l'évolution de notre agriculture. Ce document est le produit ciselé d'un séminaire rassemblant des spécialistes œuvrant dans le monde agricole<sup>5</sup>. Le GIS UTSH qui a piloté l'étude, cherche à sonder les « *singularités en sciences humaines et sociales qui s'intéressent au fait technique* ». Les travaux de ce GIS particulier, visent à « *montrer la complexité des interactions entre usages, activités sociales et développements techniques* ». Les auteurs cherchent donc à mettre en évidence « *le fait qu'une approche de l'évolution technique<sup>6</sup> en agriculture se doit d'intégrer les interactions entre l'homme, la technique et le vivant dans une optique originale centrée sur le fait technique* ». La notion de « *concrétisation* » semble centrale ; et il est écrit à ce propos que « *ce processus de "concrétisation", appliqué à l'agriculture suppose que s'établissent, de manière renouvelée, des interactions complexes au sein du triptyque [homme/technique/vivant], mettant en relations des phénomènes biologiques, physico-chimiques, mécaniques, informatifs et multiples* » ...

Les auteurs ont choisi de faire dialoguer agriculteurs, ingénieurs et chercheurs en sciences de la vie et de la terre, également en sciences humaines et sociales, des philosophes et historiens des techniques. Le but était d'appréhender au mieux, les nouveaux rapports existants entre l'homme, la technique et le vivant.

Le livre débute par le panorama des questions portant sur l'évolution actuelle de l'agro-machinisme. Puis s'insèrent deux expériences professionnelles :

- la première fondée sur le « *choix techniques et inventions* », illustrant un souci « *de faire autrement* » au-delà de la simple reproduction des savoir-faire générationnels ...
- la seconde portant sur l'expérimentation décennale de l'agro-écologie illustrant la nécessité d'intégrer le défi de la « *transition énergétique* » ...

Une série de contributions, enchaîne l'examen des multiples modalités qui font émerger l'innovation en matière d'agro-machinisme : bilan, diffusion, robotisation (y compris en viticulture) ...

La réflexion balaie également l'intrusion de l'agriculture urbaine portée par la croissance des villes. Logiquement, le débat émerge quant à la complémentarité/concurrence des fonctions nourricières et de ressources énergétiques de l'agriculture... Non moins rationnellement, la question de la durabilité est testée dans la composition de ses trois univers : « *environnemental* », « *social* », « *économique* » ... La synthèse de ces réflexions est portée, in fine, par « *une approche critique de la relation homme/machine en agriculture* »

**Ce que j'ai bien aimé** : la série passionnante des contributions qui convergent pour apporter les visions sur l'évolution fragmentée de nos agricultures. Elles sont aux carrefours de nombreux débats éthiques...

Ce que j'ai moins aimé : certaines considérations (peu nombreuses) « *jargonantes* » ... « *ce qui se conçoit...* ».

A déguster, chapitre par chapitre, dans l'ordre qui vous inspire, pour parvenir à l'atterrissage final. Vue « *à 360°* » d'une question complexe « *multiacteurs (micro et macro acteurs)* » et multifactorielles ...

<sup>4</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France.

<sup>5</sup> Les auteurs : Mathieu Arnoux, Marie-Asma Ben Othem, Delphine Caroux, Petros Chatzimpiros, Corentin Cheron, Philippe Colin, Xavier David-Beaulieu, Arnaud de La Fouchardière, Michel J.-F. Dubois, Fatma Fourati-Jamoussi, Michel Galmel, Perrine Hervé-Gruyer, Romain Piovan, Loïc Sauvé.

<sup>6</sup> Différentiée, ici, du « *progrès technique* »

QUELQUES MOTS SUR L'OUVRAGE INTITULÉ  
LA CHAÎNE DE LA VIANDE BOVINE<sup>1</sup>



**Coordonnateurs :** Marie-Pierre **ELLIES-OURY** et Jean-François **HOCQUETTE**

Jacques **RISSE**<sup>2</sup>. – Cet ouvrage, publié chez Lavoisier en 2018, est la somme du travail de 27 auteurs d'origines diverses (vétérinaires, agronomes, économistes, etc...) ayant exercé ou exerçant dans les différents maillons de la filière ou des domaines annexes (enseignement, organismes syndicaux, Institut de l'élevage, administration, etc...), tous riches d'une indéniable expérience. Marie-Pierre Ellies-Oury et Jean-François Hocquette ont assuré leur coordination. Dix sept relecteurs, eux-mêmes déjà auteurs ou coordinateurs, ont assuré la relecture de l'ensemble avant publication. Un système assez peu utilisé jusqu'à présent mais riche de possibilités.

Dans cet ouvrage, la chaîne de la viande bovine est vue par des spécialistes sous ses différents aspects : production, transformation, commercialisation, consommation, et, bien entendu, rôle dans l'équilibre

<sup>1</sup> Éditions Lavoisier, avril 2018, 324 pages.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 8 (alimentation humaine).  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

nutritionnel des humains de tous les âges et de tous les milieux. A souligner l'intérêt porté au rôle social de la viande et des produits dérivés dans leur vie quotidienne qu'elle soit professionnelle ou familiale.

La première partie, intitulée *Production et transformation de la viande bovine*, est consacrée à l'élevage (types d'animaux, formes d'élevage, finition, bien être...), à l'abattage, à la salubrité et à la qualité des viandes

La deuxième partie traite du *Marché de la viande bovine* : commerce international, échanges intra-européens, place de la France en Europe et dans le monde sur ce marché, importance croissante des signes de qualité et d'origine.

La troisième partie a pour titre *Perception et attentes des consommateurs*. Elle contient le texte de notre confrère Pierre Feillet, texte intitulé *Quels sont les substituts à la viande ?*

La quatrième partie apporte le témoignage des auteurs sur le thème *Elevage, viande et société*. Y sont dits quelques mots sur les végétariens, les végétaliens et les végétariens.

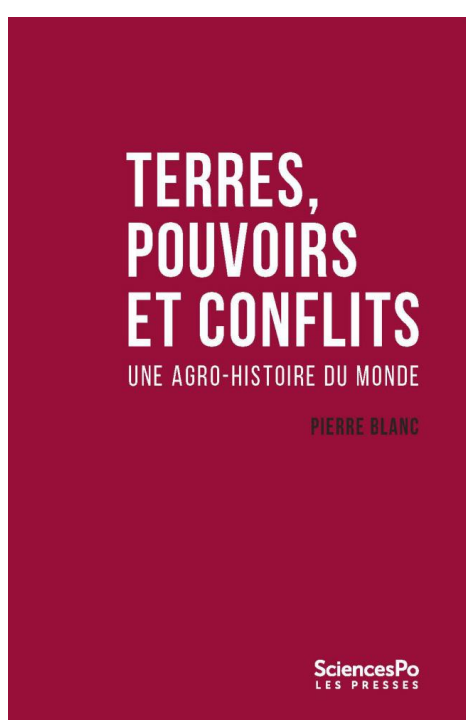
En bref, cet ouvrage traite dans son ensemble de presque tous les aspects concernant la viande bovine tant sur les plans techniques que sur les plans économiques ou sociétaux. Même s'il peut être consulté par un large public, il est plutôt destiné à un lectorat choisi : étudiants, enseignants, éleveurs, professionnels de la filière viande (industriels, grands distributeurs, etc...) mais il peut aussi intéresser d'autres personnes, les consommateurs avertis notamment, qu'ils soient ou non végétariens ou végétariens. Il s'agit, en bref, d'un livre scientifique et qui en a les qualités.

Il apporte, faut-il le souligner, des réponses à la plupart des questions que l'on peut se poser.

Reste à évoquer une question fondamentale d'ailleurs abordée dans ce livre : Manger de la viande en général, de la viande bovine en particulier, est-il indispensable pour se bien porter ?

La réponse est oui pour beaucoup d'entre nous, réponse basée sur les habitudes, sur l'expérience, sur les connaissances. Mais pour un nombre croissant d'individus, elle est non. Et elle est non parce qu'elle repose sur des convictions. Des convictions personnelles certes mais aussi des convictions sociétales, des croyances ! Et sans doute les « sachants » devront-ils apprendre à en tenir compte dans les divers domaines où ils interviennent C'est en tout cas ce que nous enseignons l'expérience, celle que nous avons connue avec les OGM par exemple.

Ce livre est en définitive plein de qualités et il vaut d'être lu. Il le serait plus facilement encore si le texte et les tableaux étaient facilement lisibles.

**TERRE, POUVOIRS ET CONFLITS, UNE AGRO-HISTOIRE DU MONDE<sup>1</sup>**par Pierre **BLANC**

Henri **ROUILLÉ D'ORFEUIL**<sup>2</sup>. – Le livre de Pierre Blanc est de la catégorie des livres qui présentent une vaste fresque historique et géographique avec vue sur l'ensemble de la planète. L'auteur regarde avec un prisme agraire, et plus particulièrement un focus foncier les 10% du globe dédiés à des activités agricoles et/ou pastorales. 40% de l'humanité vit de l'exploitation des ces terres, mais, et c'est le sujet de son livre, les questions foncières impactent toute l'humanité et son histoire ancienne et contemporaine.

Pour sa démonstration l'auteur convoque plusieurs disciplines, Mais principalement trois d'entre elles : l'histoire, la géographie et, surtout, la science politique. Partant de ces trois disciplines, il nous propose une analyse et des outils « agro-politiques », qui permettent de scruter l'interaction historique « terres/politique »,

<sup>1</sup> Sciences Po, les Presses, février 2018, 379 pages

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France.  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

c'est-à-dire « le lien dialectique entre structures socio-agraires et l'histoire politique des États contemporains ». Il pose aux différents continents, régions et pays du monde une même question : « Comment l'histoire a-t-elle créé cette inégalité d'accès à la terre si porteuses des dérives politiques du XXème siècle à aujourd'hui ? ». Pour se donner les moyens de comparer les expériences historiques apparues sous les différentes latitudes, il nous propose donc « une grille commune qui s'appuie en premier lieu sur le décryptage de la fabrique de l'inégalité foncière ».

L'essentiel du livre de P. Blanc consiste en un voyage dans l'espace et le temps. Il consacre aux quatre continents (Europe, Amérique, Asie, Afrique) et au Moyen-Orient cinq chapitres. Pour chacune de ces géographies, l'auteur propose pour chacune des régions et pour les pays importants des voyages dans le temps. Ces chapitres, très documentés, sont précieux pour qui voudrait faire un tour du monde des questions foncières et chercher des explications à la plupart des crises politiques et géopolitiques contemporaines.

Dans ce voyage dans l'espace et dans le temps, nous rencontrons les processus de colonisation foncière avec implantation, en général violente, de colons exogènes, le plus souvent européens. Ces processus vont laisser des traces durables, comme dans certaines régions d'Afrique du nord ou d'Afrique australe. Dans les Amériques et en Océanie, les traces seront mêmes irréversibles, puisque les colons vont proclamer l'indépendance de leurs colonies.

De ce voyage, à part le profond traumatisme colonial, il émerge presque partout dans le monde des formes de dualisme foncier et que celui-ci va grandissant si le rapport des forces n'est pas arbitré ou régulé entre ceux qui ont « faim de terres » pour survivre et qui luttent pour s'en procurer - petits paysans, paysans sans terre, métayers, ouvriers agricoles -, et ceux qui veulent conserver et étendre la grande propriété et constituent des oligarchies, qui s'accaparent tous les leviers de pouvoir. Au XXème siècle et jusqu'à ce jour, dans les situations de grande disparité foncière héritées d'anciens féodalismes et d'anciens régimes, se polarisent les institutions ou les mouvements politiques : D'un côté, mobilisations paysannes, violences, insurrections, pouvant croiser des mouvements révolutionnaires, de l'autre conservatisme, défendu par des partis autoritaires, pouvant donner naissance à des pouvoirs fascistes, voire racistes.

L'Etat contemporain peut agir soit en légitimant par la loi cette inégalité foncière, coloniale ou sociale. Il peut accompagner le marché foncier et la capacité des puissants à se saisir des terres qu'ils souhaitent acquérir. Il peut aussi en cas de rupture révolutionnaire collectiviser les terres. Il peut enfin, comme en Europe occidentale, trouver un « *modus operandi* » entre liberté et régulation du marché foncier.

La collectivisation intégrale a aujourd'hui quasiment disparu. Des processus de dé-collectivisation sont apparus ou ont été conduits sous des formes variables par de nouveaux pouvoirs. L'auteur présente l'exception africaine sub-saharienne où l'implantation foncière coloniale a été moins développée et où le droit coutumier a pu perdurer. Mais cette exception est vulnérable et souffre de l'extension de la propriété privée et du marché foncier.

Enfin, l'auteur s'interroge sur les évolutions contemporaines et à venir. Tout d'abord, et cela risque de toucher en premier lieu l'Afrique, nous assistons à une mondialisation du marché foncier. La terre n'est devenue une marchandise que tardivement dans l'histoire économique. La mondialisation du marché foncier n'est pas encore admise partout. Le sera-t-elle jamais ? La terre, c'est en effet bien plus qu'un bien marchand. Mais la mondialisation est un logiciel puissant. Les régulations du marché foncier sont fragilisées. Dans notre pays, par exemple, où les régulations sont anciennes et fortes, le développement exponentiel des formes sociétaires permet de contourner les régulations traditionnelles et les institutions qui les portent. Dans certains continents, particulièrement en Afrique, des processus d'accaparement fonciers à grande échelle sont apparus soit à l'initiative d'acteurs financiers privés avec des objectifs économiques soit à l'initiative de gouvernements pour palier leur manque d'espace agricole, c'est le cas notamment de pays comme la Chine ou les pays du golfe.

Le lien historique entre « terres et puissance » est toujours d'actualité. Il s'exprime parfois par l'implantation de colons, comme au Moyen Orient dans les situations de conflits territoriaux entre Turcs, Kurdes, Israéliens, Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.



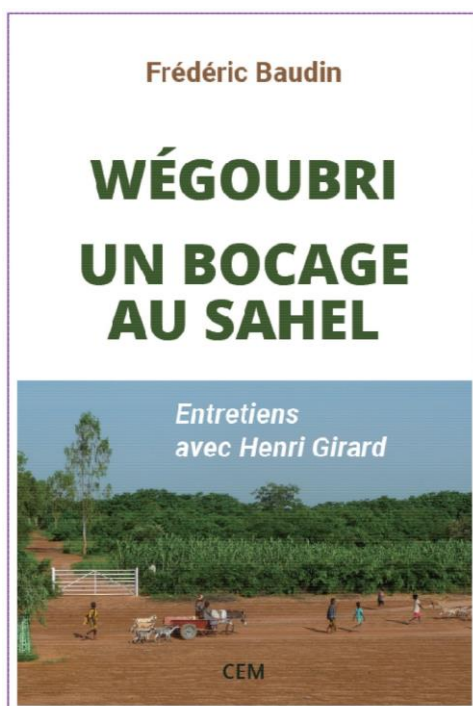
Palestiniens... ou entre ethnies d'un même pays ou de pays voisins par des mouvements de colonisation intérieurs ou transfrontaliers... La terre, comme la patrie, reste « sacrée ». Elle incarne souvent une identité, une ethnie, une nation, une religion. Elle sera alors être défendue.

Partout dans le monde, on assiste à une « re-concentration foncière ». La course à la production agricole, la croissance démographique, le changement climatique, la poussée de mouvements nationalistes, le fait religieux... Tout pousse à un durcissement d'une « géopolitique des ressources », particulièrement de la terre. C'est maintenant une question de décennies.

La lecture du livre de P. Blanc documente une à une toutes ces questions. Il mérite bien évidemment d'être diffusé et lu.

### WÉGOUBRI - UN BOCAGE AU SAHEL<sup>1</sup>

de Frédéric BAUDIN, avec Henri GIRARD



<sup>1</sup> de Frédéric BAUDIN, entretiens avec Henri GIRARD (2014-2016), éd. Culture-Environnement-Médias (CEM), septembre 2017, 206 p., 16 €.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

Christian **FERAULT**<sup>2</sup>. Si vous vous êtes lassé de la lecture des ouvrages et des rapports établis en chambre sur les questions de sous-alimentation, de famines et de dégradation des espaces au Sahel, on ne peut que vous recommander la lecture de ce court et stimulant volume. Mais attention, lorsque vous l'avez commencé, vous irez sans effort jusqu'à son terme, pris à la fois par son agréable déroulé et par l'intense envie qui vous étreindra de savoir où l'on en est aujourd'hui.

Les quatre-cinquièmes de ce livre, bien illustré car les clichés permettent une immersion du lecteur dans la progression des projets, sont constitués d'un dialogue entre Frédéric BAUDIN, directeur engagé de « Culture-Environnement-Médias » et Henri GIRARD, réellement sur place depuis trente ans. Des annexes suivent, utiles à la compréhension de ce qui précède : organigramme, description du centre principal, interventions lors d'événements...

Né en 1961, Henri GIRARD, fils d'agriculteur de l'Avesnois, a été profondément imprégné par ce qu'il a vu et vécu dans sa jeunesse, avec un attachement tout particulier pour « son » bocage avec ses haies. Ces « racines » sont utiles à rappeler, car elles détermineront sa vie future. Il est très tôt frappé par l'immensité des questions liées à la sécheresse et à ses conséquences au Sahel, en particulier grâce à un reportage qui aura constitué pour lui un véritable « coup de foudre ».

Ce livre est ordonné selon son plan linéaire appuyé sur des dates bornant des périodes de longueurs différentes, correspondant d'abord à de premiers séjours et précédant une « installation définitive au Burkina Faso » en 1989.

Henri GIRARD s'est établi à Guié, village à une soixantaine de kilomètres d'Ouagadougou, où il a trouvé une « ambiance sereine » et rencontré un bon accueil bien que « nassara » (homme blanc), lieu où il découvre l'accentuation de la sécheresse, l'appauvrissement généralisé, les questions cruciales de « soudure », bref un ensemble auquel il ne voulait ni ne pouvait échapper pour sa vie future. En faisant ce choix, il tint à vivre comme ses voisins, c'est-à-dire de façon simple dans une case sans confort. Il se maria plus tard avec Marthe, rencontrée en France, qui sera dans l'action permanente son alliée complémentaire.

Ses objectifs n'ont rien de ponctuel : difficultés et problèmes sont intrigués et il faut traiter à la fois de lutte contre la désertification, d'accès à l'eau, de formation et de santé, de plantations, d'aménagements nécessaires... Et il conduit ce projet global en lien avec les pouvoirs et responsables existants : il est un parmi les autres, animé d'une grande foi spirituelle et d'une indispensable et tenace volonté.

La ferme-pilote de Guié est le cœur du dispositif, créée par cinq villages des alentours sous forme associative « Zoramb Naagtaaba » (Terre verte), dès 1989. Une citation d'un discours de 2000 résume bien l'enjeu : « Au Burkina, c'est la terre elle-même qui est l'enjeu. Brûlée par le feu, piétinée par le bétail, surexploitée pour une survie bien précaire, la terre [...] est enfin frappée à mort par les pluies torrentielles de la mousson qui l'emportent dans les cours d'eau ».

Les réalisations seront rapides, avec agrandissements dans le respect de la propriété privée. Et puis il y aura l'obtention de parcelles régulières, entourées de haies et essaimage en d'autres lieux du pays. Mais il faut laisser au lecteur le soin de découvrir ce cheminement global du projet initial...

Un oubli : le premier mot du titre « Wégoubri » est un néologisme mooré construit à partir de « weogo », la brousse et « goubri », protéger/entourer. Un certain retour aux sources !

---

<sup>2</sup> Directeur de recherche honoraire de l'INRA, membre titulaire et Vice-secrétaire honoraire de l'Académie d'agriculture de France.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

## LE LAIT LOCAL AU SÉNÉGAL : INTENSIFIER POUR DÉVELOPPER ? DYNAMIQUES SOCIO-TECHNIQUES ET ANTHROPOLOGIE DES PRATIQUES<sup>1</sup>

Thèse de **Sergio MAGNANI**<sup>1</sup>

Analysée par **André PFLIMLIN**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Bernard **HUBERT**, Directeur de recherche émérite de l'INRA et directeur d'études à l'EHESS.

Avec cette thèse sur le développement du lait local au Sénégal au titre modeste marqué par un point d'interrogation, Sergio Magnani veut tout simplement nous faire comprendre pourquoi l'élevage pastoral de cet immense territoire du Sahel qui va de la Mauritanie au Soudan, n'a guère évolué depuis plus de 50 ans et pourquoi la sécurité alimentaire et la sécurité tout court, y ont régressé.

A l'appui de sa *démonstration*, l'auteur peut faire valoir une expérience de plusieurs années de terrain, d'abord au Sénégal en 2006 et au Mali en 2007 - 2008, en vue d'un sujet sur ces peuples pastoraux. Puis, du fait de l'insécurité croissante au Mali, il va recentrer son travail de thèse sur le Sénégal où il va resituer l'élevage pastoral par rapport à deux autres modèles de production laitière, l'élevage péri-urbain de Dakar et l'élevage agropastoral de la haute Casamance.

S'agissant d'une thèse présentée en anthropologie sociale et en ethnologie, le lecteur de culture agronomique sera peut-être un peu surpris par le premier chapitre sur *la critique anthropologique du développement* en Afrique, mais il sera vite rassuré par les suivants. Sergio Magnani montre une égale virtuosité à l'analyse géopolitique qu'à l'observation concrète et à l'analyse des pratiques et des coutumes, ayant partagé au plus près, la vie des familles Peul du Nord Sénégal pendant des semaines à plusieurs reprises, lors des transhumances et dans leurs campements. Cette imprégnation s'étalant sur près de 10 ans lui permet de voir et de décrire de façon très concrète les pratiques des éleveurs et ainsi de mieux comprendre les raisons qu'ils ont de les préserver ou de les adapter face à l'évolution du contexte économique et politique.

Au Sénégal, comme dans la plupart des pays d'Afrique, l'action publique a été marquée par un désengagement progressif de l'Etat sous la pression des bailleurs de fonds internationaux, se traduisant par une réduction des budgets dédiés à l'agriculture et à l'élevage. Cependant, dans le secteur de l'élevage pastoral, ce désengagement s'est appuyé sur une gamme de concepts *techno-scientifiques*, soi-disant universels, telle la capacité de charge, l'intensification animale *via* l'insémination et la sédentarisation, la privatisation du foncier, concepts qui se sont avérés totalement inadaptés pour les systèmes pastoraux à cause de la forte variabilité climatique qui caractérise les milieux arides.

**Au Sénégal, deux grands chantiers, révélateurs de l'incompréhension de l'élevage pastoral par les gouvernements successifs, sont analysés par l'auteur.**

---

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue le 2/12/2016, à l'EHESS Paris (discipline anthropologie sociale et ethnologie), avec mention très honorable et félicitations unanimes du jury.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France (section 3) Productions animales

- Dans les années 1950 – 1960, un grand nombre de puits cimentés à extraction mécanique ont été construits dans le Ferlo, le nord-est sahélien du pays, avec un projet de sédentariser, autour de ces puits de forage profond, les populations Peul qui utilisaient ces parcours pendant la saison des pluies, mais revenaient vers les zones humides du fleuve Sénégal en saison sèche. Parallèlement des travaux d'aménagement pour réguler le cours du fleuve ont été entrepris, ces zones humides étant destinées aux cultures de riz, de maïs et de canne à sucre, privant ainsi les troupeaux d'une ressource fourragère précieuse en saison sèche. Ces éleveurs Peul avaient bien compris qu'ils ne pourraient pas nourrir leurs troupeaux toute l'année sur les ressources pastorales du Ferlo, mais, étant peu influents à Dakar, ils allaient perdre 100 000 ha de pâturages en zones humides pour des points d'eau bien aménagés, mais sans ressources fourragères plus de la moitié de l'année, imposant plus de mobilité et désorganisant ainsi tous leurs circuits traditionnels de transhumance.

- Le second exemple porte sur l'insémination artificielle, cette technique ayant été retenue par les gouvernements sénégalais comme l'option la plus appropriée pour augmenter rapidement la production laitière nationale par croisement avec les races locales. Déjà expérimentée dans les années 80 - 90 avec un succès très limité, un programme spécial pour l'insémination artificielle (PSIA) va être mis en place après la flambée des cours de la poudre de lait et des céréales et les émeutes de la faim en 2008.

Pour permettre au pays d'accéder rapidement à l'autosuffisance en lait, le Gouvernement lance le PSIA en 2009 visant 100 000 vaches inséminées par an pendant cinq ans, chaque vache croisée devant produire 10 kg de lait par jour, soit 3000 Kg par an, contre 300 à 500 Kg pour les races locales.

Ce programme va diffuser principalement des semences Holstein et Montbéliarde sur l'ensemble du pays, y compris dans les zones les plus arides du Sahel. Quatre ans plus tard, le bilan officiel indique 49 000 gestations, de nombreux problèmes et de fortes critiques par les éleveurs, mais le programme est reconduit par le nouveau gouvernement en 2012 sans modification ni du choix des races ni de leur distribution sur le territoire et sans aucun soutien pour améliorer l'alimentation et la santé des vaches.

**Mais le cœur de la thèse porte sur une analyse approfondie des trois terrains très différents** sur les plans agro-écologiques et socio-économiques représentant trois modèles de développement de la production laitière au Sénégal, mais aux enseignements à portée bien plus large, valables pour la plupart des pays du Sahel et de ses bordures agropastorales.

**a) En zone péri-urbaine de Dakar, un modèle intensif et spécialisé de type européen ;**

Il s'agit de troupeaux de quelques dizaines à quelques centaines de têtes, de races Holstein, Montbéliarde, Normande, Jersey ou croisées, nourries à l'auge en stabulation toute l'année. Les enquêtes portent sur une dizaine de fermes parmi la trentaine recensée dans les environs de la capitale. Les propriétaires sont souvent des notables soucieux d'une image de modernité ou des commerçants espérant un placement rentable à moyen terme. Le lait et les produits frais sont vendus en circuit court auprès d'une clientèle plutôt aisée de Dakar. Cependant cette bonne valorisation porte rarement sur la totalité du lait, alors que les coûts de production et notamment d'alimentation et de logement sont élevés en regard des performances laitières assez modestes et des taux de renouvellement élevés. Aussi malgré un climat assez favorable, notamment au nord de Dakar dans les Niayes, le manque d'expérience et de savoir-faire dans ce métier, la faible rentabilité et l'absence de soutien des pouvoirs publics n'ont pas permis un développement important de ce modèle de production depuis 40 ans.

**b) En haute Casamance : un modèle agro-pastoral amélioré ;**

Dans l'espace périurbain de Kolda, ville de 60 000 habitants, le contexte semble favorable à la création d'une ceinture laitière s'appuyant sur la race locale Ndama, rustique et trypano-tolérante. Le projet est porté par deux acteurs publics régionaux, l'un gérant la culture du coton (SODEFITEX) et l'autre la recherche et le développement rural (ISRA). Il s'agit d'un modèle agro-pastoral qui vise à développer les complémentarités entre la traction animale pour le coton, la production de fumier et les cultures fourragères pour améliorer à la fois les rendements des cultures et ceux de l'élevage. Ce projet mis en place en 1988 a connu un large succès auprès des paysans dès les premières années ; dès 1992 on recense 1000 étables pour 5000 vaches en stabulation. Les clés de ce succès sont : 1) l'appui rapproché des paysans et la formation d'*auxiliaires d'élevage* ; 2) l'accès aux intrants (graine de coton, produits vétérinaires etc...) à des prix préférentiels ; 3) l'accès au crédit pour la construction d'une étable cimentée ; 4) l'organisation de la collecte et de la transformation du lait par des mini-laiteries à gestion familiale.

Au début des années 2000, sous l'impulsion de la coopération suisse, les services de recherche - expérimentation et ceux d'encadrement et de formation sont scindés en deux pôles. Parallèlement les producteurs s'organisent en groupements et participent à la création d'une interprofession en 2004. Mais des tensions se font jour entre services d'appuis, entre organisations locales et bailleurs extérieurs, surtout après la très forte hausse du prix de la graine de coton, (x 5 en 10 ans) suite à la privatisation de la SODEFITEX. Ainsi, le bassin laitier de Kolda, décrit comme une « *succès story* » jusque dans les années 2000, est présenté par les responsables ministériels, lors des enquêtes en 2013, comme un *exemple typique des problèmes d'organisation* dans le secteur de l'élevage. Cependant le nombre d'agro-pasteurs livrant du lait et le nombre de mini-laiteries continue de progresser.

**c) A Richard Toll, une laiterie industrielle en zone pastorale ;**

La laiterie du Berger (LDB) est ouverte en 2006 à Richard Toll, par un jeune vétérinaire sénégalais suite à une visite d'une expérience similaire bien rodée depuis une dizaine d'années en Mauritanie pour approvisionner Nouakchott. Affichant l'objectif de valoriser le lait pastoral de cette région aride du nord du Sénégal à dominante de population d'éleveurs-pasteurs Peul, le projet a tenté de concilier les impératifs industriels et commerciaux d'une grosse laiterie nécessitant un approvisionnement régulier et les aléas d'une collecte dispersée et fluctuante au gré de la mobilité des troupeaux transhumants. Après deux années de rodage très déficitaires, la LDB doit s'ouvrir à des investisseurs sociaux dont *la Fondation Danone* et va encourager un modèle de production plus régulier en organisant l'accès à des résidus de canne à sucre et de concentrés du commerce pour faire du lait en période sèche. Mais la plupart des éleveurs ne s'engage dans cette voie que pour une partie limitée du troupeau, alors que le reste part en transhumance à plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de km, à la recherche de pâturages pauvres mais gratuits. En effet, il n'est pas rentable de faire du lait en achetant l'essentiel de l'alimentation pour nourrir des vaches Gobra très rustiques mais à faible potentiel laitier. Les objectifs des promoteurs de la laiterie visant un approvisionnement régulier et croissant d'une clientèle essentiellement dakaroise, et ceux des pasteurs pour lesquels la mobilité est un impératif de survie pour eux et leurs troupeaux, semblent difficilement conciliables. Pour ces derniers la vente de lait est toujours un arbitrage par rapport aux besoins de la famille et des veaux, elle n'est qu'une valorisation secondaire bénéficiant surtout aux femmes par rapport au commerce d'animaux plus rémunérateur revenant aux hommes.

Pour régulariser la collecte laitière, la LDB et ses partenaires techniques et économiques ont alors privilégié le modèle agro-pastoral sédentaire à partir de résidus de récoltes des zones irrigués du fleuve Sénégal ainsi que le montage d'étables modernisées avec des Brunes des Alpes en gestion directe. Elle a aussi nettement développé la fabrication de produits laitiers à base de poudre de lait qui représentait déjà 60% de la matière première en 2013 et dont la part s'annonce croissante d'après les prévisions des dirigeants.

**Pour mieux expliciter et objectiver ces contradictions de vision et d'intérêt, Sergio Magnani décortique ce qu'il nomme les *objets socio-techniques* de la production laitière :** le choix des races - locales ou allogènes - et de leur amélioration génétique ; le lait local aux valeurs multiples par rapport au lait matière première pour la laiterie ; l'alimentation du troupeau à partir de ressources pastorales gratuites mais contraignant à la mobilité ou à partir de co-produits de culture et de concentrés achetés. En analysant les trois modèles de production précédents et en montrant leurs cohérences et leurs fragilités, le chercheur nous invite à poser un autre regard sur ces systèmes d'élevage, un regard nouveau pour la plupart des agronomes, nous permettant de mieux comprendre la persistance et la co-existence de modes d'élevage si différents :

- Le modèle européen périurbain en circuit court sur un créneau de niche, mais coûteux en aliments, logement et transport, dont le développement a été et sera sans doute assez limité ;
- Le modèle agropastoral, le plus porteur d'avenir, concernant des millions de familles paysannes des bordures du Sahel, ayant de réelles perspectives d'amélioration à condition de valoriser les ressources locales, les fourrages et les co-produits des cultures, les races les plus rustiques et la transformation par des mini-laiteries familiales. Malgré les difficultés montrées à Kolda, c'est là qu'il y a le plus de perspectives de développement pour la production laitière et pour les emplois locaux ;
- Le système pastoral qui semble de plus en plus fragilisé et marginalisé, non reconnu par les pouvoirs publics et difficilement compatible avec les exigences des laiteries comme celle du Berger mais qui concerne encore plusieurs millions de familles dans cette grande zone sahéenne, de plus en plus fragilisée par l'insécurité climatique et celle des mouvements terroristes.

Pour ces systèmes pastoraux, Sergio Magnani ne nous propose pas de solution, malgré toute l'empathie qu'il porte à ce mode d'élevage et à ces familles, sauf à appeler à des politiques et des actions publiques qui se soucient vraiment du développement des populations rurales dans leur diversité et qui ne se limitent pas à la promotion d'une technologie ou d'un modèle ayant fait ses preuves dans un contexte très différent. Il va aussi pouvoir prolonger son engagement pour cette cause dans son nouveau poste à l'IRAM sur la coordination des projets pastoraux en zone aride.

**Cependant tout au long de ces enquêtes il ressort très clairement que le principal concurrent de tous ces systèmes laitiers, c'est l'importation de poudre de lait au prix du marché mondial et sans limites de volume.** Ces importations devraient encore se renforcer avec la signature des APE (Accords de Partenariat Economique) entre l'Union Européenne et l'Afrique de l'Ouest, permettant ainsi de *nourrir les villes à bas prix aux dépens de l'agriculture et de l'élevage local*. Mais il s'agit là d'une formulation très *politique* alors qu'en langage *techno-scientifique* on parlerait de *loi du marché* et de *compétitivité prix*, langage *forcément neutre* comme dirait volontiers l'auteur de cette thèse remarquable qui mérite une très large diffusion.

## UTILISATION D'UN PANEL SNP TRÈS BASSE DENSITÉ DANS LES POPULATIONS EN SÉLECTION DE PETITS RUMINANTS<sup>1</sup>

Thèse de Jérôme **RAOUL**

Analysée par Claude **ALLO**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Jean Michel **ELSEN**, directeur de recherche émérite à l'Inra.

La thèse de Jérôme Raoul a le grand mérite de s'attaquer à un sujet complexe, essentiel pour les acteurs de la sélection en ovins et caprins.

La France a été précurseur dans la mise en place de la sélection génomique chez les ruminants avec la volonté de déployer cette innovation de rupture dans toutes les espèces. Opérationnelle dès 2009 dans les grandes races laitières, il a fallu attendre 2015 pour connaître les premières applications d'importance en ovins lait. La mise en œuvre chez les petits ruminants s'avère beaucoup plus difficile qu'en bovins (moindre gain d'intervalle de générations, coût du génotypage élevé par rapport à la valeur de l'animal, construction de populations de références plus complexe) et nécessite d'autres approches.

La thèse a pour objectif d'évaluer, à l'aide de simulations déterministes et scholastiques, l'intérêt technique et économique de l'utilisation d'un panel moléculaire à très basse densité dans les populations ovines et caprines en sélection. Le travail a été enrichi par l'instauration d'une forte collaboration avec l'unité de recherche *Animal Genetics and Breeding Unit* (AGBU) de l'université de New England qui a valu à l'auteur de séjourner pendant une année en Australie.

La thèse est articulée en cinq chapitres.

Le premier chapitre présente une revue bibliographique claire et détaillée sur les concepts de la sélection animale, les caractéristiques des programmes de sélection ovins-caprins français et l'état de l'art de la génomique. Elle introduit parfaitement les travaux conduits et permet d'en comprendre les enjeux.

---

<sup>1</sup> Thèse présentée à l'Institut National Polytechnique de Toulouse le 28 novembre 2017, préparée à l'INRA-UMR Génétique, Physiologie et Systèmes d'Elevage (GenPhySE)

<sup>2</sup> Membre Correspondant de l'Académie d'agriculture de France  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

Les trois chapitres suivants développent, en s'appuyant sur des communications scientifiques, les travaux engagés dans trois directions, essentielles pour la sélection en petits ruminants.

1-L'intérêt d'améliorer la connaissance des filiations paternelles par « l'assignation génomique des parentés » en utilisant un nouveau panel SNP. L'utilisation de cette technique à des fins uniques d'assignation de parentés n'est pas apparue rentable aux coûts actuels.

2-L'optimisation de la gestion des accouplements en présence d'un gène majeur d'ovulation favorable à l'état hétérozygote, présent sur un autosome ou le chromosome X. Il a été montré que des schémas simples basés sur un nombre limité de types d'accouplements pouvaient donner des résultats proches de l'optimum des modèles.

3-L'évaluation du gain génétique et économique de l'utilisation d'un panel SNP très basse densité en sélection ovine pour des populations d'effectifs limités. C'est le travail le plus novateur avec des résultats de simulations particulièrement intéressants. Ils montrent que dans tous les cas l'utilisation de la sélection génomique permet une amélioration substantielle du progrès génétique par rapport à l'évaluation classique.

Le dernier chapitre reprend les principaux résultats et ouvre une discussion critique sur les points à approfondir et les limites des modèles utilisés particulièrement sur l'analyse de la rentabilité.

Les résultats de ce travail ont été jugés pertinents et novateurs par les rapporteurs de thèse, tant sur le plan théorique qu'appliqué. La thèse est bien écrite et le jury a souligné la grande qualité de la présentation orale avec des réponses aux questions claires et argumentées.

Plusieurs publications dans des revues scientifiques avec comité de lecture valorisent d'ores et déjà ce travail (*Journal of Animal Sciences, Genetics Selection Evolution...*). Des communications orales ont été présentées à trois reprises dans des congrès internationaux : meeting de l'*European Federation of Animal Science (EAAP)* en 2015, congrès de l'*Association Advancement Animal Breeding Genetics (AABG)* en 2017 et congrès mondial de la génétique animale (*WCGALP*) en 2018 à Auckland.

En conclusion, un travail rigoureux et pertinent, important pour la sélection des petits ruminants qui ouvre de nouvelles perspectives de recherche et d'applications terrain. L'INRA et l'Institut de l'élevage ont décidé de poursuivre ces travaux en les intégrant dans le programme de travail de l'UMT Gestion génétique et génomique des petits ruminants. La collaboration engagée avec l'Australie sera également poursuivie avec le souhait de l'élargir à d'autres pays.

---

## APPROCHES MOLÉCULAIRES POUR LA DÉCOUVERTE, LE DÉVELOPPEMENT ET L'APPLICATION DE BIOMARQUEURS DE TOXICITÉ CHEZ LES GAMMARIDÉS

Thèse de **Duarte Domingos GOUVEIA**<sup>1</sup>

Analysée par **Dominique JOB**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Olivier **GEFFARD**, Directeur de Recherche, Irstea Lyon.  
Co-directeur de thèse : Jean **ARMENGAUD**, Directeur de Recherche, CEA Marcoule.  
Co-encadrant : Arnaud **CHAUMOT**, Chargé de Recherche, Irstea Lyon.  
Co-encadrant : Christine **ALMUNIA**, Chargée de Recherche, CEA Marcoule.

Le travail présenté par Duarte Domingos Gouveia a été réalisé au Laboratoire d'écotoxicologie (Centre Irstea de Lyon) en collaboration étroite avec le Laboratoire Innovations technologiques pour la Détection et le Diagnostic (CEA – Marcoule), sous la direction d'Olivier Geffard (Irstea) et de Jean Armengaud (CEA) et le co-encadrement d'Arnaud Chaumont (Irstea) et de Christine Almunia (CEA). L'objectif principal de cette thèse est de développer des outils et des indicateurs d'évaluation de la pollution chimique des milieux aquatiques (Écotoxicologie aquatique). Elle s'est articulée autour de deux aspects. Le premier a visé à l'identification et la validation de biomarqueurs protéiques de grandes fonctions biologiques (défense, gestion de l'énergie, développement embryonnaire...) chez *Gammarus fossarum*, une espèce clé en écotoxicologie, allant jusqu'à leur mise en place et leur utilisation dans les milieux *via* l'utilisation de dispositifs d'encagement d'individus. Le deuxième volet s'est concentré sur l'étude de la transférabilité des biomarqueurs protéiques développés et aborde pour cela les notions de variabilité du protéome au sein du genre *Gammarus*, un genre de crustacés de l'ordre des amphipodes de la famille des gammaridés dont la plupart vivent dans la mer ou dans les estuaires, les autres dans les eaux douces et propres. En effet, plusieurs espèces de gammaridés, considérées comme vulnérables ou en danger de disparition par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), sont considérées comme d'excellents bioindicateurs de la qualité des eaux.

Le besoin de méthodes d'évaluation de l'imprégnation chimique des milieux et de leur qualité écologique pour la mise en œuvre de la directive cadre européenne sur l'eau, ainsi que de mesures prédictives du risque toxique pour l'environnement et l'homme, suscite un vif intérêt pour les biomarqueurs en tant qu'outils d'aide au diagnostic de contamination et à la gestion du risque toxique. L'utilisation en routine de biomarqueurs pour la bio-surveillance environnementale présente toutefois plusieurs limitations, en particulier chez les invertébrés. Parmi ces limitations, le manque de biomarqueurs spécifiques est une contrainte majeure. Se basant sur les catalogues de gènes et de protéines obtenus à partir d'études dites de protéogénomique (discipline associant protéomique, génomique et séquençage aléatoire à haut débit du

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat de l'Université Claude Bernard Lyon 1 présentée et soutenue publiquement le 18 décembre 2017 pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Lyon – ED 341 Évolution, Écosystèmes, Microbiologie, Modélisation (Spécialité : Écotoxicologie moléculaire) – Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'écotoxicologie, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea,) Centre de Lyon-Villeurbanne, France. Actuellement chercheur postdoctoral au Laboratoire LI2D Innovations technologiques pour la Détection et le Diagnostic – Institut des sciences du vivant Frédéric Joliot, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Centre de Marcoule.

<sup>2</sup> Directeur de recherche émérite au CNRS, Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 6



transcriptome (RNA-Seq) et permettant l'identification de séquences peptidiques spécifiques présentes dans le protéome d'une espèce considérée), les travaux de thèse se proposent d'identifier de tels biomarqueurs chez *Gammarus fossarum*.

Le manuscrit (257 p) est rédigé en anglais et comporte une version abrégée en français. Très clair et parfaitement illustré, il est structuré en cinq chapitres dont une synthèse bibliographique, un chapitre détaillant les matériels et méthodes, deux chapitres consacrés aux résultats, et un chapitre consacré à la discussion générale et une conclusion générale. Le manuscrit est complété de nombreuses références bibliographiques.

L'**Introduction générale**, fait le point des connaissances sur la question de l'exposition croissante et préoccupante des organismes aquatiques à une contamination multiple et complexe provenant de plusieurs sources telles que l'industrie, l'agriculture, l'urbanisation, les transports, le tourisme ou la vie quotidienne. C'est ainsi qu'environ 100 000 molécules sont rejetées dans les systèmes aquatiques, la majorité d'entre elles étant très persistante et s'accumulant dans les organismes et dans les chaînes alimentaires. L'Introduction met en évidence le besoin impérieux d'une caractérisation de biomarqueurs spécifiques pour comprendre et analyser les effets biologiques à court et à long terme de ces contaminations. Elle présente une revue exhaustive de la littérature sur l'utilisation actuelle des biomarqueurs moléculaires en écotoxicologie, notamment en lien avec l'évaluation environnementale de la pollution de l'eau, et met l'accent sur les biomarqueurs protéiques, et sur l'utilisation d'espèces sentinelles (cf. Rivière JL. Les animaux sentinelles. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* n°20, 59-67 ; <http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C20Riviere.pdf>) non modèles, en particulier chez les gammaridés, dont *Gammarus fossarum*, pour lesquels de nombreuses données biologiques sont synthétisées. Une première partie de l'Introduction donne la définition des biomarqueurs et illustre les biomarqueurs protéiques les plus utilisés pour évaluer l'impact des polluants. Les limites d'application des biomarqueurs dans la bio-surveillance de routine sont également exposées. La deuxième partie de l'Introduction explore les avantages et les potentiels des nouvelles approches dites « omiques » pour le développement de biomarqueurs en écotoxicologie, soulignant notamment le fort potentiel des méthodologies protéomiques pour le développement d'approches de type multi-biomarqueurs, bien plus prédictives et efficaces que celles basées sur l'utilisation d'un seul biomarqueur. La troisième partie de l'Introduction fait le point des travaux sur les processus de régulation neuroendocrinienne chez ces espèces sentinelles aquatiques. Enfin, la dernière partie de l'introduction énumère les différents objectifs proposés pour cette thèse.

Le **chapitre Matériels et Méthodes** détaille les protocoles expérimentaux mis en œuvre au cours de la thèse. Ce chapitre est d'une grande utilité afin de comprendre les principales méthodologies utilisées dans les publications issues de la thèse. Une première partie décrit les protocoles concernant l'échantillonnage des organismes, les dispositifs utilisés pour le maintien au laboratoire de ces organismes et les mesures biologiques mises en œuvre. Les conditions d'exposition des organismes ciblés au cours d'expériences en laboratoire et sur le terrain sont également décrites. Deux autres parties de ce chapitre décrivent les techniques et les méthodologies utilisées pour les analyses moléculaires effectuées au niveau des protéines et des gènes. Les technologies de protéomique et de spectrométrie de masse sont particulièrement bien décrites et démontrent tout leur intérêt pour l'identification et le développement des biomarqueurs recherchés, notamment *via* la mesure de la masse de tels marqueurs peptidiques.

Le **premier chapitre de la partie Résultats** rassemble les études qui conduisent au développement et à l'application d'un test protéomique basé sur la spectrométrie de masse pour la quantification simultanée d'un ensemble de plusieurs dizaines de biomarqueurs protéiques spécifiques. Ces travaux sont présentés sous la forme de trois publications. La première publication décrit le développement et la validation de la méthodologie analytique protéomique employée pour la mesure de biomarqueurs multiplexés. Elle met l'accent sur l'importance de la détermination de plusieurs paramètres tels que la précision et la reproductibilité de la méthodologie, ainsi que les limites de détection et de quantification pour chaque protéine biomarqueur. La deuxième publication correspond à l'utilisation expérimentale de cette méthodologie protéomique dans des études physiologiques et écotoxicologiques afin d'évaluer la signification biologique des biomarqueurs, ainsi que leur aptitude à caractériser les effets toxicologiques

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

chez *Gammarus*. La troisième publication présente les résultats obtenus dans un premier test d'évaluation de l'applicabilité potentielle de la méthodologie des multi biomarqueurs protéomiques dans des études de terrain. Les réponses aux biomarqueurs ont été analysées et comparées chez les gammaridés exposés dans quatre sites de référence et treize sites soumis à une contamination chimique lors du déploiement de gammaridés « mis en cage » (dans des cylindres en polypropylène perforés) au sein d'un réseau régional de surveillance des rivières. La validation des méthodologies utilisées est particulièrement soignée et servira probablement de référence pour de nombreuses études à venir. Ce chapitre est d'un très grand intérêt scientifique et méthodologique, ainsi qu'en atteste les publications issues de ce travail dans les meilleures revues générales (Scientific Reports, Analytical and Bioanalytical Chemistry) et d'écotoxicologie (Environmental Science and Technology, Aquatic Toxicology).

Le **deuxième de la partie Résultats** rassemble les résultats obtenus sur le développement de biomarqueurs de facteurs de stress spécifiques d'un grand intérêt environnemental que sont les troubles endocriniens. La première partie décrit l'utilisation d'une nouvelle génération de spectromètres de masse pour une étude comparative de protéomique, dite en vrac (Shotgun Proteomics), avec des mâles témoins et des mâles exposés au pyriproxyfène (un insecticide mimétique de l'hormone juvénile d'insectes inhibant l'embryogenèse, la métamorphose et la formation de l'adulte). Cette approche de protéomique permet d'extraire le protéome et les protéines modulées différemment sans aucune connaissance *a priori*. La deuxième partie propose une stratégie alternative, basée sur une approche gène-candidat, afin de découvrir des gènes clés liés au système endocrinien des crustacés. En particulier, cette partie présente les résultats obtenus à partir de l'étude de l'identification et de la pertinence de trois gènes liés à l'ecdysone (une hormone stéroïde intervenant notamment dans le processus de la mue des arthropodes et dans le contrôle de leur reproduction) en tant que biomarqueurs des perturbations endocriniennes chez les femelles gammaridés. Leur utilisation potentielle en tant que biomarqueurs de perturbation endocrinienne a été évaluée par mesure de la modification de leur expression après exposition à des composés suspectés de se comporter comme des perturbateurs endocriniens. À l'image du reste du document, la méthodologie est parfaitement décrite avec rigueur et pédagogie.

Enfin, le **dernier chapitre de la thèse** est une synthèse et une discussion générale. Elle est encore une fois très claire et détaillée.

En conclusion, les travaux présentés sont très conséquents. Ils ont été, à juste titre, superbement valorisés. Les résultats obtenus s'accompagnent d'une analyse statistique rigoureuse attestant la solidité des résultats. L'auteur fait preuve d'une étonnante capacité analytique qui apparaît comme une prouesse technique à laquelle il donne un sens écotoxicologique. Le document expose de façon très claire une démarche pertinente visant à apporter des données précieuses ainsi qu'une réflexion sur la stratégie d'évaluation de la santé de l'environnement. L'apport en connaissances fondamentales est remarquable. La mise en œuvre des expérimentations montre large éventail de techniques maîtrisées incluant les techniques d'élevage, de déploiement *in situ* et des techniques physico-chimiques et biologiques de pointe. Au plan finalisé, les résultats présentés permettront de mieux caractériser, *via* des méthodes optimisées et à haut débit, l'impact des polluants chimiques sur les milieux aquatiques. Ces travaux sont ainsi d'une importance majeure dans le domaine des sciences de l'Environnement tant au plan conceptuel que méthodologique. Ils ont une valeur générique car ils permettront de mieux caractériser d'autres espèces végétales et animales mises en danger par des polluants avérés ou suspectés.

#### Articles publiés

**Gouveia D**, Bonneton F, Almunia C, Armengaud J, Quéau H, Degli-Esposti D, Geffard O, Chaumot A, (2018) Identification, expression, and endocrine-disruption of three ecdysone-responsive genes in the sentinel species *Gammarus fossarum*. *Scientific Reports* **8** (1), art. no. 3793.

**Gouveia D**, Chaumot A, Charlot A, Almunia C, François A, Navarro L, Armengaud J, Salvador A, Geffard O (2017) Ecotoxicoproteomics for aquatic environmental monitoring: first in situ application of a

new proteomics-based multibiomarker assay using caged amphipods. *Environmental Science and Technology* **51(22)**, 13417-13426.

Charnot A, **Gouveia D**, Armengaud J, Almunia C, Chaumot A, Lemoine J, Geffard O, Salvador A (2017) Multiplexed assay for protein quantitation in the invertebrate *Gammarus fossarum* by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **409(16)**, 3969-3991.

**Gouveia D**, Chaumot A, Charnot A, Quéau H, Armengaud J, Almunia C, Salvador A, Geffard O (2017) Assessing the relevance of a multiplexed methodology for proteomic biomarker measurement in the invertebrate species *Gammarus fossarum*: A physiological and ecotoxicological study. *Aquatic Toxicology* **190**, 199-209.

#### Articles soumis

Trapp\* J, **Gouveia\* D**, Almunia C, Pible O, Degli-Esposti D, Gaillard JC, Chaumot A, Geffard O, Armengaud J (2018) Digging deeper into the pyriproxyfen-response of the amphipod *Gammarus fossarum* with a next-generation ultra-high-field Orbitrap analyser: New perspectives for environmental toxicoproteomics. Submitted to *Frontiers in Environmental Science*. \*1st co-authors.

Charnot A, **Gouveia D**, Ayciriex, S, Lemoine J, Armengaud J, Almunia C, Chaumot A, Geffard O, Salvador A (2018) On-line solid phase extraction liquid chromatography mass spectrometry method for multiplexed proteins quantitation in an ecotoxicology test species: *Gammarus fossarum*. Submitted to *Journal of chromatography A*.

#### Autre publication en lien avec la thèse

**Gouveia DD**, Silva AMN, Vitorino R, Domingues MRM, Domingues P (2014) Efficiency of trypsin digestion for mass-spectrometry-based identification and quantification of oxidized proteins: Evaluation of the digestion of oxidized bovine serum albumin. *European Journal of Mass Spectrometry* **20(3)**, 271-278.

## ÉVALUATION GÉNÉTIQUE ET GÉNOMIQUE DE NOUVEAUX CARACTÈRES EN BOVINS LAITIERS<sup>1</sup>

Thèse de Iola **CROUÉ**

Analyse de Jean-Claude **MOCQUOT**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Vincent **DUCROCQ**, Directeur de recherche Inra, Jouy-en-Josas.

L'objet de cette thèse est d'analyser pratiquement et en détail les possibilités nouvelles offertes par l'évaluation génomique des reproducteurs pour élargir notamment l'éventail des caractères d'intérêt pris en compte dans l'amélioration génétique des bovins laitiers.

Le travail d'analyse génétique et de recherche de méthodologie d'évaluation génomique a été conduit pour deux groupes de caractères nouveaux : les aptitudes bouchères des races dites « mixtes » (Montbéliarde, Normande et Simmental) et la résistance aux lésions podales en race Holstein.

Avant d'évoquer la teneur de ces travaux, il faut signaler le choix tout à fait judicieux de ces deux groupes de caractères : le premier permet de lever enfin une hypothèque, donc une polémique, ancienne sur l'orientation spécialisée laitière de toutes les races traitées, y compris celles dites « mixtes » ou « à potentiel équilibré ». Le

<sup>1</sup> Thèse de doctorat de l'Université de Paris Saclay, présentée et soutenue à Paris le 14/11/2017, préparée à AgroParisTech, Institut du Vivant et de l'Environnement, ED N° 581 ABIES, spécialité Génétique animale.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France (section 3) Productions animales.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

second permet de développer la capacité d'action génétique sur les caractères liés à la santé des animaux, avec ses corollaires sur leur bien-être et sur la santé humaine, tant mis en avant par la demande sociétale.

Chacune de ces deux grandes parties présente deux chapitres : l'un consacré à l'estimation des paramètres génétiques classiques pour les caractères mesurés ; l'autre à l'étude comparée de divers modèles et méthodologies d'évaluation génomique. Pour ces derniers, leur précision a été évaluée en vérifiant leur sensibilité et capacité à prendre en compte l'existence de biais éventuels, en particulier ceux liés à la structure non équilibrée, par nature, des données de terrain utilisées dans chacune des situations étudiées.

Ce corps original de la thèse est précédé d'une longue introduction dans laquelle l'auteure présente et développe de façon très explicite les atouts d'une évaluation et d'une sélection sur une base génomique comparée aux évaluations et sélections sur une base polygénique « classique ». Chacune de ces deux approches est décrite et discutée en détail et clairement. Chacun des avantages de la sélection génomique est expliqué, tant en termes d'efficacité pour chaque catégorie de caractères d'intérêt, que de conséquences sur l'organisation de la sélection et pour son impact sur le progrès génétique réalisable. Les méthodes statistiques d'évaluation génétique des reproducteurs sont également discutées brièvement et clairement, nonobstant la spécialisation poussée de ce sujet.

L'ensemble de cette première partie constitue un tout cohérent de présentation du contexte et de justification des travaux qui suivent.

## I- L'ÉVALUATION DES APTITUDES BOUCHÈRES

A partir de la collecte nationale de données d'abattage des bovins mise en place depuis 2002 dans le cadre de NORMABEV, à l'initiative de l'Interprofession (INTERBEV), ont été analysés les Poids de carcasse (PC), les classements de conformation bouchère (CC) et l'âge à l'abattage (AA) des jeunes bovins de moins de 24 mois de race Montbéliarde, Normande et Simmental.

L'ensemble des paramètres génétiques (Héritabilité et corrélations génétiques) de ces caractères, ainsi que leurs liaisons génétiques avec les mêmes aptitudes chez les veaux de boucherie et les aptitudes laitières, disponibles par ailleurs, ont été estimées classiquement en testant les effets de plusieurs méthodes d'analyse sur les résultats.

L'article scientifique qui a valorisé ce travail est intégré dans la thèse.

Les héritabilités sont moyennes pour PC et CC et plus faibles pour AA dans chacune des races. Les corrélations génétiques entre ces caractères sont favorables d'un point de vue zootechnique. Des corrélations fortes sont également observées pour chaque caractère entre Jeunes bovins et Veaux de boucherie. Des corrélations positives, faibles à moyennes, sont confirmées entre les caractères bouchers des JB et les mensurations et pointages des vaches (hauteur au sacrum, largeur aux hanches, musculation). Enfin, les liaisons entre les aptitudes bouchères des JB et les différents caractères laitiers sont faiblement négatives ou légèrement positives selon les caractères et les races. Cet ensemble de résultats originaux permet de conclure à la possibilité d'une sélection génomique effective de ces nouveaux caractères, sans compromettre la poursuite du progrès actuel sur les aptitudes laitières.

Pour poursuivre et finaliser la conclusion ci-dessus, le deuxième volet de cette étude concerne la recherche de la méthodologie d'évaluation génomique des reproducteurs la mieux adaptée à ces données, compte tenu de la particularité de leur structure. Cette partie très méthodologique, d'approche réservée aux spécialistes, a été valorisée par un article scientifique dans *Journal of animal Breeding and Genetics* qui est intégré dans la thèse. L'apport principal de cette étude réside dans l'application d'une méthode dite « en une seule étape » qui s'est avérée plus performante sur les caractères concernés que les méthodes plus classiques d'évaluation génomique, utilisées habituellement qui nécessitent deux étapes successives de calcul.

## II- L'ÉVALUATION DES CARACTÈRES DE RÉSISTANCE AUX LÉSIONS PODALES

Les données utilisées sont issues d'une action concertée entre les différents organismes de services aux éleveurs laitiers de l'ouest (programme GÉNOSANTÉ) pour collecter, lors de leurs prestations de parage des onglons, un ensemble d'informations harmonisées sur différentes lésions podales constatées. Sept lésions bien décrites et dont l'occurrence moyenne était supérieure à 5% ont été retenues parmi 22 identifiées.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

L'analyse génétique a été conduite avec des collaborations internationales et a été valorisée par une publication scientifique dans l'*American Journal of Dairy Science* intégrée dans la thèse.

Cette étude d'estimation des paramètres génétiques et des méthodes d'évaluation génomique, sur un premier échantillon de données, a essentiellement mis l'accent sur la particularité de ces données. Les lésions observées sont très dépendantes de facteurs non connus ou non maîtrisés, tels que l'exposition au risque pour les lésions d'origine infectieuse, par exemple, ou la non exhaustivité des observations à chaque visite d'élevage pour parer les animaux désignés par l'éleveur. L'analyse répétée sur des sous échantillons indépendants ou pour différents taux de parage, a néanmoins permis de tester la consistance des paramètres obtenus. L'introduction du « statut de parage » de chaque vache à chaque visite a permis des estimations plus précises et moins biaisées. Les résultats indiquent des héritabilités faibles : de 0,02 à 0,08 selon les lésions, néanmoins les coefficients de variation génétique révèlent une variabilité exploitable.

Les corrélations génétiques confirment l'existence des deux groupes de lésions génétiquement indépendants, celles d'origine infectieuse et celles d'origine non infectieuse. Les corrélations génétiques entre lésions d'un même groupe sont en revanche positives et moyennes à fortes.

L'approche comparée des méthodes d'évaluation génomique a confirmé l'intérêt de la méthode à une seule étape (SSGBLUP) pour ces caractères comme pour les caractères bouchers.

Sous réserve de confirmation de ces résultats sur les données accumulées depuis, dont l'harmonisation entre agents peut, au vu des résultats de cette étude, être renforcée pour certaines lésions, on peut d'ores et déjà envisager une évaluation officielle sur ces caractères.

La thèse de Iola Croué se termine sur un ensemble de points à prendre en considération pour l'évaluation génomique de nouveaux caractères en se basant sur l'expérience de la thèse. Tous concernent l'attention à porter à la qualité, à la structure des données utilisées, à leur documentation, en lien avec la densité des marqueurs etc...

La qualité et la quantité de travail accompli lors de cette thèse sont tout à fait remarquables de pertinence du sujet et de maîtrise des outils utilisés pour produire des résultats reconnus comme en attestent les trois publications dans des revues internationales de génétique appliquée et les nombreuses communications à des colloques. Par ailleurs, cette thèse qui débouche directement sur la mise en œuvre de nouvelles évaluations des reproducteurs laitiers français fait faire un grand pas à l'élargissement de l'éventail des caractères sélectionnés efficacement pour mieux répondre aux attentes des filières concernées et de la société pour un élevage durable.

### CONCEPTION INNOVANTE D'UNE MÉTHODE DE FERTILISATION AZOTÉE : ARTICULATION ENTRE DIAGNOSTIC DES USAGES, ATELIERS PARTICIPATIFS ET MODÉLISATION

Thèse de **Clémence RAVIER**<sup>1</sup>

Analysée par **Jean-Claude GERMON**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Jean-Marc **MEYNARD**, directeur de recherche INRA, chef du département SAD, UMR Agronomie Inra-INA PG.

---

<sup>1</sup> Thèse doctorat de l'Université Paris-Saclay, préparée à AgroParisTech, présentée et soutenue le 10/02/2017 École doctorale n°581 ABIES (Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé) Spécialité Sciences Agronomiques.

<sup>2</sup> Directeur de Recherche Honoraire de l'INRA, Membre de l'Académie d'Agriculture de France section 7 « Environnement et territoire »

Pour faire face aux différentes formes de pollution azotée de nos milieux aquatiques, et sous pression des réglementations européennes, les Autorités françaises ont été fortement incitées à se donner des moyens de gestion de la fertilisation azotée, compréhensibles et utilisables à des fins réglementaires. La mise en place des GREN (Groupes Régionaux d'Expertise Nitrates) en 2012 a eu pour objectif d'harmoniser à l'échelle du territoire un mode d'évaluation de la fertilisation azotée, basé sur le bilan azoté des cultures, dans le prolongement d'un ensemble de travaux développés à l'INRA et par les instituts techniques depuis une quarantaine d'années. Cette méthode des bilans azotés, proposée initialement comme une méthode de prévision des apports de fertilisants en fonction des besoins des plantes, s'est progressivement transformée en outil pour tenter de limiter les fuites de nitrates vers les eaux de surface et souterraines, en prenant en considération l'ensemble des transformations de l'azote dans les sols cultivés. On connaît actuellement les quantités de fertilisants azotés utilisés en agriculture sur notre territoire et les apports de produits azotés par les produits importés, on sait comment les agriculteurs sont amenés à rendre compte de leurs pratiques en matière de fertilisation, et nous avons connaissance de l'état, préoccupant, de contamination de nos ressources en eau par ces produits azotés. On sait aussi que la gestion de l'azote est la principale source d'émission de gaz à effet de serre par l'agriculture à partir du protoxyde d'azote dérivé de la transformation des nitrates.

La thèse de Clémence Ravier s'inscrit dans ce contexte actuel d'interrogation sur la pertinence des mesures mises en œuvre et sur les démarches à suivre pour parvenir à une gestion de l'azote en agriculture avec une meilleure valorisation par les plantes et par voie de conséquence une limitation des fuites dans l'environnement.

L'approche développée par Clémence Ravier s'appuie au départ sur un travail d'enquête et d'entretiens consécutifs aux discussions qui ont pu avoir lieu dans les différents groupes régionaux d'expertise nitrates pour la définition des applications régionales de la méthode du bilan azoté retenue nationalement comme outil de référence. Cette première approche l'a conduite à mettre en exergue trois points révélateurs de la difficulté à définir les doses à apporter et les risques de fuite qui en découlent: i) l'estimation des objectifs de rendements, et donc des besoins en azote, ou la difficulté pour les agriculteurs de discerner entre espoir et réalité ; ii) les difficultés de mesure des reliquats azotés disponibles à l'ouverture du bilan, et les incertitudes sur les estimations qui en sont faites ; iii) la difficulté de paramétrer la méthode dans des situations excessivement diversifiées.

Les questionnements tirés de ces premières observations sur cette méthode largement basée sur le fonctionnement des sols et les connaissances acquises dans son équipe d'encadrement l'ont conduite à proposer une « méthode de raisonnement sans objectif de rendement » basée davantage sur le fonctionnement de la plante et tirant partie de deux caractéristiques : i) la souplesse de fonctionnement du blé et sa capacité à supporter un certain déficit azoté et à le compenser dans le temps ; ii) sa capacité à présenter des indices détectables de son état de nutrition permettant de guider la fertilisation tout en évitant de devoir évaluer *a priori* la fourniture par le sol. Le travail expérimental conduit avec deux groupes d'agriculteurs montre à la fois la faisabilité de la méthode mise en œuvre avec eux et l'effet bénéfique obtenu avec une réduction significative de la dose de fertilisant apporté pour une même production. Il est à noter que le gain obtenu dans les situations présentées est de l'ordre de grandeur de la marge de manœuvre qu'essaient de se garder les professionnels dans les discussions menées au sein des GREN autour de la méthode du bilan azoté.

La suite du travail vise à conforter la méthode proposée par diverses approches. Une compilation des résultats expérimentaux d'une base de données sur le suivi de la nutrition azotée lui permet de suivre l'évolution de l'indice de nutrition azotée dans différentes conditions de fourniture d'azote. Elle montre ainsi que le blé peut tolérer des conditions de carence dans ses phases précoces de développement et que leur intensité doit diminuer au cours du cycle pour ne pas pénaliser la production.

Par une approche analogue sur une série de données expérimentales régionales, elle teste une approche de définition de règles de décisions définies à l'aide du modèle Azodyn qui lui permet de vérifier la compatibilité des apports avec la dynamique de développement et les besoins de la végétation évalués par le

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

suivi de l'indice de nutrition azotée. La dernière partie porte sur la possibilité de prédiction de l'indice de nutrition azoté à partir d'une estimation de la teneur en chlorophylle des feuilles : l'analyse réalisée montre que ce point demeure encore l'objet de travaux.

La thèse de Clémence Ravier ne règle pas les difficultés de gestion de la fertilisation azotée : elle constitue cependant dans le cas présent une avancée intéressante. Elle souligne tout d'abord des insuffisances de la méthode du bilan azoté et met le doigt sur des dérives auxquelles une application biaisée peut conduire. Elle aurait pu souligner d'autres points de faiblesse, mais tel n'était pas l'objectif de ce travail. Elle fait cependant œuvre utile en soulignant la nécessité de ne pas s'enfermer dans une approche monodirectionnelle et en cherchant surtout à mieux utiliser le comportement de la plante comme indicateur de la nutrition azotée. On retrouve ici la nécessité d'une démarche de diagnostic, visuelle au premier abord, et complétée par des indicateurs physiologiques. Elle met fortement l'accent sur la nécessité d'associer les agriculteurs à cette démarche de diagnostic, « parce qu'ils ont souvent de bonnes raisons de faire ce qu'ils font » (Sebillote) : ce travail en lien direct avec des agriculteurs, et démontrant avec eux la possibilité d'une réduction des apports tout en demeurant attentive aux contraintes rencontrées par ces derniers dans la mise en application de la méthode proposée, est l'un des éléments marquants de ce travail.

La réalisation de cette thèse est une forme de challenge dans la mesure où elle démontre une diversité d'approches possibles dans la résolution d'un problème complexe et la nécessité de poursuivre l'exploration de ces différentes voies. Cet important travail et les éléments qui en sont tirés incitent à recommander son auteur pour une reconnaissance par l'Académie d'Agriculture.

## MANIPULATION DE LA RECOMBINAISON CHEZ UNE PLANTE CULTIVÉE, LE RIZ

Thèse de Delphine **MIEULET**<sup>1</sup>

Analyse de Mathilde **CAUSSE**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Emmanuel **GUIDERDONI**.

La thèse Delphine Mieulet a été réalisée au sein de l'UMR CIRAD-INRA-Montpellier SupAgro d'Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes (AGAP), dans l'équipe Développement Adaptatif du Riz (DAR), sur le campus CIRAD Lavalette, à Montpellier, sous la direction d'Emmanuel Guiderdoni. Elle a pour objet la manipulation de la reproduction chez le riz par modification de gènes impliqués dans l'apomixie et la recombinaison, deux aspects essentiels de l'amélioration des plantes. La maîtrise de l'apomixie, recherchée depuis une trentaine d'années permettrait de reproduire clonalement et par graines des hybrides F1 sans avoir à réaliser de croisements coûteux. La maîtrise de la recombinaison, à la base de tout processus de brassage génétique, faciliterait les introgressions ciblées. Plusieurs gènes impliqués dans ces processus ont été identifiés chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana*. Delphine Mieulet a testé leur transfert chez le riz, une plante d'intérêt économique notable. Cette thèse est très bien présentée et très riche de résultats qui ouvrent des perspectives novatrices pour l'amélioration des plantes.

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue à Montpellier le 27 novembre 2017, pour l'obtention du Doctorat BIDAP (Biologie, Interactions, Diversité, Adaptative des plantes), Ecole Doctorale GAIA-Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau.

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France (section 1 Productions végétales).  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

Le manuscrit de thèse commence par une analyse très exhaustive de la bibliographie, présentant successivement la plante étudiée, son importance économique, sa biologie, les bases génétiques de son amélioration et l'état des connaissances sur son génome, puis deux parties sur l'apomixie et la recombinaison.

Les principaux résultats sont ensuite décrits en trois chapitres :

Le premier, sous forme d'article publié dans l'excellente revue *Cell Research* concerne l'apoméiose. Des résultats très prometteurs ont été obtenus par modification de trois gènes, *Ososd1*, *pair1* et *Osrec8*. Le cumul de mutations dans les trois a permis d'obtenir des gamètes clonaux diploïdes mâles et femelles. Le phénotype apoméiotique obtenu, appelé MiMe (Mitosis instead of meiosis) chez *Arabidopsis*, peut être utilisé pour tester différentes stratégies d'induction de la parthénogenèse afin de produire des grains formant des plantes diploïdes clonales apomictiques. Même si le développement parthénogénétique reste un verrou, des pistes intéressantes sont proposées.

Le second vise à augmenter le taux de recombinaison homologue en modifiant trois gènes impliqués dans la régulation de la méiose, *FANCM* et *REC14*. Des résultats très positifs ont été obtenus avec chacun des gènes. Ces résultats confirment ceux obtenus chez *A. thaliana* et ouvrent la voie à l'utilisation des gènes anti-crossing over pour augmenter de façon globale le nombre de recombinants dans les croisements chez les plantes.

Le troisième correspond à des travaux moins finalisés et concerne l'inactivation des gènes anti-crossing over étudiés dans la partie précédente par la technologie CrispR/Cas9. Même si les résultats sont moins aboutis, ils ouvrent la voie à de nouvelles pistes de modification ciblée du génome.

Enfin la discussion générale synthétise les résultats, les perspectives immédiates et leurs applications possibles pour l'amélioration du riz et des céréales en général.

Ce travail a donné lieu à une publication :

MIEULET D., JOLIVET S., RIVARD M., CROMER L., VERNET A., MAYONOVE P., PEREIRA L., DROC G., COURTOIS B., GUIDERDONI E., MERCIER R. 2016. – *Turning rice meiosis into mitosis*. *Cell Research*, 26 (11) : p. 1242-1254. <http://dx.doi.org/10.1038/cr.2016.117>

Une seconde publication, qui devrait paraître prochainement, présentera les résultats sur la méiose chez trois espèces, le riz, la tomate et le pois.



---

## LE SYSTÈME ALIMENTATION/EXCRÉTION DES TERRITOIRES URBAINS : RÉGIMES ET TRANSITIONS SOCIO-ÉCOLOGIQUES

par Fabien **ESCULIER**<sup>1</sup>

Analysée par Daniel **TESSIER**<sup>2</sup>

Directrice et directeur de thèse :

Josette **GARNIER**, Sorbonne Université.

Bruno **TASSIN**, École des Ponts ParisTech.

Il n'est pas toujours aisé de prendre conscience des changements lents, mais structurels, de notre société, lesquels *in fine* changent en profondeur notre environnement global. Il en est ainsi de l'impact des changements globaux de nos modes d'approvisionnements en produits alimentaires, surtout si ceux-ci sont mis en corrélation avec le devenir des rejets humains des sociétés du 21<sup>ème</sup> siècle dans l'environnement. Le mémoire présenté par Fabien Esculier vient justement combler ce vide et c'est tout le mérite de sa thèse de doctorat.

En premier lieu, l'auteur s'appuie sur une analyse détaillée du système d'alimentation humaine et des voies dites d'excrétion des déchets humains dans l'agglomération parisienne. Il souligne d'abord l'incohérence à utiliser de l'énergie pour fabriquer, par exemple, des engrais azotés alors que les rejets humains en contiennent de fortes quantités et, qu'à l'autre bout du système, de l'énergie est dépensée pour dénitrifier et ainsi réduire la charge en azote des eaux usées traitées et rejetées dans les cours d'eau. F. Esculier part donc du constat qu'il y a urgence à développer un système beaucoup plus circulaire que le système de rejet direct (linéaire) dans les égouts.

D'entrée on est frappé par les ordres de grandeurs mis en jeu dans les rejets humains, notamment la charge en azote des urines humaines arrivant dans les stations d'épuration. Séparer cet azote à la source faciliterait le traitement des eaux avant leur rejet dans le réseau hydrographique, avec en prime la fourniture possible d'un substitut aux engrais azotés de synthèse gourmand en énergie pour leur fabrication. La force du document est de faire émerger et concrétiser une préoccupation globale de durabilité du système d'alimentation/excrétion des territoires urbains par le recyclage. Il s'agit en particulier de valoriser l'ensemble des ressources, spécialement celles considérées jusqu'à présent comme des déchets, dans un contexte culturel et technique autour du tout à l'égout dominé par l'objectif « d'épuration des eaux usées ».

Dans son document l'auteur présente en premier les grands cycles biogéochimiques et leurs perturbations par l'homme en relation avec les fondamentaux du métabolisme humain. Il montre par la suite, analyse détaillée à l'appui, que la perturbation anthropique des cycles biogéochimiques n'est pas seulement locale, mais qu'elle est désormais globale. Cette vision globale, par cycles, l'amène à ne plus seulement considérer la gestion des excréta humains uniquement sous l'angle de l'épuration des eaux et de la protection des milieux

---

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue le 9 mars 2018 à l'École nationale des ponts et chaussées, à Champs-sur-Marne, Programme OCAP (Optimisation des cycles Carbone, Azote et Phosphore en ville).

<sup>2</sup> Daniel TESSIER, membre titulaire de l'Académie d'agriculture de France (secrétaire de la section 5 : Interactions milieux-être vivants).

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

aquatiques récepteurs. Ceci le conduit à démontrer que le potentiel des urines est au centre du cycle de l'azote dans l'environnement urbain. La force du document est aussi de considérer l'emboîtement de différentes échelles dans le système d'alimentation/excrétion. Une liste d'indicateurs est proposée, caractérisant les flux d'azote (circularité, autonomie, sobriété, devenir des urines, pollution ...), ainsi que la performance des systèmes vis-à-vis de quelques autres enjeux (salubrité...). L'argumentation conduite à partir de calculs d'ordres de grandeur est originale et rigoureuse, et donc convaincante. Le taux de recyclage de l'azote et du phosphore des urines et matières fécales a connu un pic au début du 20<sup>ème</sup> siècle avec le développement du tout à l'égout et l'épandage des eaux usées en zones agricoles périurbaines, puis, a quasiment disparu aujourd'hui.

L'auteur en fait une analyse et met en exergue l'émergence de nouveaux paradigmes vis-à-vis du recyclage de l'urine, notamment en Europe du Nord et explore les possibilités techniques de séparation à la source, de stockage, de transport, de traitement et de valorisation agricole de cette ressource. Il examine dans le détail les verrous techniques potentiels associés à la mise en place d'un système de séparation et de valorisation des urines, et s'appuie sur des expériences pilotes mises en œuvre partout dans le monde. Il tire ensuite un bilan des expériences effectivement mises en œuvre, analyse les blocages existants et propose un scénario pour l'agglomération parisienne et son « hinterland » agricole basé sur la séparation à la source des urines et leur valorisation en agriculture. Son analyse historique vaut pour l'ensemble des villes occidentales. Il montre qu'un verrouillage sociotechnique s'est progressivement mis en place autour du tout à l'égout, avec une sophistication croissante des procédés techniques, couteux sur tous les plans, de traitement des eaux à l'aval sans remise en cause des fondements du système. Parmi les types de solutions explorés, il met l'accent sur la présence d'azote dans les eaux collectées à épurer, avec une « recircularisation » du système d'alimentation/excrétion. Ce type de scénario est proposé pour l'agglomération parisienne, avec des hypothèses de mise en place progressive d'une collecte séparée des urines.

En conclusion l'auteur s'appuie sur une vision large, systémique, du système alimentation/excrétion des sociétés humaines. Il mobilise un large spectre de disciplines scientifiques : biogéochimie, physiologie, histoire, sociologie, socio-écologie, droit... Il distingue opportunément les disciplines dans lesquelles s'insère ce travail et auxquelles il peut prétendre contribuer. Son analyse combine des analyses théoriques, des calculs d'ordre de grandeur pour hiérarchiser et identifier les processus dominants et des considérations très opérationnelles de faisabilité technique.

Un travail remarquable de quantification des flux N et P de l'agglomération parisienne a été réalisé, en combinant différentes sources d'information, avec un souci permanent de croiser des chiffres d'origines diverses afin d'évaluer leur cohérence. Ces résultats sont très originaux.

Un scénario de reconfiguration du système d'alimentation/excrétion de l'agglomération parisienne est proposé en fin de document, basé sur une « recircularisation » des flux d'N et P, et il en évalue les performances. Pour les agronomes il faudra maintenant envisager plus en détail quelles pourraient être les applications en agriculture. Du côté des concentrations en élevages hors sol (porcs par exemple) des analogies pourraient être possibles.

Bien que long, son document est clair, facile à lire, et capte l'attention par son originalité et sa nouveauté. Il fera réfléchir les acteurs et chercheurs du domaine. L'auteur fait preuve de rigueur, largeur de vue, capacité à faire des liens, aptitude à combiner approches théoriques et analyses opérationnelles. Toutes ces qualités ont été signalées par les rapporteurs de la thèse. C'est un travail remarquable qui mérite d'être valorisé sur le site de l'Académie.

## DÉTERMINISME DE LA SPÉCIFICITÉ D'HÔTE ET RÔLE DES EFFECTEURS TAL DANS L'INTERACTION *XANTHOMONAS* – HARICOT

Thèse de Mylène **RUH**<sup>1</sup>

Analyse de Michel **DRON**<sup>2</sup>

Directeurs de thèse : Marie-Agnès **JACQUES** et Nicolas **CHEN**, UMR - Institut de Recherche en Horticulture et Semences (IRHS) – Angers.

La thèse de Mylène Ruh a été réalisée au sein de l'UMR IRHS - Angers, dans l'équipe Emersys, (Emergence, systematics and ecology of plant pathogenic bacteria) sous la direction de Marie-Agnès Jacques (DR2 INRA-SPE) avec l'appui de Nicolas Chen (MCF AgroCampus Ouest). Elle est dédiée à l'identification, à l'évolution moléculaire, et à l'analyse du rôle de plusieurs effecteurs TALE (Transcription Activator Like Effector) chez des bactéries du genre *Xanthomonas* responsables de maladies bactériennes chez les plantes. Elle s'est plus particulièrement intéressée à deux *Xanthomonas* ; les *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli* et *X. citri* pv. *fuscans*, toutes deux responsables de symptômes de grasse chez le haricot. Cette situation était assez surprenante alors que ces deux espèces de *Xanthomonas* sont connues comme éloignées phylogénétiquement, laissant penser à une convergence évolutive, par transfert horizontal de gènes comme cela est maintenant assez connu chez beaucoup d'espèces de bactéries, notamment pathogènes. Ses travaux d'analyses comparées des deux génomes, avec sélection de gènes connus comme impliqués dans le pouvoir pathogène, l'ont amenée à identifier de 1 à 3 gènes TALE dans chacune des souches, contribuant à leur répertoire spécifique.

Elle a ainsi identifié quatre gènes TALE, et montré que deux d'entre eux étaient issus de transfert horizontal entre les deux espèces *Xpp* et *Xcf*. Les gènes TALE sont spécifiques aux bactéries du genre *Xanthomonas*, ils sont des structures dotées de motifs en répétitions plus ou moins importantes, ce nombre donnant la spécificité. Ces répétitions génèrent des hélices alpha dont le nombre variable est plus ou moins adapté aux cibles génomiques de la plante hôte, pour y induire la transcription de certains gènes cible au détriment d'autres, les gènes cibles étant associés à une sensibilité accrue de la plante. Par mutagenèse par délétion, elle a ainsi montré qu'un des gènes identifiés contribuait à l'agressivité et donc à l'étendue des symptômes.

Ses travaux lui ont permis d'ouvrir des voies diverses (génétique et amélioration des plantes, peut être molécules spécifiques...) pour détourner les protéines TALE de leurs cibles et ainsi contribuer à la résistance de la plante hôte.

La thèse fait 313 pages, dont 120 pages d'introduction sur les interactions plantes/bactéries, les effecteurs, en particulier les effecteurs TALE, leur évolution et adaptation à l'immunité des plantes, les mécanismes de réponse des plantes aux attaques bactériennes, puis le modèle grasse du haricot avec les deux bactéries *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli* et *X. citri* pv. *fuscans*.

Viennent ensuite trois chapitres de résultats, le premier sur l'identification des gènes de ces deux bactéries associées au développement de la symptomatologie et la spécificité différentielle d'hôtes. Le second est consacré à l'analyse de la diversité et de l'évolution des gènes TALE chez ces bactéries et quelques autres

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue à Angers le 19 décembre 2017, pour l'obtention du Doctorat sous le label de l'Université de Bretagne Loire pour obtenir le grade de DOCTEUR D'AGROCAMPUS OUEST.

<sup>2</sup> Membre titulaire de l'Académie d'agriculture de France de la section 1 (Productions végétales)  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

pathovars du genre *Xanthomonas*. Le troisième chapitre est dédié à une analyse de génétique réverse sur un des gènes TALE qui a été transféré de manière horizontale, et à la démonstration de son implication dans la quantité des symptômes de graisse chez le haricot.

La discussion générale se fonde sur ces résultats pour proposer des stratégies de contrôle de la graisse, et plus généralement des maladies à *Xanthomonas*, dont la symptomatologie et la spécificité sont associées aux gènes TALE, par le biais d'approche de génétique/génomique pour l'amélioration des espèces par résistance.

Ce travail a donné lieu aux deux publications ci-dessous parues en 2017, pour lesquelles Mylène Ruh est 1<sup>ère</sup> auteure.

**Ruh M, Briand M, Bonneau S, Jacques M-A, Chen NWG. 2017.** – *Xanthomonas* adaptation to 690 common bean is associated with horizontal transfers of genes encoding TAL effectors. *BMC 691 Genomics* 18: 670

**Ruh M, Briand M, Bonneau S, Jacques M, Chen NWG. 2017b.** – First Complete Genome Sequences of *Xanthomonas citri* pv. *vignicola* Strains CFBP7111, CFBP7112, and CFBP7113 Obtained Using Long-Read Technology. *Genome Announcements* 5: e00813-17.

Deux autres articles, mis en forme dans la thèse sont, ou soumis ou à soumettre, l'un à New Phytology pour lequel M. Ruh est 1<sup>ère</sup> auteure et l'autre à BMC Genomics pour lequel Mylène Ruh est 3<sup>ème</sup> auteure.

### « PROVINCIALISER » LA RÉVOLUTION VERTE : SAVOIRS, POLITIQUES ET PRATIQUES DE LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ CULTIVÉE (1943- 2015)

Thèse de **Marianna FENZI**<sup>1</sup>  
Analysée par **Laurent THEVENOT**<sup>2</sup>

Directeurs de thèse : Christophe **BONNEUIL** et Pierre-Henry **GOUYON**

La thèse de Marianna Fenzi, intitulée "*Provincialiser' la révolution verte : savoirs, politiques et pratiques de la conservation de la biodiversité cultivée (1943-2015)*" a été codirigée par Christophe Bonneuil, directeur de recherche au CNRS, et Pierre-Henri Gouyon, professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle. Elle porte sur une question d'importance indiscutable, tant dans le développement mondial de l'agriculture, que dans celui des disciplines multiples mobilisées pour son examen, sciences de la nature et de la société : l'accès aux ressources génétiques des plantes pour la sélection variétale, et l'impact des variétés génétiquement homogènes. L'évaluation de cette thèse dépend donc de la pertinence d'objets empiriques plus restreints sur lequel porte l'enquête et de la prise en compte de la pluralité des méthodes, savoirs et jugements hétérogènes apportés par le large éventail des disciplines concernées.

<sup>1</sup> Thèse présentée, soutenue le 28 novembre 2017 et préparée dans le cadre d'un doctorat d'Histoire des sciences au sein de l'École doctorale de l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales, « Sciences, techniques, savoirs : histoire et société », Centre Alexandre Koyré.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 4 « Sciences humaines et sociales ». Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

## 1. Une enquête centrée sur le maïs et portant conjointement sur des archives (Fondation Rockefeller et FAO) et des pratiques paysannes contemporaines documentées sur place, au Mexique

Les trois parties de la thèse délimitent trois objets distincts et complémentaires portant sur des périodes historiques différentes et impliquant des sources et des méthodes d'enquête variées.

La **première** partie, centrée sur la période 1943-1963, suit le programme agricole mexicain (MAP) que la Fondation Rockefeller a lancé et qui a marqué le début et le modèle d'un nouveau processus de modernisation agricole dans les pays du Sud. À côté de l'épopée du héros nobélisé ayant travaillé sur le blé, Norman Borlaug, une autre histoire, marginalisée, est tirée de l'ombre par l'auteure. Alors que la promesse affichée est celle du maïs hybride, les sélectionneurs ont, de fait, surtout travaillé sur des solutions alternatives. L'auteure fait ressortir la place déjà accordée dans ce programme à la question de la conservation des ressources génétiques en cours d'appauvrissement dans les pays développés.

La **deuxième** partie puise aussi dans des archives tout en élargissant le propos pour étudier, sur la période 1949-2015, la conservation des ressources génétiques émergeant comme problème public mondial, et le rôle joué par la FAO dans son institutionnalisation. La diffusion des variétés améliorées qui conduit à une disparition des variétés de pays et provoque une perte de matériel génétique suscite alors deux réactions renvoyant à des cultures épistémiques en compétition. La première prône une conservation *ex situ* ; la seconde tente de promouvoir une conservation *in situ* qui vise à maintenir l'ensemble des processus naturels générant cette diversité. Toutefois, cette dernière ne prend pas encore en compte le rôle des agriculteurs comme force de sélection capable de participer à la recherche de solutions aux problèmes de l'amélioration de plantes.

La **troisième** partie est précisément consacrée à ce rôle majeur et local des agriculteurs que l'auteure aborde à partir d'une enquête approfondie qu'elle a réalisée sur leurs pratiques concrètes : lots de semences et distribution du semis dans les parcelles et questions spécifiques sur chaque variété (en utilisant ses noms locaux). Dans la zone enquêtée au centre de la péninsule du Yucatan, les races locales conservent un avantage productif par rapport aux variétés commerciales en termes de productivité ou d'apports nécessaires en travail et en intrants, grâce à leur capacité d'adaptation au contexte. À la suite du désengagement de l'État au profit d'un marché dominé par les hybrides, les projets de sélection qui utilisent des variétés locales et des méthodologies adaptées aux besoins de l'agriculture paysanne n'ont toutefois pas trouvé d'appui institutionnel.

## 2. Une palette de disciplines convoquées et maîtrisées dans leurs développements les plus récents

Le travail historique ou sociologique pêche souvent par manque de pénétration des sciences et techniques qu'il aborde. À l'inverse, les considérations sociales et historiques produites par les techniciens et ingénieurs risquent fort de produire des prophéties ou des récits réducteurs.

La thèse de Marianna Fenzi excelle dans une démarche qui, évitant ces deux biais, est aussi attentive aux savoirs techniques des sciences de la nature, dans lesquels elle s'est profondément investie, qu'à ceux issus des sciences de la société. L'outil intégrateur qu'elle manie est celui de la controverse. La critique et ses épreuves de réalité et de jugement permettent en effet de traiter sur le même plan ces divers savoirs tout en différenciant les principes de ce qui fait preuve. L'auteure est ainsi amenée à faire varier les échelles d'analyse pour repérer, en changeant d'espaces et de groupes d'acteurs, les controverses, les savoirs et les pratiques impliqués dans la trajectoire historique du problème.

Revenons sur le titre. "Provincialiser" la révolution verte. Il témoigne lui aussi de changements récents dans ces relations entre savoirs disciplinaires, dont la thèse est exemplaire. Les mouvements des études historiques post-coloniales et des « *subaltern studies* » ont en effet déplacé le centre de gravité implicite des explications historiques antérieures, vers des milieux non européens, conduisant à "provincialiser" l'Europe, selon les termes de Dipesh Chakrabarty. C'est dans ce sens que la "province" de la Révolution verte est ici entendue, non dans celui auquel on peut d'abord penser.

## Conclusion

Marianna Fenzi, grâce à un itinéraire transculturel et transdisciplinaire particulièrement exigeant et remarquablement accompli, nous montre les bénéfices à tirer d'un décentrement du regard porté sur la Révolution verte, qui permet de "pluraliser l'histoire de la modernisation agricole". Débats, controverses, et observations *in situ* permettent à l'auteure de produire une histoire renouvelée de la modernisation attendue du maïs hybride et de ses limites. Elle met en évidence, au sein même des experts, des voix discordantes exprimées de longue date. Elle fait ressortir la perpétuation efficace du savoir paysan entretenu autour de semences qui assurent la conservation des ressources génétiques du maïs.

La thèse, impressionnante en raison du déploiement des modes d'enquête, de la variété des documents à l'appui et de l'ampleur de l'analyse, s'impose donc pour une valorisation de l'Académie d'Agriculture qui se doit d'être particulièrement sensible à cette perspective innovante et de large portée.

### Complément d'analyse par André-Jean GUÉRIN<sup>3</sup>

L'ambition de cette thèse est vaste, elle embrasse la politique de transformation des agricultures des pays en développement ou des pays les moins avancés. Elle aborde les méthodes ayant mobilisé les connaissances en vue d'une intensification des productions et l'utilisation de variétés de céréales à hauts potentiels. Elle soulève l'enjeu de la conservation des ressources génétiques et des méthodes pour y parvenir. L'infinif du titre est-il descriptif ou prescriptif ? Gardons la réponse en suspend ! Car il faut dépasser le titre et le résumé pour se faire une idée de la portée des enseignements de cette thèse.

Le travail de Marianna Fenzi est focalisé. Il concerne essentiellement le maïs. Il parcourt l'histoire de la *Révolution verte* au Mexique de ses débuts à nos jours. Il identifie des groupes d'acteurs à partir de leurs pratiques. A partir de cette histoire précise, il explicite l'émergence de la question de la diversité génétique cultivée comme ressource essentielle à l'échelle mondiale.

- *Semences et savoirs au début de la révolution verte. Moderniser à travers le programme de la « Rockefeller Foundation » au Mexique (1943-1963).* Cette première partie oriente le regard sur les *sélectionneurs*, scientifiques qui ont participé au programme dès ses débuts. Ils se sont heurtés à des difficultés multifactorielles concernant le maïs. Leurs divergences ont ensuite été gommées sous le récit épique de la *Révolution verte*.
- *La conservation des ressources génétiques au sein des institutions internationales : une question d'intérêt mondial (1949-2015).* Le parcours de cette question, de sa genèse à nos jours est observé sur plus d'un demi-siècle, dans la deuxième partie. Dès 1949, les experts soulignent la nécessité d'une prise en charge globale de la question des ressources naturelles. Les ingénieurs, physiciens et chimistes sont partisans d'une collecte et d'une protection *ex situ* des ressources génétiques. Les « conservationnistes », botanistes, biologistes évolutifs, prônent une protection *in situ* qui vise à maintenir l'ensemble des processus naturels qui génèrent la diversité génétique. En 1972, la « *National Academy of Science* » marque cette histoire avec la publication d'un rapport sur la vulnérabilité génétique des *major crops*. Les premiers l'emportent, notamment au sein de la FAO, au profit des sélectionneurs. La question se renouvelle cependant avec celle de la propriété des ressources et de l'accès aux collections, question que devient ouvertement politique. Dans les années 1990, avec l'émergence de la notion de *biodiversité cultivée*, est mise évidence le rôle des pratiques agricoles adaptées, locales, résilientes, (traditionnelles ?).
- *La biodiversité cultivée au sein de l'agriculture paysanne au Mexique (1963-2015).* La troisième partie part des trois principaux postulats de la trajectoire institutionnelle de la conservation - les variétés modernes, améliorées, vont se diffuser partout y compris dans les centres d'origine ; les

---

<sup>3</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 4 « Sciences humaines et sociales ». Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

agriculteurs vont abandonner les variétés locales désormais obsolètes ; les agriculteurs ne sont pas en mesure d'intervenir efficacement sur la biodiversité cultivée que ce soit en termes de sélection ou de conservation - et elle va les confronter à l'observation de la culture, ou plutôt des cultures du maïs au Mexique. Plusieurs périodes se succèdent : diffusion des variétés hybrides commerciales, replis avec la baisse des programmes d'encouragement et d'aide. Dans plusieurs régions et hormis les zones agricoles adaptées aux cultures commerciales, les races locales ont démontré garder un avantage productif grâce à leur capacité. Les paysans ont intégré les traits apportés par les variétés commerciales, mais ils continuent sans cesse à sélectionner et améliorer leurs populations à travers la sélection massale.

La thèse de Marianna Fenzi montre que, au Mexique et pour la culture du maïs au moins, aucun des postulats qui ont soutenu l'expansion de la *Révolution verte* n'est corroboré par l'observation. Ce travail est le fruit d'une analyse approfondie et fouillée. Il est servi par une documentation et une bibliographie impressionnante. Il laisse peu de doute sur la solidité de cette conclusion.

Revenons à notre question de départ :

- Descriptif ? Oui certainement, nous venons de le voir. Au Mexique, la *Révolution verte* s'est largement provincialisée.
- Prescriptif ? « *Tout conduit à penser que chaque agriculteur fait le « meilleur » choix variétal en choisissant les populations de maïs qui correspondent le mieux à ses besoins en termes de temps de travail demandé, de recours aux intrants, de cycle de culture, de capacité de stockage maïs aussi de goût, de couleurs, de formes et d'usages.* » (p. 524) révèle peut-être le penchant de l'auteur.

Faut-il sortir de l'ambiguïté ?

A l'heure où, de nouveau, la question de la production agricole à l'échelle mondiale se renouvelle tant pour la nourriture des hommes que pour les utilisations accrues de la biomasse en substitution des produits issus du carbone fossile ou pour contribuer à la capture et séquestration du carbone ; à l'heure de la *révolution doublement verte* ; à l'heure où les nouvelles biotechnologies végétales renouvellent la gamme des promesses tandis que les naturalistes et les petits paysans y voient les instruments d'une appropriation encore élargie du vivant ; à l'heure où les débats n'hésitent plus à faire feu d'un embrasement des opinions publiques ; à l'heure où on se souvient que *résilience* et *réticulé* ont mêmes racines, la thèse de Marianna Fenzi est une contribution à mettre en lumière et à valoriser par sa mise sur le site de l'Académie d'agriculture de France.

---

**LITTÉRATIE MÉDIATIQUE ET ENVIRONNEMENT : ÉVALUATION DE  
L'AUTONOMIE COGNITIVE  
DES JEUNES ENVERS LES MEDIAS TRAITANT DES FORETS**

Dissertation doctorale de **Julie MATAGNE**<sup>1</sup>

Analysée par **Yves BIROT**<sup>2</sup>

Thierry **DE SMEDT** (Co-promoteur) - Université catholique de Louvain.

Pierre **FASTREZ** (Co-promoteur) - Université catholique de Louvain.

La thèse de Julie Matagne se situe dans le champ de la communication socio-éducative, c'est à dire une communication qui vise le partage social des connaissances et l'émancipation du citoyen. Elle porte sur la littératie médiatique (voir définitions en annexe) des jeunes envers les médiatisations de la forêt, avec comme objectif de répondre aux questions : Dans quelle mesure les jeunes sont-ils des penseurs autonomes et critiques des médias qui traitent de problématiques forestières ? Quels facteurs peuvent influencer cette capacité ? Pour aborder ces points, le travail analyse quelques problématiques importantes ; i) la représentation sociale qu'ont les jeunes de la forêt ; ii) la compréhension par les jeunes des messages médiatiques forestiers ; iii) leur aptitude à détecter des stratégies de persuasion ou formuler un jugement critique vis-à-vis de ces messages ; iv) leur capacité à articuler des points de vue apparemment contradictoires, comme la préservation et l'exploitation de la forêt.

### Approches suivies

Deux études ont été effectuées en Belgique. La première a concerné 183 lycéens âgés de 15 à 20 ans, qui se répartissaient en trois catégories : enseignement général, enseignement technique forestier et enseignement technique non forestier, chacune de ces classes se subdivisant en deux : éducation aux médias ou non. La seconde a impliqué 120 étudiants de fin de master (dont 1/3 formés à la forêt, 1/3 aux médias, et 1/3 d'autres formations servant de groupe de contrôle), âgés de 20 à 23 ans. L'étude n°1 a permis d'affiner la méthodologie à appliquer pour l'étude n°2. Des questionnaires et interviews ont fait l'objet d'analyses quantitatives et qualitatives très rigoureuses afin d'appréhender notamment les **représentations sociales** relatives à la forêt. Par ailleurs, la capacité des jeunes à être des penseurs autonomes et critiques des médias a été évaluée en les confrontant à des affiches existantes, ou conçues spécialement, utilisant différentes stratégies de communication. Deux modèles correspondant à deux stratégies contrastées ont été utilisés : i) le modèle publicitaire ou « balistique », avec des messages décontextualisés, visuels et émotionnels, courts et immédiats ; ii) le modèle cognitif, avec des messages multiples, contextualisés de format long et s'inscrivant dans un processus à long terme.

---

<sup>1</sup> Dissertation doctorale en vue de l'obtention du grade de Docteur en information et communication, déposée en septembre et soutenue en décembre 2017, Université Catholique de Louvain, Groupe de Recherche en Médiations des Savoirs

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 2 « Forêt et Filière bois ».



### Quelques enseignements importants

**Chez les lycéens**, les jeunes avec une expérience vécue avec la forêt supérieure ont globalement mieux réussi le test relatif aux affiches simples, alors que l'expérience vécue avec la forêt était le plus souvent associée à la formation en foresterie pour les affiches complexes. L'hypothèse selon laquelle l'éducation aux médias est un facteur important n'a pu être confirmée, probablement en raison du caractère peu intensif des formules d'éducation testées. Par ailleurs, les pratiques médiatiques des jeunes ont parfois une influence positive, mais le plus souvent une influence négative sur leur autonomie cognitive. Enfin, le caractère simple ou complexe d'un média a un effet significatif sur l'interprétation du média par les répondants : les messages simples exigeant moins d'autonomie cognitive comparativement aux messages complexes, mais aussi plus d'expertise sur le sujet traité par le média pour parvenir à une représentation correcte de la réalité.

**Chez les étudiants de master**, trois types de représentation dominent :

**a) Vision d'une forêt détruite par l'homme** : l'homme met en danger l'écosystème de la forêt, du fait de ses loisirs mais surtout de l'exploitation, même si l'on reconnaît que l'homme peut y accéder pour ses loisirs et a besoin de bois pour vivre (2,5% des forestiers ont cette vision contre 47,5% pour les non forestiers).

**b) Vision ambivalente du rôle de l'homme sur la forêt** : l'homme détruit la forêt lorsqu'il l'exploite, mais le bois est nécessaire à l'homme. La bonne santé de la forêt ne dépend pas tellement de l'intervention de l'homme, bien que l'homme doive tout mettre en œuvre pour la protéger (27,5% des forestiers ont cette vision contre 38,75% pour les non forestiers).

**c) Vision d'une forêt gérée de façon durable par l'homme** : l'homme protège la forêt et peut l'exploiter, y vivre, y pratiquer ses loisirs sans la détruire (70% des forestiers ont cette vision contre 13,75% pour les non forestiers).

La **connaissance de la forêt, principalement formelle, est donc un facteur qui a une influence positive** sur la capacité des jeunes à être des penseurs autonomes et critiques des médias forestiers

Les résultats des deux études montrent aussi que les jeunes ne parviennent pas à identifier la qualité des institutions (NGO, organisations professionnelles, administrations, etc.) émettrices des médias. En outre, le **support de communication est un facteur déterminant** sur la capacité des jeunes à penser des médias forestiers. Le média qui repose sur le modèle cognitif est celui qui favorise la réflexion du public.

### Perspectives ouvertes par ce travail

L'incidence des médias sur les représentations des individus conduit logiquement à repenser la communication forestière à partir de celles-ci. Pour cela, il est recommandable de :

- Au préalable, bien appréhender les représentations sociales, en effet, les citoyens sont, aujourd'hui, très majoritairement citadins et leur connaissance des problématiques forestières se forme principalement *via* les médias. Il faut aussi s'assurer que les professionnels de la forêt et de la filière bois en général aient des représentations exactes du domaine.

- Développer une **communication à destination du grand public** pour renforcer la connaissance des questions forestières et parvenir à « complexifier » les représentations forestières, en intégrant des éléments aujourd'hui absents tels que : la forêt nécessite l'intervention de professionnels, les fonctions de préservation et d'exploitation de la forêt sont compatibles, etc.

- Travailler en partenariat avec des **experts en communication éducative** pour concevoir des médias qui favorisent une bonne compréhension des thématiques forestières. Il faut pour cela : i) rendre plus explicite, dans un langage accessible, l'identité des institutions émettrices des messages, leurs rôles et leurs compétences particulières ; ii) concevoir des messages **élaborés et contextualisés, de format long**, diffusés sur des pas de temps longs permettant au grand public de saisir les nuances d'une réalité complexe.

## Conclusions

Les questions environnementales sont l'objet d'une appropriation croissante par le public, qui passe principalement par les médias et les institutions qui tentent de les convaincre. On l'a vu récemment à propos du déferlement de la « *vie secrète des arbres* » ou à propos des inondations (voir également photo ci-dessous). La thèse de Julie Matagne, soutenue fin 2017, a donc une grande actualité. Cette étude a montré que les médias jouent un rôle déterminant sur la capacité du public à comprendre et à se montrer critique vis-à-vis des messages qu'ils diffusent. Elle permet de saisir que les modes de communication ont encore du champ pour évoluer dans la manière dont la communication est envisagée (son rôle et ses publics), ainsi que dans ses pratiques : sortir de la communication « *inspirée du marketing, qui cherchent encore trop souvent à abrutir les publics avec des messages répétitifs et pauvres en contenu* ». Comme le souligne Julie Matagne dans sa conclusion « *L'enjeu qui sous-tend cette évolution est de parvenir à créer une intelligence collective. Une société dans laquelle les membres sont capables de se comprendre reste le défi majeur de toute éducation. Une autonomie cognitive des individus et une intelligence collective en matière de questions environnementales sont essentielles dans une société où les individus peuvent ambitionner d'être des acteurs de leur histoire commune* ». Conduite sur une population de jeunes qui sont les citoyens de demain, cette étude livre aussi des réflexions intéressantes sur les rôles des environnements éducatifs et familiaux.

La reconnaissance de l'Académie d'agriculture de France pour ce remarquable travail conduit avec méthode et rigueur est à soutenir avec force. La démarche, les résultats, les perspectives ouvertes sur les pistes possibles pour améliorer les outils de communication, sont génériques. Ils vont bien au-delà du seul secteur forestier et met en valeur les sciences sociales et leur pertinence pour ce secteur.

## Annexe : définitions de littératie

### Littératie : de quoi s'agit-il ?

La littératie, terme venu de l'anglais, a été défini par l'OCDE comme "l'aptitude à comprendre et à utiliser l'information écrite dans la vie courante, à la maison, au travail et dans la collectivité en vue d'atteindre des buts personnels et d'étendre ses connaissances et ses capacités". (*rapport du 14 juin 2000 : La littératie à l'ère de l'information*). La littératie ne se limite pas à la lecture, à l'écriture et au calcul, elle est aussi la capacité à pouvoir communiquer au quotidien, aussi bien à l'écrit qu'à l'oral, pour interagir dans les différents contextes de la vie en société : personnel, familial, socioculturel, professionnel. Des exemples :

- La **littératie médiatique**. C'est la capacité d'une personne à aborder avec un esprit critique les informations qu'elle peut rencontrer dans les médias contemporains comme, par exemple Internet ou les réseaux sociaux. Ces compétences s'acquièrent par l'éducation aux médias.<sup>[1]</sup>
- La **littératie numérique**. C'est la capacité d'une personne à maîtriser les connaissances et les savoir-faire spécifiques aux technologies numériques (ordinateurs, tablettes numériques, téléphones mobiles intelligents, objets connectés, etc.).

La **translittératie** est un objet de recherche apparu vers 2005-2006 qui étend la littératie aux littératies informationnelle, médiatique, informatique, numérique, c'est-à-dire la capacité de lire, écrire et interagir aux moyens des différents outils, supports et de moyens modernes de communication. L'universitaire britannique Sue Thomas la définit comme "l'habileté à lire, écrire et interagir par le biais d'une variété de plateformes, d'outils et de moyens de communication, de l'iconographie à l'oralité en passant par l'écriture manuscrite, l'édition, la télévision, la radio et le cinéma jusqu'aux réseaux sociaux".

Source : <http://www.toupie.org/Dictionnaire/Litteratie.htm>

---

**DEVENIR DES VIRUS ENTERIQUES DE L'HOMME DANS LES EAUX ET LES SOLS ;  
VERS UNE COMPARAISON DE SCENARIOS DE REJETS ET DE RECYCLAGES**Thèse de Vincent **TESSON**<sup>1</sup>Analysée par Jean Charles **MUNCH**<sup>2</sup>Directeur de thèse : Pierre **RENAULT**, Directeur de recherche INRA Avignon.

Le travail de thèse de Vincent Tesson a pour objectif d'étudier le devenir environnemental de virus, particulièrement de virus entériques pathogènes pour l'Homme, dans les eaux usées pouvant être réutilisées comme des eaux d'irrigation pour les cultures agricoles. Les compartiments pris en compte sont : les entrées et sorties de stations d'épuration, les rivières recevant les eaux usées traitées, les diluant et les mélangeant à l'eau d'une autre rivière, le sol agricole et une plante comestible étudiée sur sol en serre (l'oignon). Les approches méthodologiques comprennent tant des expérimentations et des analyses chimiques et moléculaires que des modélisations mathématiques, ce qui démontre déjà la pluridisciplinarité de la thèse : virologie, épidémiologie, milieux aquatiques et terrestres, modélisation.

L'étude a porté essentiellement sur des sites à proximité de Clermont-Ferrand :

- Sur la rivière Artière (bassin versant de l'Allier), avec des quantifications de virus effectuées entre juin 2015 et août 2016 ;
- Sur des surfaces agricoles irriguées par des eaux usées (1500 ha, 51 fermes), avec le choix du site « Limagne Noire », irrigué depuis des années par des eaux usées traitées (plus un lagunage), pour réaliser les analyses du sol et les prélèvements de sol superficiel, destinée à l'expérimentation en colonnes de sol (rétention de virus et survie d'un norovirus de collection) et en pots (oignons) ;
- En amont, sur la station d'épuration des eaux usées « Les Trois Rivières », pour la collecte des eaux usées d'environ 238 000 habitants.

En effet, le monde fait face à des problèmes croissants de ressources en eaux douces, en quantité et en qualité. En même temps, l'accroissement démographique conduit à une surexploitation des ressources « eaux » et au rejet accru d'eaux usées, généralement non ou insuffisamment traitées. Dans cette optique, la réutilisation des eaux usées présente actuellement de nombreux atouts, tout en n'étant aucunement une pratique nouvelle. Elle est une option à prendre sérieusement en compte, également dans nos pays européens. De nombreux pays et de nombreuses régions (dont la France) réutilisent des eaux usées pour l'irrigation agricole, avec un effet fertilisant, vue la charge en éléments nutritifs. Ces eaux ne sont pas toujours bien accueillies, compte tenu des risques hygiéniques (organismes pathogènes, produits toxiques pharmaceutiques) et environnementaux (charges de métaux lourds, certes en décroissance vu les traitements additionnels en station d'épuration pour précipiter les phosphates et ainsi les éliminer dans les rejets dans les rivières). De nombreux travaux se sont intéressés à ces risques.

Les risques par virus entériques pathogènes pour l'Homme ont été moins bien pris en compte. Vincent Tesson en explique les causes dans sa synthèse bibliographique, d'ailleurs très complète à la vue de la

---

<sup>1</sup> Thèse de Doctorat en Biologie de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, présentée et soutenue le 14 mars 2018. Ecole Doctorale « AGROSCIENCES & SCIENCES »

<sup>2</sup> Membre titulaire de l'Académie d'agriculture de France, section V (Interactions milieux-être vivants)  
Directeur émérite au Centre de Recherches Helmholtz de Munich (Institut d'Ecologie des Sols) et de la Chaire d'Ecologie des Sols à l'Université Technique de Munich/Allemagne.  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

pluridisciplinarité de sa thèse : la détection et la quantification des virus étaient très complexes jusqu'au développement des méthodes moléculaires. La détection par sérologie (réaction antigène viral / anticorps), première technique développée durant la première moitié du XXe siècle, reste d'actualité (détection du VIH, des virus des hépatites ou du virus de l'herpès), ainsi que les tests ELISA et d'immunofluorescence. La culture cellulaire (depuis 1948) permet l'isolement de virus (réplication de particules virales dans des cellules hôtes, primaires ou tumorales). La méthode PCR de biologie moléculaire (au cours des années 1990) permet enfin la détection directe du génome ADN du virus et par qPCR la quantification des virus identifiés. C'est la méthode moléculaire avec détection de génomes spécifiques qui permettra à Vincent Tesson de quantifier les virus pathogènes choisis, c'est-à-dire norovirus (Génogroupes I et II), rotavirus, entérovirus, adénovirus et virus hépatite A. L'analyse de l'indicateur classique pour contaminations entériques, *Escherichia coli*, fut entreprise par un laboratoire départemental. Les apports de virus par les eaux communales dans les stations d'épuration furent également estimés correctement par le biais des analyses épidémiologiques de la région (p.ex. coopération avec la Sécurité Sociale et des médecins). Le virus de l'hépatite A ne fut jamais détecté. L'évolution des autres virus dans la station d'épuration et la rivière est surtout dépendante des conditions physico-chimiques, comme température, pH, etc. Dans le sol, le virus modèle était progressivement éliminé ou immobilisé. Une isotherme de Freundlich permet l'estimation de l'immobilisation. Le  $Mg^{2+}$  favorise l'immobilisation du virus par son adsorption sur des colloïdes dispersés. L'expérience modèle en serre pour estimation de la contamination de l'oignon vert *via* les racines a surtout montré la dépendance du mode d'irrigation (aérienne, *versus* de surface, *versus* en sol).

L'ensemble de la thèse représente un document de 124 pages, plus cinq annexes comptant approximativement le même nombre de pages.

Le corps principal de la thèse comporte trois chapitres.

Le chapitre I présente une importante « Synthèse bibliographique ».

Les chapitres II et III suivants sont rédigés en anglais. Ils sont constitués de manuscrits soumis à deux journaux : 1) Journal « Environmental Science & Technology » *Vomiting symptom of acute-gastroenteritis estimated from epidemiologic data can help to assess river contamination by human pathogen enteric viruses*, cosigné par Tesson V., Belliot G., Estienney M., Wurtzer S., Renault P. et 2) « Journal European Journal of Soil Science » *Modelling the removal and reversible immobilization of murine noroviruses in a phaeozem under various contamination and rinsing conditions*, cosigné par Tesson V., de Rougemont A., Capowiez L., Renault P.

Ces deux articles sont précédés d'introduction rédigée en français.

Le chapitre IV forme la « Discussion générale et conclusions ».

Les annexes comportent un manuscrit à soumettre, tout en étant un rapport de projet, deux « Supporting information » et une synthèse bibliographique pour le CNRS, ainsi que le résumé vulgarisé de la thèse pour l'INRA. Vincent Tesson est premier auteur de tous les manuscrits, qui comptent plusieurs auteurs.

La très bonne qualité scientifique de ce travail, ciblé sur un problème agronomique potentiel pour l'avenir, sinon concernant le présent, et qui a été très bien traité en vraie pluridisciplinarité, est à souligner également dans ce rapport.

Le jury souligne cette maîtrise de la réelle pluridisciplinarité de Vincent Tesson perceptible dans toutes les facettes de son travail. Le jury atteste également la maturité scientifique de Vincent Tesson pour la soutenance orale.

**PRODUCTION ET TRAITEMENT DE DONNÉES OMIQUES HÉTÉROGÈNES  
EN VUE DE L'ÉTUDE DE LA PLASTICITÉ DE LA PAROI CHEZ DES ÉCOTYPES  
DE LA PLANTE MODÈLE *ARABIDOPSIS THALIANA*  
PROVENANT D'ALTITUDES CONTRASTÉES**

Thèse de Harold DURUFLÉ<sup>1</sup>  
Analysée par Marie-Thérèse ESQUERRÉ - TUGAYÉ<sup>2</sup>

Directeurs de thèse :

Professeur Christophe Dunand : Laboratoire de recherche en Sciences végétales.

Professeur Philippe Besse : Institut de Mathématiques de Toulouse.

Les travaux de thèse d'Harold Duruflé entrent dans le cadre de l'adaptation des plantes à leur environnement, et plus précisément aux changements climatiques. Son modèle d'étude est constitué par des populations naturelles d'*Arabidopsis thaliana* provenant d'altitudes contrastées dans les Pyrénées (200-1800 mètres), dont il analyse les réponses centrées sur la plasticité pariétale par une approche intégrative innovante alliant l'écologie, la génétique, les techniques "omiques" et des données de phénotypage. Cette approche relève de la "Biologie des systèmes".

Le manuscrit est structuré en quatre parties : une introduction générale suivie de trois parties de résultats.

**L'introduction** fait d'abord le point sur la complexité de cette structure qu'est la paroi des cellules végétales, et montre sa plasticité face aux contraintes environnementales (ex. froid). L'intégration des données produites par différentes méthodologies est susceptible de faire émerger de nouvelles pistes d'étude. C'est tout l'apport de la biologie des systèmes, qui consiste à intégrer les données de diverses disciplines dans des modèles statistiques afin de comprendre la réponse physiologique d'un organisme donné dans sa globalité. Cette partie décrit le principe des analyses statistiques et illustre la méthodologie sous-jacente à l'aide de schémas très pédagogiques.

**La deuxième partie "Production de données omiques et méthodologies d'analyse"** est consacrée à la production de grands jeux de données pour être utilisées à des fins d'analyse statistique : phénotypage, métabolomique (monosaccharides pariétaux), protéomique, transcriptomique, sur rosette et sur hampe florale d'*A. thaliana* soumises à des températures sub-optimales. Cette partie expose les verrous expérimentaux et analytiques rencontrés, inhérents aux traitements de données hétérogènes. En ce sens, il permet une meilleure compréhension de l'apport de l'intégration statistique des données, et ouvre un champ de réflexions à tout biologiste tenté par la puissance de ces approches.

**La troisième partie "Caractérisation de populations pyrénéennes d'*A. thaliana*"** détaille les analyses génétique et phénotypique réalisées sur 241 individus répartis en 30 populations provenant d'altitudes étagées le long de la chaîne des Pyrénées. Leur caractérisation est illustrée par : - i) l'identification de ces populations par leur analyse phylogénétique sur la base des séquences des peroxydases de classe III et du r DNA, d'où il ressort notamment l'identification de quatre populations distinctes ; ii) la mise en évidence d'une plasticité phénotypique de ces populations en fonction des températures de culture ; iii) l'intégration de ces données génétiques et phénotypiques aux données climatiques d'origine. La nouveauté de cette partie est de montrer comment l'intégration statistique réalisée est un nouvel outil pour appréhender l'acclimatation de populations à un réchauffement climatique.

La quatrième partie est intitulée "Études de cas : plasticité pariétale et intégration de données omiques hétérogènes". Une première étude est centrée sur deux écotypes - Columbia et Sha, de plaine et montagne (3500 m) respectivement - dont les analyses (phénotypes, protéome, transcriptome) sont comparées et intégrées en fonction des températures (22°C et 15°C). Leur intégration permet d'identifier plusieurs gènes candidats impliqués dans les modifications des parois cellulaires en fonction de l'acclimatation. Cette étude est ensuite étendue aux quatre écotypes sauvages discriminés par l'analyse phylogénétique. Plusieurs gènes candidats - LTPs, gènes de fonction inconnue - ressortent de cette approche, ouvrant la voie à leur étude fonctionnelle à l'aide de mutants.

**En conclusion**, ces travaux transdisciplinaires montrent la possibilité de mener des études complexes par des approches innovantes sur des populations naturelles. Ils ouvrent la voie à des études combinant des données multi-omiques, par exemple pouvant porter sur des combinaisons de stress abiotiques et biotiques, sur des espèces d'intérêt agronomique végétales, animales, microbiennes.

**Publications** : sur la thèse, quatre publications parues dans des journaux de renommée internationale, une publication en révision, deux publications en cours d'écriture.

- **Durufié, H.**, Selmani, M., Ranocha, P., Dunand, C., Déjean, S (2018) A framework for omics data analysis: from univariate statistics to multi-block integrative analysis. *In preparation*.

- **Durufié, H.**, Ranocha, P., Déjean, S., Burrus, M., Balliau, T., Zivy, M., Chourré, J., Albenne, C., Burlat, V., Jamet, E., Dunand, C (2018) WallOmics: an integrative study of cell wall adaptation to sub-optimal growth conditions of natural population of *Arabidopsis*. *In preparation*.

- **Durufié, H.\***, Ranocha, P.\*, Mbadanga Mbadanga, D.L., Déjean, S., Bonhomme, M., San Clemente, H., Delorme-Hinoux, V., Sáez-Vásquez, J., Reichheld, J.P., Escaravage, N., Burrus, M., Dunand, C (2017) Phenotypic plasticity of new *Arabidopsis* populations highlight acclimation to local environmental constraints. *In review*. Journal of Integrative Plant Biology.

- **Durufié, H.\***, Hervé, V.\*, Balliau, T., Zivy, M., Dunand, C. and Jamet, E. (2017) Proline hydroxylation in cell wall proteins: is it possible to define rules? *Frontiers in Plant Science* 8, 1802. Doi: 10.3389/fpls.2017.01802.

- **Durufié, H.\***, Hervé, V.\*, Ranocha, P., Déjean, S., Zivy, M., Balliau, T., Chourré, J., Burlat, V., Albenne, C., Jamet, E. and Dunand, C (2017) Cell wall modifications in response to sub-optimal temperature growth in two contrasted ecotypes of *Arabidopsis thaliana*, Col and Sha: an integrative study. *Plant Science* Doi: 10.1016/j.plantsci.2017.07.015

- **Durufié, H.**, San Clemente, H., Balliau, T., Zivy, M., Dunand, C. and Jamet, E. (2017) Cell wall proteome analysis of *Arabidopsis thaliana* mature stems. *Proteomics*, 17.8 Doi: 10.1002/pmic.201600449.

- Ritter, A., Cabioch, L., Brillet-Guéguen, L., Corre, E., Cosse, A., Dartevelle, L., **Durufié, H.**, Fasshauer, C., Goulitquer, S., Thomas, F., Correa, J-A., Potin, P., Faugeron, S., Leblanc, C (2017) Herbivore-induced chemical and molecular responses of the kelps *Laminaria digitata* and *Lessonia spicata*. *Plos One* 12: e0173315. Doi: 10.1371/journal.pone.0173315

- Hervé, V.\*, **Durufié, H.\***, San Clemente, H., Albenne, C., Balliau, T., Zivy, M., Dunand, C. and Jamet, E. (2016) An enlarged cell wall proteome of *Arabidopsis thaliana* rosettes. *Proteomics* 16: 3183-3187. Doi: 10.1002/pmic.201600290

\* Co-first authors

Organisation : The [IX European Plant Science Retreat](#), 20 - 23 June 2017, Toulouse (France) ; [Workshop on Multivariate data integration using the R package mixOmics](#), 12 - 14 September 2016, Toulouse (France).

---

**HOMMES, MILIEUX, BREBIS ET LAITS À LA CROISÉE DES FROMAGES :  
L'ANCRAGE TERRITORIAL DES OVINS LAITIERS EN CORSE ET  
EN PYRÉNÉES-ATLANTIQUES DEPUIS LA FIN DU XXE SIÈCLE.**

Thèse de Morgane MILLET<sup>1</sup>

Analysée par André PFLIMLIN<sup>2</sup>

Directeur de thèse Thierry LINCK, directeur de recherche Inra.

Co-directeur de thèse François CASABIANCA, INRA LRDE (Laboratoire de Recherche sur le Développement de l'Élevage).

Analyser et comparer l'ancrage territorial des filières fromagères ovines en Corse et en Pyrénées Atlantiques (PA) pour mieux les comprendre et cerner les enjeux de leur durabilité, tel est le fil rouge de cette thèse. Ces deux bassins de brebis laitières ont des caractéristiques communes, notamment une tradition fromagère ancienne avec de petits troupeaux de races locales valorisant principalement des surfaces non labourables, dont les estives. Ils ont aussi un siècle d'histoire commune avec les « fromagers de Roquefort » en tant que bassins secondaires d'approvisionnement en pains de fromages à affiner dans leurs caves du Cambalou, jusqu'aux années 1980. Période faste où les laiteries locales se « battaient » pour les nouveaux producteurs en leur proposant un solide accompagnement technique et financier pour se moderniser. Mais cette modernisation ayant été encore plus rapide sur le bassin de Roquefort, celui-ci était devenu autosuffisant par rapport à l'évolution du marché. Le retrait négocié de ce débouché essentiel va se traduire par une obligation de diversification et de mise en place accélérée de deux AOC : l'Ossau-Iraty en 1980 en PA et le Brocciu en 1983 en Corse. Mais tout était à reconstruire avec en héritage, un *modèle Roquefort moderniste*, mal adapté à la valorisation des milieux et des contextes socio-économiques locaux.

C'est sur cette toile de fonds que Morgane Millet pose son analyse sur l'ancrage territorial, *sur les ressources productives significatives*, le lait, les races, les ressources fourragères, et leurs évolutions. Mais aussi sur la construction d'une action collective, autour du cahier des charges pour les producteurs et les fromagers, autour de la valorisation du produit qui doit dégager une plus-value, une rente qui devient l'enjeu de conflits d'intérêts et de stratégies d'appropriation contradictoires. La construction de la « qualité » sera le fruit d'après négociations et parfois de ruptures entre éleveurs, notamment entre les *producteurs fermiers* principalement de la montagne valorisant les ressources locales et les *producteurs laitiers* de plaine plus intensifs livrant à une fromagerie modernisée. La thèse montre que ces clivages portent sur la place du lait cru ou pasteurisé, le lait local ou importé, sur le choix des races locales ou exogènes, plus rustiques ou plus productives, sur la part des ressources pastorales, sur l'autonomie fourragère, etc... Ces débats sont arbitrés au sein des interprofessions où les responsables des laiteries et les fromagers peuvent faire alliance avec les producteurs les plus productivistes pour faire évoluer le cahier des charges en faveur du volume aux dépens de l'ancrage territorial.

---

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue publiquement le 12 juillet 2017 pour l'obtention du grade de Docteur en géographie Mention : géographie physique, humaine, économique et régionale, Université de Corse-Pascal Paoli, École doctorale Environnement et Société, INRA Centre de Corse - UR 45 LRDE Laboratoire de Recherche sur le Développement de l'Élevage.

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 3 « Productions animales »  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

En Corse, ce choix recouvre aussi une vision syndicale différente du développement agricole et rural ; ce qui a entraîné la sortie de l'interprofession, des producteurs *fermiers* de la Via Campagnola, qui seront remplacés par des *fermiers* plus « conciliants » notamment sur l'autonomie fourragère. Cette scission et l'évolution vers un modèle productif de plaine avec cultures fourragères et importation de foin de Crau nuit à la notoriété du Brocciu auprès des consommateurs corses, mais ne semble pas pénaliser l'export qui continue de bénéficier de l'image très positive de l'Île de Beauté. Ce conflit sur l'ancrage territorial, renvoyé à l'arbitrage de l'interprofession par l'INAO, bloque aussi la création de nouvelles AOP, y compris pour des fromages fermiers nettement plus pastoraux, qui permettraient de redynamiser la montagne corse en lien avec le tourisme vert, avec des éleveurs plus nombreux et des troupeaux multifonctionnels permettant de lutter plus efficacement contre les incendies.

Les débats ne sont pas moins nourris en Pyrénées Atlantiques où ils se doublent d'un « conflit basco-béarnais » sous-jacent qui se traduit sur le nom des fromages : Ossau pour le Béarn et Iraty pour le Pays Basque (du moins pour les fromages fermiers, avec deux commissions d'agrément), sur le choix des races (pas de Lacaune) et des limites de production par brebis, sur la place des laiteries ou des affineurs, sur la fabrication en estive, sur la suppression de l'ensilage au profit du foin.

Mais globalement l'ensemble basco-béarnais reste dynamique et attractif pour les jeunes. Et la valorisation de la montagne reste une nécessité compte-tenu de l'éroisement des structures des fermes des piémonts pyrénéens. Ce qui consolide aussi la synergie avec le tourisme vert, à l'opposé de la Corse où la montagne est redevenue sauvage et souvent inhospitalière bien que sacralisée.

A partir de ces deux exemples de construction récente d'une AOC dans des contextes présentant de nombreuses similarités, Morgane Millet veut nous faire comprendre les méfaits du décalage entre *l'ancrage institué* (par rapport aux règles de l'AOC) et *l'ancrage des pratiques* sur le territoire. Dans les deux cas l'incorporation de choix techniques du modèle conventionnel ont largement contribué à une *distanciation entre le produit (AOC) et son origine (artificialisation de la ressource, standardisation des laits, déconstruction des savoirs locaux)*. Ce qui se traduit aussi par une répartition de plus en plus inégale de la valeur ajoutée, aux dépens des éleveurs. Ces deux cas montrent la fragilité d'un ancrage territorial basé principalement sur la réputation, avec une image suffisamment vendeuse pour pouvoir s'affranchir de l'amont, du moins à court terme. L'exemple, pour ne pas dire l'impasse, du Brocciu, en est une parfaite illustration. La situation reste plus ouverte pour l'Ossau Iraty où la complémentarité plaine-montagne reste une nécessité pour mieux assurer l'autonomie fourragère et où le produit phare reste le fromage d'estive.

Cette thèse, menée sous la direction de Thierry Linck, directeur de recherche INRA, et co-encadrée par François Casabianca, INRA LRDE, a été présentée pour le grade de docteur en géographie à l'université de Corse le 22 Juin 2017, avec les félicitations unanimes du jury pour la qualité scientifique, la clarté de l'écrit et de l'oral ainsi que pour les réponses apportées. De l'avis des rapporteurs il s'agit d'un travail de recherche remarquable par l'ampleur de l'investissement, à la fois : i) sur la capitalisation historique soulignant la complexité des processus et des jeux d'acteurs, ii) la qualité et le nombre d'enquêtes auprès des acteurs de terrain et leurs restitutions dans leur diversité, iii) leur valorisation très judicieuse pour interroger les corpus théoriques fondateurs de l'ancrage territorial. Ces mêmes rapporteurs soulignent aussi l'intérêt de valoriser cette thèse par la publication de plusieurs articles plus synthétiques.

On ne peut que souhaiter un prolongement de ce travail, permettant de resituer ces deux cas particuliers parmi les autres AOC fromagères françaises, dont l'AOC Roquefort et son évolution depuis 30 ans, pour en tirer des enseignements plus génériques. On aurait aussi souhaité une ouverture sur les contextes interrégionaux : Corse / Sardaigne et Pyrénées Atlantiques / Espagne, autres bassins de brebis laitières, à la fois complémentaires et concurrents. Nul doute que cette thèse constituera un socle de base précieux sinon indispensable, pour ces nouvelles investigations.

*PS : En italique, quelques expressions-phare de la thèse.*



**AMÉLIORATION DE LA CROISSANCE ET DE LA PRODUCTION FRUITIÈRE DE  
ZIZIPHUS MAURITIANA LAM. PAR L'INOCULATION MYCORHIZIENNE  
DANS DEUX VERGERS AU SÉNÉGAL**

Thèse de Babacar **THIOYE**<sup>1</sup>

Analyse de Jean-François **BRIAT**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : M. Amadou **BA**, Professeur titulaire, Unité des Antilles (UA), Faculté des sciences Exactes et Naturelles.

Co-directeur de thèse : M. Samba Ndao **SYLLA**, Professeur titulaire, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Département biologie végétale (UCAD-BV).

Monsieur Babacar **THIOYE** a soutenu une thèse le 1<sup>er</sup> juillet 2017 à Dakar, en co-tutelle entre l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et l'Université des Antilles. Cette thèse avait pour objectif d'améliorer la croissance et la production fruitière du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.) par l'inoculation mycorhizienne dans des vergers sénégalais.

Le jujubier est un arbuste épineux à usages multiples (fruits, fourrage, bois de service) prioritaire pour le reboisement et l'arboriculture fruitière dans le Sahel, où les sols sont souvent dégradés et pauvres en minéraux (P en particulier). La mycorhization et la fertilisation phosphatée pourraient donc jouer un rôle important dans l'amélioration de la croissance et de la productivité des jujubiers.

**Le manuscrit de 250 pages illustre une approche d'ingénierie écologique basée sur l'utilisation des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMAs) pour améliorer la production végétale.**

Après une introduction précisant le contexte, la problématique et les objectifs de la thèse, un premier chapitre bibliographique passe en revue nos connaissances sur le jujubier, l'établissement et la diversité des mycorhizes à arbuscules, et les stratégies d'ingénierie écologique utilisant les CMAs à des fins d'amélioration de la production végétale. Quatre chapitres de résultats originaux s'enchaînent ensuite, présentant successivement :

- (i) une étude en serre analysant la dépendance mycorhizienne de 13 espèces de jujubiers, permettant de révéler que le champignon *R. irregularis* IR27 est le plus efficace sur le taux de mycorhization et la croissance des jujubiers ;
- (ii) une étude au champ, sur deux sites contrastés, de l'inoculation de deux génotypes de jujubiers par *R. irregularis* IR27 révélant que IR27 est compétitif vis-à-vis des CMAs dans des sols à potentiel mycorhiziens faibles, et démontrant son efficacité sur la survie, la croissance et la production fruitière de *Z. mauritania* dans des sols à potentiel mycorhizien faible ;
- (iii) une étude de l'impact, qui s'est révélé négligeable, de l'inoculation par *R. irregularis* IR27 sur les CMAs natifs ;
- (iv) une évaluation de la persistance de *R. irregularis* IR27 dans les racines de *Z. mauritania* par des approches moléculaires ayant nécessité la mise au point d'une sonde spécifique pour

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue le 01 juillet 2017, pour obtenir le titre de docteur de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal) Faculté des Sciences et Techniques Département de Biologie Végétale, Ecole doctorale sciences de la vie, de la santé et de l'environnement en co-tutelle avec l'Université des Antilles, Faculté des Sciences Exactes et Naturelles, Ecole doctorale Milieu insulaire tropical à risques ; Protection, valorisation, santé et développement

<sup>2</sup> Membre titulaire de l'Académie d'agriculture de France, section 5 (Interactions milieu-êtres vivants)

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

différencier, de manière quantitative, l'inoculat des populations indigènes de *R. irregularis* dans les agro-écosystèmes.

La reconnaissance de ce travail est attestée par une publication dans une revue internationale (« *Fruits* ») dont Babacar **THIOYE** est premier auteur, et par plusieurs présentations dans des colloques internationaux sous forme d'affiches ou de communications orales. De plus, une valorisation suffisamment rare mérite d'être mentionnée ; elle concerne la production de deux films de vulgarisation : un pour Arte France / CNRS Images et l'autre pour Sciences et Vie TV.

**En conclusion, cette thèse présente un travail remarquable, ayant fait appel à un large éventail de concepts et de méthodes, et répondant à une préoccupation de recherche forestière sur une espèce d'intérêt. Des résultats importants et de qualité ont été obtenus, ouvrant à l'évidence des perspectives de valorisation.**

### **APPROCHES DE MODÉLISATION POUR ÉVALUER ET COMPARER LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET SUR LA SANTÉ HUMAINE DES PESTICIDES UTILISÉS DANS DES SYSTÈMES DE CULTURE CONÇUS POUR RÉDUIRE L'USAGE DES PESTICIDES**

Thèse de Sabine Karen **YEMADJE LAMMOGLIA**<sup>1</sup>

Analysée par Christian **HUYGHE**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Enrique **BARRIUSO**, Directeur de thèse Inra.  
Co-encadrante de thèse : Laure **MAMY**, Ingénieur de recherche Inra.

Cette thèse, réalisée à l'Inra Grignon, sous la direction et l'encadrement d'Enrique Barriuso et Laure Mamy, s'inscrit pleinement dans l'ensemble des travaux de recherche visant à la mise en œuvre du plan Ecophyto et à l'objectif de réduction d'impact et d'usage des produits phytopharmaceutiques. Ce travail de thèse a pour objectif d'évaluer et de comparer les impacts sur l'environnement et sur la santé humaine des pesticides utilisés dans des systèmes de culture conçus pour réduire l'usage des pesticides, en tenant compte de la complexité des systèmes, de l'utilisation globale des pesticides, de la variabilité spatio-temporelle des conditions agro-pédoclimatiques et des principales sources d'incertitudes des modèles. Il se situe dans un contexte de production de grande culture, où l'intensification des productions avec une forte mobilisation des intrants chimiques et une augmentation de la productivité du travail s'est accompagnée d'une simplification des systèmes.

La grande originalité de ce travail de thèse réside dans l'utilisation de modèles mécanistes. Pour analyser l'impact sur l'environnement, c'est un couplage entre le modèle STICS (modèle qui stimule le fonctionnement des systèmes sol-plante-climat à l'échelle de la parcelle) et le modèle MACRO (modèle de simulation du devenir des pesticides) qui est utilisé. Pour l'analyse de l'impact sur la santé, c'est le modèle BROWSE (modèle qui évalue les risques liés aux produits phytosanitaires pour la santé humaine) qui a été mobilisé.

---

<sup>1</sup> Thèse soutenue et présentée le 19 décembre 2016. Université Paris-Saclay préparée à AgroParisTech : institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement. Ecole doctorale n° 581 Agriculture, Alimentation, Biologie, Environnement et Santé (ABIES), Spécialité de doctorat : Sciences de l'Environnement

<sup>2</sup> Christian HUYGHE, membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section (1) Productions végétales. Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

A partir de quelques situations de production représentatives des systèmes de production, tant en cultures d'automne que de printemps, différents scénarios de diversification ont été imaginés et simulés. La modélisation (à l'aide de modèles validés) et la simulation d'une diversité de scénarios sont en effet l'option la plus pertinente pour pouvoir prendre en compte la diversité des conditions de milieu et, en même temps, tester un grand nombre de systèmes culturaux.

Parmi les acquis de ce travail de thèse, il convient d'aborder de souligner l'importance des développements méthodologiques permettant le chaînage des modèles, les analyses de sensibilité à la fois à un grand nombre de pratiques agricoles et conditions de milieu (variabilité de sol, variabilité climatique), mais aussi aux paramètres des modèles.

Une analyse de sensibilité globale montre que l'apport de résidus organiques au sol et le travail du sol simplifié semblent être les pratiques qui, du fait de la modification du bilan hydrique et à l'interception du pesticide par le couvert végétal, entraînent une augmentation des flux d'eau et de pesticides vers les eaux souterraines.

Une autre production originale de ce travail a été de montrer que les incertitudes liées au sol, aux pesticides et aux pratiques agricoles avaient moins d'influence sur la prédiction des flux de pesticides vers les eaux souterraines que les incertitudes liées au climat. Ceci ne manquera pas de nous interroger sur les incidences du changement climatique, dont la première incidence est l'accroissement des variations interannuelles, mais aussi sur le danger des conclusions que l'on peut tirer des observations sur l'état du milieu, observations toujours conduites sur un petit nombre d'années et donc marquées par cette même dépendance.

Le modèle d'évaluation de l'exposition de la population aux pesticides (BROWSE) et d'estimation des risques pour la santé a montré que les systèmes innovants visant une réduction de 50 % de l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires) et les systèmes de culture privilégiant les techniques de désherbage mécanique permettent de réduire de façon significative les risques pour la santé par rapport aux systèmes conventionnels correspondants.

Ce travail bien évidemment ouvre un champ nouveau pour la recherche, l'innovation et la mise en œuvre des politiques publiques.

Pour la recherche, il est évidemment indispensable de poursuivre les développements méthodologiques, permettant d'améliorer la précision des résultats de simulation, sur les modèles utilisés dans cette thèse, de les comparer avec d'autres modèles disponibles et de comprendre les sources d'incertitude. Il sera également indispensable de coupler ceci avec les prévisions de production et de performance économique, et l'analyse des autres impacts environnementaux (biodiversité, émissions de gaz à effet de serre). L'exportation vers d'autres systèmes de production devra également être mise en œuvre. La prise en compte des caractéristiques des molécules pesticides devra également être approfondie.

En matière d'innovation, ces approches par simulation permettront de tester *ex ante* une grande diversité de systèmes de production, dans une grande diversité de milieux et de conditions de sols, et sous différents scénarios climatiques.

En matière de politiques publiques, ces approches présentent également un très fort potentiel, lors de l'homologation de molécules, mais dans l'élaboration d'alternatives, qu'il s'agisse des politiques en faveur de la diversification des cultures, de modalités de couverture des sols, de l'aménagement des paysages, ou encore pour le désherbage mécanique.

Cette thèse a fait l'objet d'une valorisation significative sous forme d'articles, certains publiés pendant la thèse elle-même, et par des présentations dans des congrès nationaux. Ceci souligne aussi la qualité de ce travail de thèse.

**INVASION DU CAPRICORNE ASIATIQUE *ANOPLOPHORA GLABRIPENNIS* :  
GÉNÉTIQUE, TRAITS D'HISTOIRE DE VIE ET ÉCOLOGIE**Thèse de Marion **JAVAL**<sup>1</sup>Analysée par Bernard **ROMAN-AMAT**<sup>2</sup>

Directeurs de thèse :

Alain **ROQUES**, directeur de recherche, Inra Centre Val de Loire, France.Géraldine **ROUX**, maître de conférences, Université d'Orléans, INRA Centre Val de Loire, France.**RÉSUMÉ DE LA THÈSE :**

## - Description

Cette thèse constitue le premier travail d'ampleur conduit en France sur le capricorne asiatique, originaire principalement de Chine, introduit pour la première fois en 2003. Cet insecte très polyphage, affectionnant notamment les peupliers, saules, érables et bouleaux, crée d'importants dégâts en zones urbaines et en plantations monospécifiques. Après une pullulation en Chine dans les années 1980, il a envahi les USA, le Canada et l'Europe (premier foyer en 2001). Le capricorne asiatique est espèce de quarantaine aux USA et en Europe.

La thèse s'appuie sur quatre articles parus ou en préparation, rédigés en anglais. Elle commence par une introduction situant le capricorne asiatique dans le contexte général des invasions biologiques.

La deuxième partie, correspondant à deux articles, étudie la dispersion du capricorne, en Europe et dans le monde, en analysant les variations de l'ADN mitochondrial et nucléaire.

La troisième partie étudie deux traits de vie importants de l'espèce sur la base de travaux de laboratoire : l'aptitude au vol (un article), la résistance au froid au stade larvaire (un article).

Elle tente à partir de dispositifs de terrain une estimation de l'impact écologique sur les populations natives d'insectes des zones envahies.

La thèse s'achève sur une discussion générale synthétisant les connaissances acquises, traçant des pistes pour des recherches futures et émettant quelques considérations en matière de méthodes de prévention.

## - Principaux résultats :

- Structure génétique des populations, voies et scénarios d'invasion. L'analyse d'un fragment d'ADN mitochondrial ne dégage pas de structuration génétique dans l'aire native, à l'exception de quelques populations de Corée et de Mongolie ; en Europe et aux USA, elle permet de conclure à des invasions multiples, d'origine anthropique, suivies de dispersion anthropique ou naturelle autour des premiers foyers installés. L'analyse du polymorphisme de l'ADN nucléaire à l'aide de 15 marqueurs microsatellites confirme la faible différenciation des populations de l'aire naturelle. La richesse allélique et le taux d'hétérozygotie observés sont globalement identiques dans l'aire naturelle et dans les zones envahies. L'étude permet

<sup>1</sup> Thèse préparée au sein de l'Unité de recherche de zoologie forestière de l'INRA Orléans ; école doctorale *Santé, Sciences Biologiques et Chimie du Vivant* de l'Université d'Orléans et soutenue à Orléans le 5 décembre 2017.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, secrétaire de la section 2, (Forêts et Filière bois).

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

d'établir des scénarios probables d'origine des différents foyers invasifs ; celui de Gien en France proviendrait d'une « tête de pont » aux USA.

- L'étude de l'aptitude au vol a été réalisée sur 18 individus en manège de laboratoire. La distance moyenne parcourue est de 4000 m pour les femelles et 2000 m pour les mâles. Bien que la majorité des vols couvrent moins de 1,5 km, quelques vols peuvent être beaucoup plus longs, conduisant certains individus à couvrir jusqu'à 14 km. Même s'ils fournissent des limites très hautes des capacités de vol du capricorne asiatique, ces résultats sont de nature à justifier une révision à la hausse des périmètres de protection établis autour des foyers d'invasion.

- La réponse au stress « froid hivernal » a été étudiée sur des larves au laboratoire par respirométrie sur le capricorne asiatique et un autre insecte du même genre, le capricorne des agrumes. Le stress appliqué, modéré, -2 à +2 °C, n'a affecté la capacité physiologique des larves d'aucune des deux espèces. Néanmoins, le capricorne asiatique exprime à conditions égales un taux respiratoire plus élevé que celui du capricorne des agrumes, ce qui est interprété comme l'indice d'une plus grande plasticité écologique. L'hypothèse d'une réponse au froid différenciée selon les populations natives ou introduites du capricorne asiatique n'a pu être testée expérimentalement.

- Les recherches sur l'impact écologique de l'invasion par le capricorne asiatique ont été conduites sur les populations natives de coléoptères xylophages dans deux sites français, un site d'invasion ancienne (12 ans, Loiret), l'autre d'invasion récente (2 ans, Corse). Ces travaux ont été non concluants.

La discussion générale souligne de nombreuses caractéristiques communes aux populations de l'aire d'origine et à celles des foyers invasifs. Elle met en évidence le rôle de l'homme dans la dispersion de l'espèce vers l'Amérique et l'Europe. Elle montre le faible nombre de méthodes de lutte actuellement disponibles et trace des voies de recherche qui permettraient d'améliorer la situation.

## ANALYSE DE LA THÈSE

Le sujet est très important, à la fois en raison de l'impact potentiel de ce capricorne très polyphage sur les arbres d'ornement et en forêt, et par sa contribution à une meilleure compréhension des invasions biologiques, d'insectes dans le cas particulier, pouvant déboucher sur des méthodes efficaces de prévention et de lutte.

La quantité de travail accomplie pendant la thèse est impressionnante : collectes dans l'aire naturelle chinoise, mise en place et suivi d'expériences au laboratoire et sur le terrain, participation à des réunions scientifiques internationales, rédaction de quatre articles.

S'intéressant à un sujet assez neuf, la thèse de Marion JAVAL couvre un très large spectre de sujets. Sur le plan scientifique, de préférence à un approfondissement mono- disciplinaire, elle se rattache volontairement à plusieurs disciplines : génétique des populations, physiologie, entomologie expérimentale, échantillonnage de populations naturelles d'insectes. La diversité des approches a parfois conduit la doctorante à utiliser des méthodes éprouvées mais rustiques qui ont révélé des limites non dépassables dans le temps imparti. Enfin, Marion JAVAL a eu à cœur d'aborder aussi des questions pragmatiques relatives aux dispositifs de prévention et de lutte face à cette espèce invasive.

Au total, la thèse de Marion JAVAL fait progresser les connaissances sur la biologie et sur la génétique des populations naturelles et invasives du capricorne asiatique à l'échelle mondiale. Elle réalise une description très complète de l'invasion en cours en France. Elle ouvre des perspectives d'approfondissement des recherches dans plusieurs domaines et présente des méthodes pragmatiques permettant d'améliorer la prévention et la lutte. C'est donc une thèse de qualité et d'une grande utilité pour les professionnels.

***INCENTIVE PAYMENTS FOR BIODIVERSITY CONSERVATION:  
A DYNAMIC AND SPATIAL ANALYSIS***

Thèse d'Emeline **HILY**<sup>1</sup>

Analysée par Jean-Luc **PEYRON**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : M. Serge **GARCIA**, Directeur de recherche Inra.  
Co-directrice de thèse : Mme Anne **STENGER**, Directeur de recherche Inra.  
Co-encadrant : M. Jean-Claude **GÉGOUT**, Professeur AgroParisTech.

Cette thèse porte sur les incitations économiques à la conservation de la biodiversité, qu'elle étudie des deux points de vue empiriques et théoriques en trois parties constituées chacune sur la base d'un article ou projet d'article.

La première partie se focalise sur les contrats Natura 2000 forestiers. Les plans de gestion correspondants apparaissent être de bonne qualité et constituer un cadre utile pour la protection et la conservation des espèces et habitats vulnérables. La thèse montre l'intérêt de favoriser la mise en œuvre de contrats par des bénéficiaires publics lorsque la pression foncière est forte. Les propriétaires privés ne peuvent supporter les mêmes coûts d'opportunité que les gestionnaires publics mais pourraient également contribuer à la conservation de la biodiversité si les contrats étaient mieux calibrés. En effet, les contrats tendent aujourd'hui à favoriser des projets peu ambitieux (associés à un faible manque à gagner), donc à faible additionnalité. Or, les résultats montrent également que la conservation de la biodiversité est caractérisée par des rendements d'échelle croissants et qu'il y aurait donc intérêt à envisager l'établissement de contrats beaucoup plus ambitieux, par exemple portant sur la conservation de plusieurs habitats ou espèces pour autant que ces multiples dimensions soient compatibles entre elles.

La seconde partie s'attache à définir des contrats pour la conservation de la biodiversité qui soient différenciés selon les espèces et tiennent compte du caractère inobservable et hétérogène des coûts et bénéfices de la conservation. Elle met en perspective deux cadres d'hypothèses : l'un dit « à valeur commune » dans lequel l'information disponible (sur les coûts et avantages de la conservation de la biodiversité) est supposée la même pour tous ; l'autre dit « de sélection adverse » tient compte du fait que l'information d'une agence de financement n'est pas la même que celle du propriétaire forestier. La thèse montre que les contrats élaborés sous l'hypothèse d'une valeur commune tendent à être plus performants, notamment lorsque les bénéfices de la conservation ne sont ni exceptionnels ni faibles, ou encore lorsque le contrat concerne une espèce rare.

La troisième partie s'interroge sur les incitations en faveur de la biodiversité dans un contexte de changement climatique. Il s'agit d'une première réflexion conceptuelle qui laisse cependant présager que des paiements effectués uniformément au bénéfice des propriétaires qui prennent des mesures en faveur de la biodiversité sont peu efficaces relativement aux cas où les interventions ciblent des propriétaires mettant en place des mesures effectives en faveur d'une espèce présente sur leur propriété ou à proximité, ou bien sont différenciées selon la vulnérabilité au changement climatique.

Cette excellente thèse se place dans un contexte forestier mais produit des résultats dépassant largement le cadre de la forêt. Elle repose largement sur les théories économiques des jeux et des contrats dans un contexte d'asymétrie d'information et des modèles de type principal-agent. Elle n'en constitue pas qu'une application mais aborde aussi des questions peu analysées jusque-là, notamment au niveau de sa deuxième

---

<sup>1</sup> Thèse présentée et soutenue le 3 juillet 2017 à Nancy, pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences économiques. Ecole Doctorale Sciences Juridiques, Politiques, Economiques et de Gestion, Université de Lorraine.

<sup>2</sup> Membre titulaire de l'Académie d'agriculture de France, section 2, (Forêts et filière bois)

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

partie. Elle appartient à une discipline notoirement peu développée en matière forestière. Elle se situe globalement à un niveau conceptuel, mais laisse percer la volonté forte d'aborder des questions cruciales pour les politiques publiques relatives aux services écosystémiques et paiements pour services environnementaux.

## CONSERVATION DES COMMUNAUTÉS DE PAPILLONS DE JOUR DANS LES PAYSAGES FORESTIERS HÉTÉROGÈNES : EFFETS DE LA QUALITÉ, DE LA DIVERSITÉ ET DE LA FRAGMENTATION DES HABITATS

Thèse de Inge **Van HALDER**<sup>1</sup>

Analysée par **Yves LESGOURGUES**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Hervé **JACTEL** Directeur de recherche Inra Bordeaux.

Co-directeur : Luc **BARBARO** Chargé de recherche Inra Bordeaux.

### 1. RÉSUMÉ DE LA THÈSE :

Les papillons sont des espèces emblématiques des études relatives à la conservation de la nature et sont considérés comme indicateurs de choix en matière de biodiversité.

En France, ils n'ont fait l'objet que de rares études au sein des grands ensembles forestiers, singulièrement en « forêt de plantation ».

D'après van Swaay (2006), cité dans la bibliographie, le déclin des populations de papillon sur les 25 dernières années serait de 14%. Par ailleurs 9% des papillons identifiés en Europe sont sur la liste Rouge des espèces en danger.

La thèse candidate a été réalisée « au long cours », Madame Van Halder travaillant à l'Inra depuis de longues années (premières communications sur le sujet en 2005).

Elle se propose d'étudier la répartition des papillons diurnes dans les « paysages forestiers » du massif landais consacré au pin maritime.

Le paysage récurrent de la forêt cultivée dans une zone de la grande lande a été décrit à travers ses diverses composantes : plantations de pins (segmentées en : coupes rases herbacées, coupes rases arbustives, jeunes peuplements de pins, peuplements de pins d'âge moyen et pins âgés), lisières, îlots de feuillus, ripisylves et pare-feux.

Dans la première étude, 83 parcelles rangées dans les types d'habitat identifiés ont fait l'objet d'un échantillonnage précis et de comptages. Les différentes variables retenues ont été traitées par analyse canonique des correspondances (ACC) partielles et par la méthode Indval.

Au total, 44 espèces de papillons ont été observées.

Les résultats montrent l'importance des milieux semi-naturels (îlots feuillus, ripisylves, pare-feux) dans les paysages dominés par les plantations de pins.

Cependant nombre de papillons, y compris une espèce menacée comme le Fadet des Laïches (*Coenonympha oedipus*) ont été détectés au sein des peuplements de pins bien qu'en quantité moindre que dans les milieux ouverts ou les pare-feux.

D'autres études, basées sur le même principe d'échantillonnage, mais aussi d'autres méthodes statistiques, montrent ensuite l'importance des lisières au sein desquelles on trouve quelques espèces spécifiques, les

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, préparée dans le laboratoire Biogeco, Inra, Université de Bordeaux 33610 Cestas (Fce), soutenue le 06-01-2017 à Bordeaux, dans le cadre de l'École doctorale Sciences et Environnements (Pessac, Gironde), en partenariat avec BIOdiversité, GENes et Communautés (Bordeaux).

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 2, (Forêts et Filière bois).

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

autres « naviguant » au sein de plusieurs habitats en fonction des ressources alimentaires qui s’y trouvent et des conditions climatiques du moment. L’importance des pare-feux, milieux ouverts, est encore soulignée.

Dans les ripisylves, on trouvera plus d’espèces sédentaires, de plus grande taille ; dans les boisements de pins, la composition en plantes-hôtes dans le sous-bois semble un facteur essentiel pour la survie des papillons de jour.

Dans la dernière partie (« Discussion ») l’auteure récapitule les principaux résultats de ses recherches adossées à une vaste bibliographie.

Elle s’interroge sur les recommandations à formuler pour conserver les papillons dans les plantations de pin, effleure les questions relatives à la certification (p178) et rappelle les dispositions mises en place dans les aides d’Etat visant à la reconstitution des forêts après la tempête de 2009 (clause « diversification »).

Enfin elle consacre quelques pages aux perspectives ouvertes par le travail qu’elle a effectué.

## 2. ANALYSE DE LA THESE

Le travail de Mme Inge Van Halder présente un intérêt certain, notamment en ce qui concerne les aspects suivants :

### - **Méthodologie :**

L’approche par la structure paysagère des forêts de pin maritime, réputées monospécifiques et abritant très peu de biodiversité, nous paraît intéressante, d’autant qu’elle est assortie d’une réflexion préalable bien documentée.

Par ailleurs, l’échantillonnage important réalisé dans les différents compartiments identifiés, ainsi que la variété des méthodes statistiques utilisées, donnent une assise scientifique certaine à l’ensemble du travail réalisé. Enfin la profusion des références bibliographiques illustrant chacun des chapitres témoigne d’un gros travail de documentation couvrant plusieurs années et susceptible de faire gagner un temps précieux à tous ceux qui s’intéressent au sujet.

### - **Résultats :**

L’identification au cours des diverses prospections d’une quarantaine d’espèces de papillons diurnes évoluant en milieu forestier « de lande » constitue un premier résultat intéressant pour les non-spécialistes et les bureaux d’études spécialisés en environnement. En effet, les études d’impact que l’on lit au travers des enquêtes publiques concernant les défrichements ou les implantations d’équipements collectifs ne mentionnent en général que l’espèce « Fadet des Laïches (*Coenonymphio oedipus*) » alors que bien d’autres espèces seraient à répertorier.

L’autre enseignement que l’on peut tirer à partir de cette relative abondance d’espèces est que la forêt de pin maritime est loin d’être fermée aux papillons de jour et que, dans certaines conditions elle peut même constituer un habitat intéressant pour de nombreux individus.

S’agissant des lisières, des flots feuillus au sein des parcelles de pins ou des ripisylves, la démonstration de l’intérêt que leur portent les populations de papillons n’est pas une véritable surprise ; plus novateurs semblent les résultats concernant les pare-feux qui se révèlent comme un support de choix pour le développement de ces populations. L’auteur a raison de s’interroger sur les pratiques de Défense des Forêts Contre les Incendies en Aquitaine (DFCI) actuelles qui abandonnent les pare-feux « traditionnels », pouvant faire jusqu’à 100 m de large, pour ne conserver que des pistes d’un emprise totale n’excédant pas 20 m, fossés compris.

Les résultats exposés dans le chapitre 4.1 montrent que la présence de papillons au sein des peuplements de pins dépend beaucoup de la nature du sous-bois et de la diversité d’espèces qui s’y trouvent. Sur un autre plan l’auteure semble dire que le raccourcissement des cycles en pin maritime ne poserait pas de problème majeur quant à la densité des populations de papillon.

Voilà des assertions qui devraient enrichir le débat actuel sur les nouvelles modalités de conduite des peuplements de pin maritime, suite à la tempête de 2009 (200 000ha reconstitués après le sinistre...)

S’agissant enfin des exigences de la certification (p 178) l’auteure s’interroge à demi-mot sur le contenu des préconisations et l’effectivité des modalités de contrôle. L’examen attentif du nouveau cahier des charges du système de certification forestière (PEFC) pour la Nouvelle Aquitaine (Août 2017) montre que l’essentiel des recommandations de Madame Van Helder concernant les lisières feuillues, ainsi que les ripisylves, y figurent. Il restera probablement à réfléchir sur les modalités optimales de réalisation des travaux de débroussaillage tenant compte des dernières avancées de la recherche sur les systèmes racinaires et la biodiversité (*cf.*, en particulier certains résultats de la thèse examinée).



En conclusion, le travail de Madame Inge Van Halder, en raison de son intérêt scientifique, de sa contribution à une meilleure compréhension de la notion de biodiversité en forêt cultivée de pin maritime et de sa présentation, mérite d'être valorisé par la mise sur le site de l'Académie de l'analyse de sa thèse.

## MESURER ET COMPENSER L'IMPACT DE L'ÉOLIEN SUR LA BIODIVERSITÉ EN MILIEU AGRICOLE

Thèse de **Kévin BARRÉ**<sup>1</sup>

Analysée par **Christine KING**<sup>2</sup>

Directeurs de thèse : Christian **KERBIRIOU** (MC, UPMC), Isabelle **LE VIOL** (MC, MNHN) et Romain **JULLIARD** (Pr, MNHN).

### ▪ **Contexte :**

Malgré l'accroissement des espaces protégés, la consommation d'espaces se poursuit sous l'effet de nombreuses pressions anthropique ou climatiques. Parmi elles, les projets d'aménagement du territoire sont reconnus comme une des sources importantes d'érosion de la biodiversité.

En France, pour contribuer à la réduction des pertes globales de biodiversité, les obligations des aménageurs sont d'intégrer les enjeux de biodiversité dès la conception des projets en appliquant la séquence réglementaire « Eviter, Réduire, Compenser » (MEDDE 2012). Mais pour anticiper la compensation des impacts, deux difficultés demeurent : nombre de ces impacts sont méconnus ou ignorés, et l'évaluation de l'impact souffre de manques théoriques qui se traduisent par une variabilité dans la qualité des études réglementaires.

### ▪ **Question scientifique et buts de la thèse :**

Cette thèse d'écologie de la conservation a une visée clairement appliquée : **Comment enrayer les pertes de biodiversité engendrées par les parcs éoliens terrestres, sachant que la faune volante (avifaune et chiroptères) est la plus affectée, avec des populations d'espèces en fort déclin ?**

L'éolien occupe une place importante dans le déploiement en cours des énergies renouvelables : et devrait devenir l'un des plus grands contributeurs d'électricité renouvelable d'ici à 2020. Or **l'éolien est un cas typique d'une difficulté d'application de la séquence ERC** : son impact est systématique et se produit en **phase post-construction**. Dans le cadre d'une application rigoureuse des mesures ERC, ses externalités environnementales peuvent donc s'avérer problématiques et seront amplifiées par la forte croissance et donc l'emprise au sol de ces équipements.

**Le but de cette thèse est de produire des éléments concrets et quantifiés afin de proposer des mesures de compensation écologique à l'implantation d'éoliennes, permettant à la fois de minimiser les pertes nettes de biodiversité et d'être acceptables par la profession agricole.**

- ### ▪ **Structure de la thèse :** quatre parties comprennent respectivement une introduction générale de 32 p ; un premier chapitre de 85 p composé d'un article soumis et un en révision mineure (en anglais) et consacré à quantifier l'effet répulsif des éoliennes sur les chiroptères ainsi qu'une discussion spécifique; un second chapitre de 160 p composé de trois articles en anglais (deux acceptés et un en révisions)

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat réalisée au MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE pour le grade de docteur du MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, Spécialité : Ecologie, présentée et soutenue publiquement le 11 Décembre 2017

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 7 (Environnement et territoires).  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

destiné à analyser les effets des mesures compensatoires à l'éolien *via* des changements de pratiques agricoles, incluant également sa propre discussion ; enfin une discussion générale de 24 p suivie d'annexes.

- **Résultats :** Les résultats du travail de la thèse sont présentés sous forme de manuscrits en anglais (un soumis et un en révision mineure en premier auteur, ainsi qu'un autre en révision en deuxième auteur), d'un article en premier auteur publié dans *Ecology and Evolution*<sup>3</sup> et d'un autre publié dans *Agriculture, Ecosystems and Environment*<sup>4</sup>.
  - Avec la mise en évidence pour la première fois d'un effet négatif à longue distance très marqué des éoliennes sur des espèces de chauves-souris, l'auteur apporte des résultats importants en termes de l'impact des éoliennes sur l'utilisation des habitats par les chauves-souris. Les distances de répulsion des éoliennes semblent très élevées et ce résultat montre les limites des préconisations actuelles.
  - La thèse souligne bien l'impact du labour et des herbicides sur les abondances de chauves-souris et d'oiseaux en parcelles agricoles. L'analyse des effets des mesures compensatoires à l'éolien *via* des changements de pratiques agricoles apporte une réponse à des questions immédiates des gestionnaires : les effets des éoliennes peuvent devenir «compensables» si on se base à la fois sur l'implantation d'infrastructures agro-écologiques (haies, taux de boisement dans le paysage, dynamique forestière à long terme) et sur des modifications de pratiques agricoles, comme la simplification du travail du sol, aussi bénéfique mais plus acceptable que la mise en jachère, notamment en contexte hautement productif.
- **Qualités de la thèse :**
  - L'état de l'art sur la protection ou la restauration de la biodiversité montre bien les insuffisances des espaces protégés pour enrayer des déclinés globaux et la nécessité de se focaliser sur les 88% d'espaces non protégés, où se jouent déjà les effets de la PAC.
  - Les choix expérimentaux proposés tiennent compte des difficultés soulevées par l'évaluation des impacts, connus ou méconnus, mais aussi par l'efficacité des solutions d'évitement et de réduction, ou par la réalité de l'existence de compensation. Des dispositifs ambitieux et bien pensés ont permis l'acquisition de données de qualité, dont la rigueur du traitement statistique des données est saluée.
  - La thèse explore un faisceau de méthodes constructives pour améliorer la prise en compte de la biodiversité dans les projets de parcs éoliens, optimiser l'évitement d'une partie des impacts, proposer des alternatives favorisant les gains écologiques ainsi que jouer sur les leviers et synergies potentiels pour la majorité des systèmes agricoles concernés par ces équipements. La description des paysages et les choix d'échelle d'évaluation d'impact sont abordés et introduits à ce niveau.
  - La thèse apporte des applications très concrètes et tente de réconcilier la production agricole avec la conservation de la biodiversité notamment sur les paysages agricoles intensifs (**actuellement 38.5% de l'occupation du sol continental à l'échelle internationale (FAO 2011)**).
  - **En résumé** le talent de naturaliste de l'auteur, ses qualités pour le travail de terrain, ses compétences pour l'analyse de données et une solide culture scientifique ont permis des résultats scientifiques de qualité et permettent d'avancer de manière concrète sur des questions de conservation. Les pistes proposées pour la quantification des impacts et leur compensation sont prometteuses et possèdent des limites bien argumentées, que ce soit pour intensifier les efforts de conservation dans les espaces productifs ou pour optimiser l'implantation d'éoliennes en milieu agricole.
- **Rappel de la position du jury :** félicitations orales pour la qualité et la quantité de ses travaux.

<sup>3</sup> BARRE K., LE VIOL I., JULLIARD R., CHIRON F. et KERBIRIOU C., 2017. – Tillage and herbicide reduction mitigate the gap between conventional and organic farming effects on foraging activity of insectivorous bats. *Ecology and Evolution* 1–11. doi:10.1002/ece3.3688

<sup>4</sup> BARRÉ K., LE VIOL I., JULLIARD R. et KERBIRIOU C., 2018. – Weed control method drives conservation tillage efficiency on farmland breeding birds. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 256, 74–81. doi:10.1016/j.agee.2018.01.004

Copyright Académie d'agriculture de France, 2018.

## LA RÉVOLUTION DES AGRICULTURES AFRICAINES SAISIE PAR SES MARGES : CONCENTRATIONS ET DELAISSEMENTS AU NORD DU MOZAMBIQUE

Nelly **LEBLOND**<sup>1</sup>

Présentée par Gérard **CHOUQUER**, Section 4, Sciences humaines et sociales

### RÉSUMÉ

A la fin des années 2000, de nombreux États africains ont adopté de nouvelles politiques agricoles dans le cadre du *Comprehensive Africa Agriculture Development Programme* (CAADP, Carte 1). Elles promeuvent l'intensification des rendements et de la commercialisation agricole ainsi que l'accroissement des investissements publics et privés dans les producteurs et les espaces les plus prometteurs. J'explore les effets de ces politiques agricoles à partir du Nord du Mozambique, un espace marginal ciblé par un corridor de développement. Cet espace largement peuplé et cultivé fait l'objet de nombreux projets de développement et d'investissement (Carte 2). Bien que la matérialisation de ces derniers soit inférieure aux annonces, ils concentrent les ressources et ont accru les tensions. Les habitants ont non seulement perdu des terres au profit d'investisseurs privés mais encore des financements, redirigés vers ces premiers et vers les membres du parti au pouvoir. Les administrations s'appuient sur l'hétérogénéité foncière - tant juridique, que vécue - pour faciliter les investisseurs et les dédouaner de contreparties. Les projets d'intensification agricole sont captés par des élites économiques et politiques et les producteurs les plus vulnérables s'en retrouvent exclus. *In fine* les interventions ont participé à accroître les violences structurelles et directes et à raviver des clivages hérités de la guerre civile. Il apparaît alors crucial de documenter les effets de la révolution des agricultures africaines à partir de ses marges, en s'intéressant tant aux espaces ciblés qu'à ceux délaissés.

### ***THE AFRICAN AGRICULTURAL REVOLUTION FROM ITS MARGINS: CONCENTRATION AND RELEGATION IN NORTHERN MOZAMBIQUE***

### **ABSTRACT**

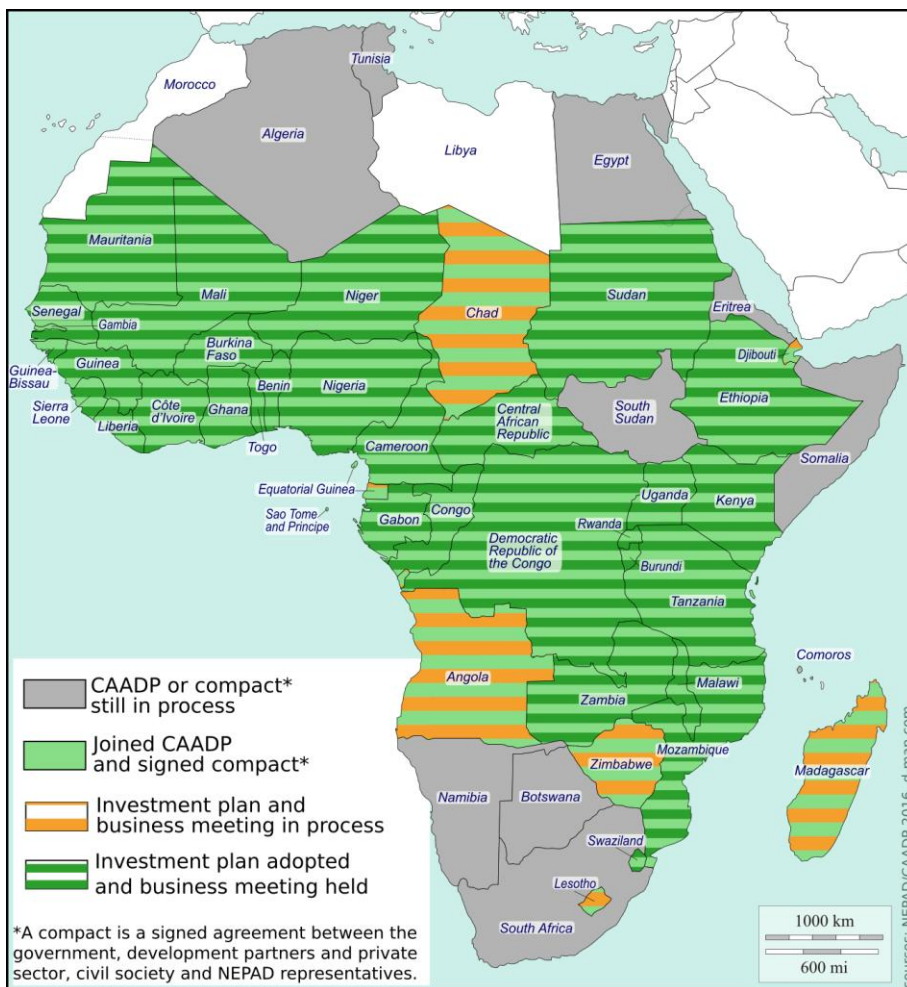
*At the end of the 2000s, numerous African States adopted new agricultural policies and initiatives promoting food production and security. The Comprehensive Africa Agriculture Development Programme (CAADP, Map 1) has been one of the most ambitious intervention, pushing for increased agricultural productivity and calling for private and public investments to focus on the most promising spaces and farmers. Its effects on the ground are assessed based on the case of Northern Mozambique, a marginal space targeted by a development corridor and several investments (Map 2). I document how the interventions have concentrated on certain spaces and farmers and forsaken others. The mismatch between the expectations and the materializations has fed tensions between inhabitants,*

---

<sup>1</sup> [Nelly.leblond@univ-montp3.fr](mailto:Nelly.leblond@univ-montp3.fr), ANR De Terres et d'Eaux (ANR-12-AGRO-0002), UMR ART-Dev, Université Paul Valéry, Site Saint Charles, Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5.

investors and administrations, both in invested and neglected spaces. Documenting the African agricultural revolution from its margins shows how structural and direct violence emerge from interactions with contemporary politics and previous exclusions.

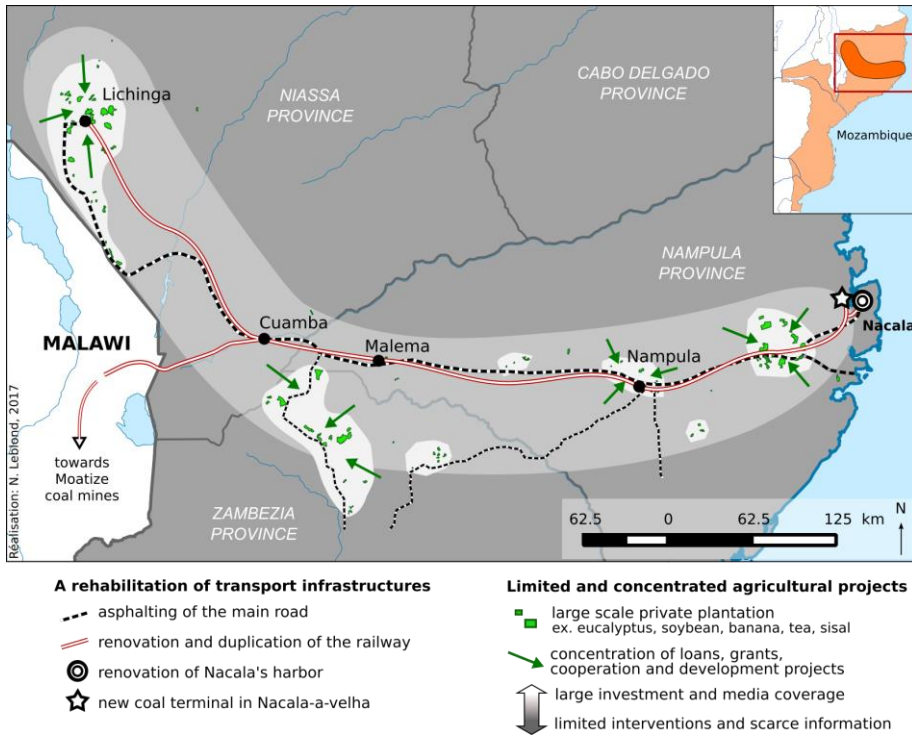
### Figures



Carte 1 : Etat de l'adoption du *Comprehensive Africa agriculture Development Programme* (CAADP) par les gouvernements africains en décembre 2016.

Map 1 : Adoption of the CAADP framework by African governments in December 2016.

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE



Carte 2 : Le corridor de Nacala, une périphérie inégalement ciblée par de nombreux projets d'investissement et de développement

Map 2 : The Nacala Corridor, a periphery unequally targeted by numerous investment and development projects

#### *A new wave of policies and initiatives to transform African Agricultures*

In the late 2000s, following several decades of neglect of African agricultures, a new wave of interest for food production and security emerged among international institutions, development agencies, private corporations and African States. Several platforms, alliances, and policy initiatives have been set up such as the Comprehensive African Agricultural Development Program (CAADP), the New Alliance for Food Security and Nutrition (NAFSN) and the Alliance for a Green Revolution in Africa (AGRA). The CAADP process was joined by 43 African States, and over 30 of them adopted new agricultural policies and investment plans (Map 1). CAADP claims it will considerably increase public and private investment in farming and farmland in the next decade. It is heavily supported by major financial institutions. Its four pillars are: 1. Extending the area under sustainable land management, 2. Developing rural infrastructure to improve market access, 3. Increasing agricultural productivity, 4. Improving agricultural research systems and dissemination. To maximize the efficiency of interventions, it promotes focusing on the best lands and farmers. Its advocates describe it as the "most ambitious and comprehensive agricultural reform effort ever undertaken in Africa".

Simultaneously, critical scholars envision this massive agricultural reform or revolution as a coup for corporate capital and a way for dominant international institutions and private investors to consolidate their position in the world food regime (McKeon 2014; McMichael 2012). The discourse and initiatives promoting the doubling of food production and the intensification of agriculture have been analyzed as “productionism”, a paradigm legitimizing institutions such as FAO, and silencing questions of food access and unequal distribution (Bricas et Daviron 2008). Private foundations and corporations have actively promoted private investments in farming and farmland and pushed specific spatial forms such as agricultural clusters and development corridors (Binet 2014). The adoption and adhesion of African States to these liberal interventions and policies has been understood as an internalization of the aid regime’s conditionality in order to access critical resources (Fouilleux et Balié 2009; Leblond 2017a). Joining the CAADP enabled African elites to promise development and tap into agricultural populism while securing external funding. Yet the effects of this new wave of interventions remain under-documented.

The transformations induced by the CAADP and the concomitant green revolution are difficult to grasp for at least three reasons. First, these interventions have been embedded in an evidence base framework functioning as an anti-politics machine. It posits them as solely technical and focuses on aggregated indicators denying the socio-political dimensions of the initial and final situations. Thus it eclipses the processes and the impacts at stake. In Rwanda however, independent research documented how crop intensification programs were increasing social inequalities and failed to support worst-off farmers (Cioffo, Ansoms, et Murison 2016). Second, the land grab controversy generated a high media coverage blurring the scarcely documented question of hectares really invested, number of people dispossessed, and resources and competences truly transferred. Understanding the importance of investments and their effects on food production and security became delicate. Third, rural transformations and policy consequences are hardly the results of a specific intervention. They are shaped by long term histories and interactions with preexisting farming and food systems, as well as with other elements such as decentralization policies and economic contexts. Thus rapid and standardized appraisals are insufficient to estimate consequences and to devise causal links.

To question the effects of the African green revolution, I conducted fieldwork in Northern Mozambique. Mozambique adopted a Strategic Plan for the Development of the Agricultural Sector (PEDSA) in 2011 and a joint Investment Plan (PNISA) in 2013. Both are aligned with the CAADP pillars and represent a major commitment to agriculture, their provisional budget approaching 3.4 billion US Dollars. They foster public and private investments along six development corridors. Between 2012 and 2017, I conducted several hundreds of interviews and observations with farmers, administrations and investors in the Nacala corridor, during four fieldworks totaling a year.

#### **The North Mozambican margin**

Northern Mozambique is often pictured as a fertile and under-occupied space and thus as a good target for an agricultural revolution (Map 2). However, in 2017, over 10 million people lived in the area. Makuwa inhabit most of the Nacala corridor, yet they have stood at the margin of the colonial and postcolonial States. Northern Mozambique was scarcely explored by the Portuguese when it was granted to them in the 1890s (Pélissier 1984). Until the 1930s, most of it was conceded to a chartered company while the rest remained a military territory under Portugal’s rule. Though the chartered areas were reintegrated to the colony in 1929, they remained a frontier for the colonial State. With few settlers and scarce infrastructure, northern Mozambique was exploited through a forced cotton regime, obliging the African inhabitants to grow cotton on their land (Isaacman 1996). Some of them fled to avoid cotton cultivation while others took part in the liberation struggle. The latter led to independence in 1975, to the rise of the Mozambican Liberation Front (FRELIMO) to power, and to the departure of most of the European settlers. A civil war rapidly opposed the army and the FRELIMO to a guerilla movement, the Mozambican National Resistance (RENAMO). Initially

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

---

*funded by external forces, RENAMO later gained internal support as it held out an escape from FRELIMO's socialist and modernist policies (Geffray 1990). Northern Mozambique was deeply devastated by these wars, displacing hundreds of thousands of inhabitants. The 1992 peace accords led many to regain their area of origin, to the recognition of RENAMO as an opposition party, and to the disarmament of most of the soldiers. However, northern Mozambique remained at the margins of the State apparatus and of the economy (Cahen 1994).*

*Northern households occupy the bottom of the pyramid, gaining 88 USD/month on average, versus 168 USD/month nationally and 856 USD/month in the capital city. In the Nacala corridor, households simultaneously grow, sell and buy corn, the main staple crop, while planting cash crops such as cotton, tobacco, and sesame. They cultivate 1.1 ha on average and generate the bulk of agricultural production. Concurrently, they engage in a variety of activities, such as artisanal mining, carpentry, masonry, and formal employment in administrations. Inhabitants are highly mobile, circulating between cities and rural areas to access job opportunities and other resources. Consequently, land is at the same time a resource for farming, hunting, grazing, foraging, extracting mineral and clay, a medium where houses can be built, children left to their grandparents, and ancestors celebrated, as well as a safety net, where to find shelter and subsistence in difficult times.*

*Though all the land is legally owned by the Mozambican State, individual and community uses are recognized and protected by the 1997 land law. They dominate since commercial farms remained limited in the colonial and postcolonial period, reaching 400 000 ha at most, i.e. less than 1.4% of northern Mozambique. Recent decrees formalized "Community Consultations", legal steps whereby a community can accept or refuse an investor's demand for a land title and negotiate counterparts. They also introduced "Local Consultative Councils", composed of local administrations, FRELIMO secretaries, authorities and influential members of the community. They are legal representatives of "local communities", though the latter rarely consider themselves as such and recognize instead some family members as land chiefs.*

*Not only did the new agricultural policy and its promoters have to deal with this long term history and features of the Nacala corridor, they also had to face a specific context. In the 2010s, most of the NGOs and development agencies that had heavily supported the Northern provinces after the civil war had disengaged. The stalling of these external resources led rural inhabitants and farming associations to look for other partners, including investors. Simultaneously, Maputo-based and local officials acted as development brokers, using their positions and clientelistic networks to benefit from the implantation of investment and development projects (Fairbairn 2013). This often happened at the expense of the majority of the rural inhabitants. It fueled a land grab crisis, which in return launched a coalition of Mozambican and international NGOs, highly critical of private investments in agriculture. It blocked several public and private projects.*

*In addition, attacks between FRELIMO-dominated-government forces and armed RENAMO members resumed in 2013, preceding the presidential and legislative elections, and continued until 2017. It deterred corporations and cooperation agencies from investing. The economic situation further collapsed in 2015 when a major secret debt was turned public, leading the IMF and the World Bank to suspend their support to Mozambique and to the depreciation of the Mozambican metical. Certainly this situation was not accounted for by the African green revolution, nor was it its aim to address it. Nonetheless, interventions interacted with the exclusion legacy and with the short term economic difficulties and political upheavals.*

### ***Neglecting most of the rural space and concentrating resources***

*Though the Nacala corridor and its fertile lands were advertised as an opportunity for agricultural projects, most of the investments materialized in the renovation of the railway for coal exports, the asphaltting of the main road and the expansion of the harbor (Map 2). "Integrated Development" and "Increased access to markets" appeared as two narratives facilitating*

conventional infrastructural investments. They sidelined remote rural areas and were locally perceived as threats. Inhabitants' houses and fields were displaced to build roads and rails. Their livelihoods were jeopardized with the suppression of ancient train stops. Last but not least, their spending power was curtailed as prices soared with the arrival of an external workforce and the collapse of the metical. The "development corridor" was endogenously renamed the "disgraceful corridor".

Comparatively, few agricultural corporations settled in the region, and most of them focused on ancient colonial and state farms. These were often already cultivated but their legal is ambiguous. Inhabitants occupying them in good faith for at least 10 years could claim them, but administrations frequently refuse to grant individual land use rights on these plots. In addition, some inhabitants and civil servants reckon plots cleared by white settlers as "white lands" and consider exogenous claims are more legitimate than endogenous ones. Thus investors benefitted from heterogeneous land status and representations to access the most fertile and best located land<sup>10</sup>. Consequently, they suppressed previous activities rather than bringing unused land into production. As they offered limited employment opportunities and modest compensations, benefits for inhabitants were reduced.

Simultaneously, the public and private resources allocated to the African green revolution prioritized the most fertile spaces, the brightest and strongest farmers as well as a couple of promising value chains. Funds were channeled towards a few Mozambican and foreign projects, neglecting the peripheral areas and the precarious producers. For example, several farmers and associations supported by NGOs in the late 1990s failed to benefit from the Agricultural Development Fund (FDA), from the Rural Markets Promotion Programme (PROMER) or from the Agribusiness Promotion Programme (Finagro). With rarer financial counterparts than private corporations, less appealing business plans, and weaker clientelist potential, their demands were easily dismissed. Several foreign investors secured grants and loans for new machinery while neighboring associations were left unfunded. In other places, administrators channeled grants towards relatives or negotiated retro-commissions, diverting the money away from agriculture. Producers often felt "betrayed" by development partners and by administrations "invoking the name of the peasant" to capture funds for other purposes.

From an agricultural and a spatial point of view, the new agricultural policy and the concomitant projects restored the dualism between a "useful" and a "useless" Africa. The former is close to infrastructures, comprises a few large farms, and is well connected to national political elites and external opportunities. On the contrary, the latter is a grey space inhabited by less-capitalized producers, excluded from the access to major services and from resources' redistribution. Modern plantations and new value chains are often showcased by journalists and researchers, while grey spaces are largely ignored. Though they remain key to food production and consumption and interact through land, worker and cash transfers, they disappear from the dominant representations. Thus the current agricultural revolution contributes to reviving and increasing territorial disparities instead of homogenizing them.

#### **Increasing tensions and reviving political oppositions**

The technical and modernist bias of the African green revolution failed to address power asymmetries and fed tensions in Mozambique's northern periphery. Most of the private investors organized community consultations with the help of land registers and local administrations. Yet these

<sup>10</sup> I thank G. Chouquer for sharing with me a draft of his chapter entitled « Persistence et renouveau de l'hétérogénéité agraire » extracted from his upcoming book on land tenure expertise. He argues legal and territorial heterogeneity are persistent through time and are currently resurging, and drew my attention to these questions.



## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

---

consultations often occurred without the projects being clearly presented to the inhabitants nor their expectations being formalized. This led to numerous complaints, systematically turned down by the administrations. Thus, several Makhuwa inhabitants compared the State and the government to a colonial power and to a “god of land”, unilaterally and irrevocably disposing of land. Local Community Councils were also heavily criticized, especially FRELIMO secretaries and main land chiefs, for receiving direct benefits from investors and covertly signing official documents. In some cases, chiefs were dismissed and chased by their own families. Simultaneously, agricultural prices remained low as projects and policies did not tackle the limited negotiation capacity of producers nor enforced minimum prices. It left producers with the feeling they were being abused by private buyers and accomplice authorities, and that Makhuwa lives and harvests had no value.

The relegation of the poorest, the most remote, and the less politically aligned inhabitants led to a regain of structural and direct violence in northern Mozambique. Convinced that administrations and FRELIMO members diverted agricultural and decentralization funds, numerous inhabitants refused to submit themselves to civic duties such as building schools, cleaning roads, paying taxes or complying to laws (Leblond 2017b). They increasingly resorted to weapons of the weak such as public denunciations, sorcery attacks, and lynching. In this context, RENAMO opposition discourses and its soldiers reoccupying former military bases became attractive. On several occasions, inhabitants supported them, hiding and feeding soldiers, while taking-up their warmongering rhetoric. Far from resorbing the marginality of North Mozambique, the African green revolution reinvigorated past tensions and weakened the legitimacy of the State for many inhabitants of the Nacala corridor.

### Conclusion

In northern Mozambique, the interventions promoted by the African green revolution led to a concentration of private and public resources on the most fertile lands and in the hands of political and economic elites. Simultaneously they generated grey areas, relegating the majority of inhabitants and of rural spaces. Similarly, interventions focused on “successful farmers” and “increasing water efficiency” marginalized poorest villagers in the West Bank (Trottier et Perrier, 2017). These observations converge with the idea that contemporary interventions draw on, and fuel, legal and lived socio-spatial heterogeneities. Though the specificities of the Mozambican margin prevent further generalizations, this case study highlights the importance of documenting long term political histories and geographies of peripheral rural areas to grasp the meaning and the effects of the agricultural “revolution”.

### Bibliography

- (1) BINET N., 2014. - Le rôle des entreprises et des fondations privées dans la gouvernance mondiale agricole et alimentaire. *Mondes en développement*, **165**, p. 23-36.
- (2) BRICAS N. et DAVIRON B., 2008. - De la hausse des prix au retour du “productionnisme” agricole : Les enjeux du sommet sur la sécurité alimentaire de Juin 2008 à Rome. *Hérodote*, **131**, p. 31-39.
- (3) CAHEN M., 1994. - Mozambique, histoire géopolitique d’un pays sans nation. *Lusotopie*, **1**, p. 213-266.
- (4) CIOFFO G.D., ANSOMS A., et MURISON J., 2016. - Modernising agriculture through a ‘new’ Green Revolution: the limits of the Crop Intensification Programme in Rwanda. *Review of African Political Economy*, **43**, p. 277-293.
- (5) FAIRBAIRN M., 2013. - Indirect Dispossession: Domestic Power Imbalances and Foreign Access to Land in Mozambique. *Development and Change*, **44**, p. 335-356.

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

- 
- (6) FOUILLEUX E. et BALIE J., 2009. - Le double paradoxe de la mise en place de politiques agricoles communes en Afrique. Un cas improbable de transfert de politique publique. *Pôle Sud*, **31**, p.129-149.
  - (7) GEFFRAY C., 1990. - La cause des armes au Mozambique: anthropologie d'une guerre civile. *Editions Karthala*.
  - (8) ISAACMAN A.F., 1996. - Cotton is the mother of poverty : peasants, work, and rural struggle in colonial Mozambique, 1938-1961. *Heinemann*.
  - (9) LEBLOND N., 2017a. - Gouverner l'agriculture grâce aux modèles ? Le cas du CAADP au Mozambique. *Cybergeo*, <https://doi.org/10.4000/cybergeo.28477>.
  - (10) LEBLOND N., 2017b. - Habiter des espaces investis et des espaces gris : une géographie de la constellation agropolitique à l'œuvre au Nord du Mozambique. Thèse de Doctorat en Géographie, Paul Valéry Montpellier III.
  - (11) MCKEON N., 2014. - The New Alliance for Food Security and Nutrition: a coup for corporate capital? *Terra Nuova & TNI*.
  - (12) MCMICHAEL P., 2012. - The land grab and corporate food regime restructuring. *The Journal of Peasant Studies*, **39**, p.681-701.
  - (13) PELISSIER R., 1984. - Naissance du Mozambique : résistance et révoltes anticoloniales, 1854-1918. *Pélissier*.
  - (14) TROTTIER J. et PERRIER J., 2017. - Challenging the Coproduction of Virtual Water and Palestinian Agriculture. *Geoforum*, **87**, p. 85-94

## LES BACTÉRIOPHAGES ARN F-SPÉCIFIQUES POUR ÉVALUER LA QUALITÉ VIROLOGIQUE DES COQUILLAGES LORS DE LEUR DÉPURATION

Cédric HARTARD<sup>1</sup>

Présenté par Hubert LAUDE, Section 6, Sciences de la Vie

### RÉSUMÉ

Compte tenu des limites fréquemment décrites concernant la recherche d'*E. coli* pour évaluer l'efficacité des procédés de dépuración appliqués aux coquillages, le recours à d'autres indicateurs est aujourd'hui souhaitable. Dans ce contexte, le potentiel des bactériophages ARN F-spécifiques est particulièrement étudié. De nombreuses études se sont intéressées au comportement de ces indicateurs viraux et à celui des norovirus lors de la dépuración des coquillages. Elles semblent cependant biaisées par l'emploi de techniques difficilement comparables pour rechercher ces deux types de microorganismes. En utilisant des méthodes de détection analogues, nos travaux ont montré pour la première fois une meilleure persistance des phages dans ces conditions. Ces nouvelles données pourraient relancer le débat concernant l'utilisation de ces indicateurs pour évaluer le danger viral lié à la consommation de coquillages.

*On the use of F-specific RNA bacteriophages to assess shellfish viral depuration*

### ABSTRACT

*The limitations concerning the use of traditional fecal pollution indicators to assess foodstuff microbiological quality are well known when focusing on oyster farming. Indeed, while fecal indicator bacteria (e.g. E. coli) are recognized, their unreliability is well described to assess viral hazard which represents the major risk in the case of shellfish consumption. Noroviruses are the leading cause of gastroenteritis outbreaks linked to shellfish consumption and contrary to E. coli, these pathogens are characterized by high persistence and stability in these kinds of foodstuff. Differences between these pathogens and traditional indicators are especially described in the case of shellfish depuration. In this context, others indicators are needed to assess the efficiency of this process. F-specific RNA bacteriophages are viruses which are often used as indicators because of their fecal origin. However, most of studies have also shown a difference of persistence with that of noroviruses during shellfish depuration. All these data are however skewed taking into account the use of very different approaches to track them. Using similar detection methods, we have shown for the first time the better persistence of phages compared to that of noroviruses during depuration process. These new data may revive the question about the use of indicators to assess shellfish viral pollution.*

### A. Évaluation de la qualité microbiologique des coquillages

#### 1. L'indicateur réglementaire et ses limites

Le lien entre la consommation de coquillages et la transmission des pathogènes entériques est décrit depuis plus d'un siècle. Ces aliments sont en effet bien connus pour accumuler les microorganismes présents dans les eaux environnementales, en particulier en cas de rejets d'eaux

---

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie Physique et Microbiologie pour l'Environnement, LCPME UMR 7564 CNRS - Université de Lorraine, Faculté de Pharmacie, 5 rue Albert Lebrun 54000, Nancy [cedric.hartard@gmail.com](mailto:cedric.hartard@gmail.com)

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

---

usées urbaines à proximité des zones conchylicoles (*i.e.* stations d'épuration). Parmi l'ensemble des coquillages, les huîtres sont particulièrement impliquées dans la transmission de pathogènes à l'Homme car elles sont généralement consommées crues. La recherche de l'ensemble des pathogènes n'étant pas réalisable en routine, la qualité microbiologique des coquillages est actuellement évaluée par la recherche d'*Escherichia coli* (*E. coli*), l'indicateur universel de pollution fécale.

Lorsque les zones conchylicoles ne répondent pas aux exigences sanitaires (ce qui est la plupart du temps le cas en Europe) (EFSA, 2011), une étape de purification est nécessaire avant la commercialisation des coquillages. Ce procédé consiste à placer les fruits de mer dans des bassins d'eau propre pour que ces organismes filtreurs puissent éliminer les microorganismes qu'ils contiennent. Dans ce cas, c'est également la recherche d'*E. coli* qui permettra ou non la libération des lots.

S'il est incontestable que la recherche d'*E. coli* présente de nombreux intérêts en termes de sécurité alimentaire, les limites de cet indicateur sont souvent décrites dans le domaine conchylicole. Elles sont notamment perçues lorsqu'il s'agit d'évaluer la présence des norovirus (NoV), les pathogènes responsables de plus de 80% des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) en lien avec la consommation de coquillages (Bellou *et al.*, 2013). Ces virus présentent en effet une résistance bien supérieure à celle d'*E. coli* dans l'environnement et sont également caractérisés par une persistance importante dans les coquillages. En effet, alors qu'une purification de 48 h est généralement suffisante pour réduire d'une unité logarithmique la concentration d'*E. coli* ( $T_{90}$ ), le  $T_{90}$  mesuré dans le cas des NoV est parfois supérieur à 28 jours dans les mêmes conditions (Lees, 2000). Ces différences de comportement entre indicateurs et pathogènes conduisent à observer des épidémies de gastroentérites en lien avec la consommation de fruits de mer qui répondent pourtant à toutes les exigences réglementaires actuelles (Lowther *et al.*, 2010).

Ces différents aspects conduisent aujourd'hui les autorités à conclure que « les indicateurs fécaux conventionnels ne sont pas fiables pour démontrer la présence ou l'absence de norovirus de type Norwalk et que le recours à l'élimination des indicateurs bactériens fécaux pour déterminer les durées de purification des mollusques constitue une pratique dangereuse ». Il convient alors « de fixer des critères applicables aux virus pathogènes dans les mollusques bivalves vivants lorsque les méthodes d'analyse seront suffisamment développées » (Parlement Européen, 2005).

### 2. Des alternatives ?

Dans ce contexte particulier, deux autres approches peuvent être envisagées. La première correspond à la recherche directe des NoV dans les coquillages, elle est rendue possible par la mise en place de la norme ISO 15216-1 (International Organization for Standardization, 2017). Les NoV étant difficilement cultivables en routine, cette approche s'appuie sur l'utilisation de techniques moléculaires (*i.e.* détection des génomes viraux) et suppose alors certaines limites. Il est en effet bien décrit aujourd'hui que la persistance des génomes viraux permet difficilement de conclure à la présence concomitante des particules infectieuses correspondantes et donc à un danger pour le consommateur en cas de résultat positif (Gassilloud *et al.*, 2003). En cas de TIAC, la législation prévoit ainsi la réouverture des zones conchylicoles concernées après un délai de 28 jours, alors même que des génomes viraux puissent encore être détectés dans les coquillages (DGAL, 2013). Dans ce cas, la difficulté de savoir si ces génomes correspondent ou non à la présence de particules infectieuses peut conduire à la survenue de nouvelles TIAC (Le Mennec *et al.*, 2017).

La seconde approche correspond à la définition d'autres indicateurs qui seraient plus pertinents pour évaluer la pollution de type viral dans ces situations particulières.

## B. Les bactériophages ARN F-spécifiques comme indicateurs de pollution virale

### 1. État de l'art et controverse

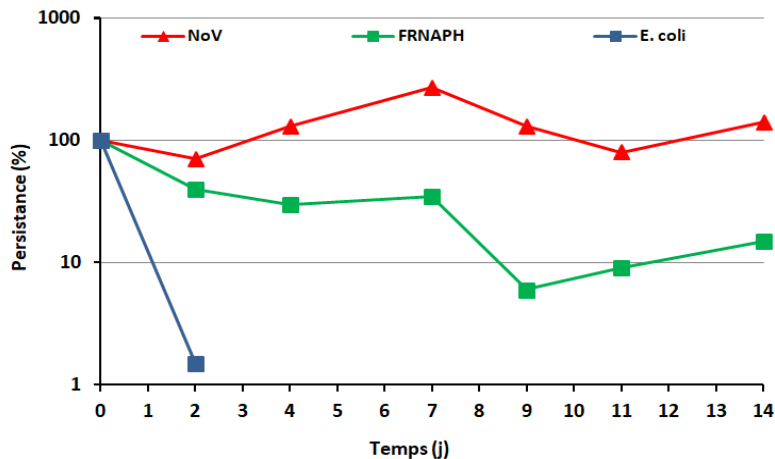
Dans le contexte décrit précédemment, le potentiel des bactériophages fécaux en tant qu'indicateurs est particulièrement étudié (Jofre *et al.*, 2016). Parmi eux, les bactériophages ARN F-spécifiques (FRNAPH) semblent présenter plusieurs intérêts.

Les FRNAPH sont des virus non pathogènes pour l'Homme capables de se multiplier en infectant certaines bactéries du tractus digestif des animaux à sang chaud. Excrétés dans les selles, ils sont retrouvés en concentrations importantes dans les eaux usées et leur intérêt comme indicateurs de pollution fécale n'est aujourd'hui plus à démontrer. Leur morphologie et leur persistance ont souvent conduit la communauté scientifique à les utiliser comme modèles pour étudier l'inactivation des virus pathogènes (McMinn *et al.*, 2017). Enfin, le dernier intérêt de ces indicateurs concerne la possibilité d'identifier les contaminations fécales d'origine humaine puisque certains génogroupes de phages sont préférentiellement présents chez l'Homme (Hartard *et al.*, 2015).

Si bon nombre d'arguments attestent donc du potentiel des FRNAPH en cas de pollution virale, leur intérêt ne fait pas l'unanimité puisque la littérature regorge de résultats contradictoires lorsqu'il s'agit d'étudier la corrélation entre ces indicateurs et les virus pathogènes, y compris dans les coquillages (Hodgson *et al.*, 2017).

Le comportement particulier des NoV en termes d'accumulation et surtout leur persistance lors de la purification des coquillages conduit souvent à penser qu'aucun indicateur ne serait suffisamment performant pour évaluer leur présence. Cette hypothèse est par ailleurs largement renforcée si on évoque le possible rôle de ligands spécifiques des NoV au sein des coquillages (Tian *et al.*, 2006).

Un projet initié par le CEFAS (*Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science*) visant à évaluer l'efficacité de la purification des coquillages en y recherchant les NoV, les FRNAPH et *E. coli* résume parfaitement l'état de l'art (**Figure 1**) (Neish, 2013). Alors que l'élimination extrêmement rapide d'*E. coli* est confirmée, ces données soulignent une persistance des FRNAPH inférieure à celle des NoV.



**Figure 1 :** Persistance des génomes de norovirus, des FRNAPH infectieux et d'*E. coli* lors de la purification des coquillages, d'après Neish, 2013.

*Behavior of noroviruses genome, infectious FRNAPH and E. coli during shellfish depuration. Neish, 2013.*

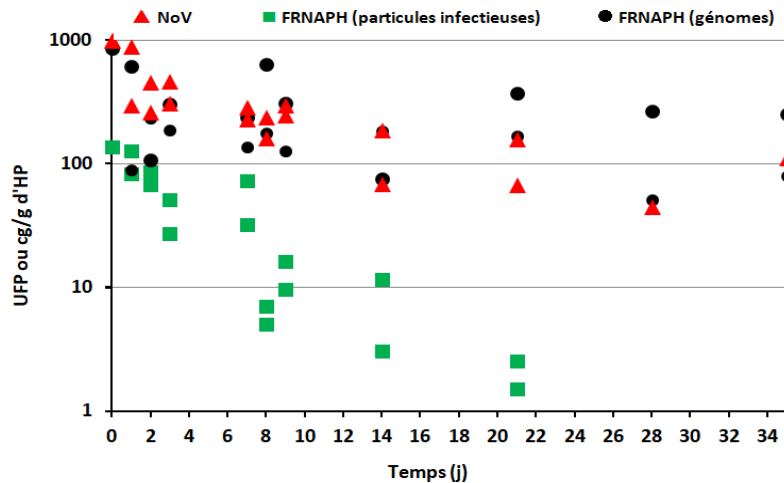
Ces différentes études présentent néanmoins une limite non négligeable. En effet, si les NoV y sont détectés par biologie moléculaire, les FRNAPH sont quant à eux recherchés par culture. Il semble donc aléatoire de vouloir comparer la persistance de ces microorganismes en ne tenant pas compte de ce biais.

## 2. Persistance des génomes de FRNAPH et des NoV lors de la purification des coquillages

Lors de la dépuración des coquillages, la disparition plus rapide des FRNAPH peut être liée à deux phénomènes qu'il conviendrait de distinguer. Il s'agit d'une part de l'élimination physique des particules infectieuses (*i.e.* disparition des génomes et des particules infectieuses) et d'autre part de leur inactivation au sein des coquillages (*i.e.* perte du caractère infectieux mais persistance des génomes). Si une élimination plus rapide des FRNAPH infectieux par rapport aux NoV infectieux est confirmée, leur intérêt en tant qu'indicateur viral serait évidemment compromis. Cette hypothèse n'est aujourd'hui pas vérifiable faute de méthode analytique permettant la détection des NoV infectieux. A l'inverse, si la persistance des NoV est uniquement liée à la stabilité des génomes, la recherche des FRNAPH par des techniques moléculaires apporterait alors de nouvelles informations concernant leur potentiel. C'est cette approche qui a été envisagée ici.

Dans cette étude, différents lots d'huîtres initialement positifs pour la recherche des FRNAPH et des NoV ont été placés dans des conditions standards de dépuración. Dans ces conditions, la persistance importante des NoV a été confirmée puisque leurs génomes étaient toujours détectés dans les coquillages après 30 jours de dépuración ( $T_{90} = 36$  jours) (**Figure 2**). Concernant les FRNAPH, les investigations se sont limitées à la détection des membres du génogroupe II d'origine humaine (*i.e.* FRNAPH-II). En utilisant la culture, la persistance inférieure des FRNAPH infectieux a été confirmée ( $T_{90} = 14$  jours). De manière intéressante, le recours aux approches moléculaires a cette fois montré une persistance importante des génomes de FRNAPH-II ( $T_{90} = 105$  jours), supérieure à celle des FRNAPH infectieux ou à celle des génomes de NoV (t-test;  $P < 10^{-4}$ ). De ce fait, alors que les génomes des FRNAPH-II sont encore détectés dans les coquillages après 30 jours de stockage, l'absence des particules virales infectieuses correspondantes a été notée durant les derniers jours de dépuración.

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE



**Figure 2 :** Persistance des génomes de norovirus et des FRNAPH-II (particules infectieuses et génomes) lors de la purification des coquillages. UFP = unités formant plaque, cg = copies de génome, HP = hépatopancreas (glandes digestives des coquillages).

*Behavior of norovirus genome and FRNAPH-II (infectious particles and genome) during shellfish depuration. UFP = plaque forming units, cg = genome copies, HP = hepatopancreas (digestive tissue).*

### Conclusion

Actuellement, les FRNAPH sont utilisés avec beaucoup de prudence en tant qu'indicateurs de contamination virale, notamment à cause des résultats contradictoires obtenus au cours des études de corrélation avec les virus entériques pathogènes dans l'environnement. Ce phénomène est particulièrement décrit lorsqu'on s'intéresse aux NoV et aux coquillages. Dans cette étude, nous avons choisi d'étudier cette corrélation lors de la dépuración des coquillages en s'affranchissant des limites méthodologiques identifiées. Cette approche a déjà permis de montrer une forte corrélation entre les génomes de FRNAPH-II et ceux des NoV dans des coquillages issus de différents sites conchylicoles européens, quel que soit leur niveau de contamination fécale (Hartard *et al.*, 2016, 2018). Toujours en utilisant des méthodes de détection comparables, nous mettons ici en évidence la meilleure persistance des génomes de FRNAPH par rapport à celle des NoV lors de la purification des coquillages.

La recherche concomitante des FRNAPH infectieux démontre également que les approches moléculaires permettent difficilement de conclure à la présence des particules infectieuses correspondantes. Appliquées aux NoV, ces observations suggèrent que la pertinence des méthodes moléculaires pour évaluer le danger viral lors de l'analyse de matrices alimentaires est limitée.

Ces données relancent le débat sur la définition de nouveaux indicateurs et semblent en faveur de la recherche des FRNAPH dans certaines situations. En effet, compte tenu de la spécificité humaine des FRNAPH-II et de la corrélation observée entre la présence de leurs génomes et ceux des NoV dans les coquillages, la recherche des FRNAPH-II infectieux dans ce type de matrice pourrait constituer un critère intéressant pour évaluer le danger viral. Dans ce contexte, une méthode de détection rapide et sensible des différents génogroupes de FRNAPH infectieux dans les matrices alimentaires a été mise au point (Hartard *et al.*, 2017).

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

Rappelons toutefois que la recherche d'*E. coli* demeure une première étape indispensable à la gestion du risque microbiologique puisque si cet indicateur est présent dans une matrice hydrique ou un aliment, il n'existe alors aucun doute quant au danger associé. C'est uniquement en son absence que le recours à d'autres indicateurs doit être envisagé.

*Références bibliographiques*

- Direction Générale de l'Alimentation, 2013.** Contamination des zones de production de coquillages par les norovirus - Protocole cadre de gestion DGAL/SDSSA/N2013-8187 du 20 novembre 2013.
- European Food Safety Authority, 2011.** Scientific Opinion on an update on the present knowledge on the occurrence and control of foodborne viruses. EFSA J. 9, 2190.
- Bellou, M., Kokkinos, P., Vantarakis, A., 2013.** Shellfish-Borne Viral Outbreaks: A Systematic Review. Food Environ. Virol. 5, 13–23.
- Gassilloud, B., Schwartzbrod, L., Gantzer, C., 2003.** Presence of Viral Genomes in Mineral Water: a Sufficient Condition To Assume Infectious Risk? Appl. Environ. Microbiol. 69, 3965–3969.
- Hartard, C., Banas, S., Loutreul, J., Rincé, A., Benoit, F., Boudaud, N., Gantzer, C., 2016.** Relevance of F-Specific RNA Bacteriophages in Assessing Human Norovirus Risk in Shellfish and Environmental Waters. Appl. Environ. Microbiol. 82, 5709–5719.
- Hartard, C., Banas, S., Rivet, R., Boudaud, N., Gantzer, C., 2017.** Rapid and sensitive method to assess human viral pollution in shellfish using infectious F-specific RNA bacteriophages: Application to marketed products. Food Microbiol. 63, 248–254.
- Hartard, C., Leclerc, M., Rivet, R., Maul, A., Loutreul, J., Banas, S., Boudaud, N., Gantzer, C., 2018.** F-specific RNA bacteriophages, especially members of subgroup II, should be reconsidered as good indicators of viral pollution of oysters. Appl. Environ. Microbiol. 84, e01866-17.
- Hartard, C., Rivet, R., Banas, S., Gantzer, C., 2015.** Occurrence of and Sequence Variation among F-Specific RNA Bacteriophage Subgroups in Feces and Wastewater of Urban and Animal Origins. Appl. Environ. Microbiol. 81, 6505–6515.
- Hodgson, K.R., Torok, V.A., Turnbull, A.R., 2017.** Bacteriophages as enteric viral indicators in bivalve mollusc management. Food Microbiol. 65, 284–293.
- International Organization for Standardization, 2017.** NF EN ISO 15216-1. Microbiology of the food chain — Horizontal method for determination of hepatitis A virus and norovirus in food using real-time RT-PCR — Part 1: Method for quantification. Geneva, Switzerland.
- Jofre, J., Lucena, F., Blanch, A., Muniesa, M., 2016.** Coliphages as Model Organisms in the Characterization and Management of Water Resources. Water 8, 199.
- Le Mennec, C., Parnaudeau, S., Rumebe, M., Le Saux, J.-C., Piquet, J.-C., Le Guyader, S.F., 2017.** Follow-Up of Norovirus Contamination in an Oyster Production Area Linked to Repeated Outbreaks. Food Environ. Virol. 9, 54–61.
- Lowther, J.A., Avant, J.M., Gizynski, K., Rangdale, R.E., Lees, D.N., 2010.** Comparison between quantitative real-time reverse transcription PCR results for norovirus in oysters and self-reported gastroenteric illness in restaurant customers. J. Food Prot. 73, 305–311.
- McMinn, B.R., Ashbolt, N.J., Korajkic, A., 2017.** Bacteriophages as indicators of faecal pollution and enteric virus removal. Lett. Appl. Microbiol. 65, 11–26.
- Neish, A., 2013.** Investigative trials on the purification of oysters to identify ways of reducing norovirus, Cefas contract report C5224.
- Parlement Européen, 2005.** Règlement (CE) n° 2073/2005 de la Commission du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. J. Off. l'Union Eur. L338, 1–34.
- Tian, P., Bates, A.H., Jensen, H.M., Mandrell, R.E., 2006.** Norovirus binds to blood group A-like antigens in oyster gastrointestinal cells. Lett. Appl. Microbiol. 43, 645–651.



## **FINANCIARISATION DE L'AGRICULTURE ET RESTRUCTURATION DES SYSTEMES AGRAIRES : L'EXEMPLE DE L'URUGUAY**

par Maëlle **GEDOUIN**<sup>11</sup>

Présentée par Jean-Paul **CHARVET**, section 10, Économie et politique

### RÉSUMÉ

Cette communication issue d'un travail de thèse propose une analyse des impacts sociaux et économiques de la financiarisation de l'agriculture en Uruguay, en s'appuyant sur le concept de système agraire issu de l'Agriculture Comparée et sur des travaux issus des Agrarian Studies anglo-saxonnes. Les nouvelles conditions d'accès au foncier et la libéralisation des flux de capitaux décidée dans un contexte de crise en Uruguay au début des années 2000, ont permis une embellie économique fragile. Elles ont favorisé l'arrivée de possesseurs de capitaux intéressés par des placements à court ou moyen termes essentiellement dans la production de soja et l'intensification du secteur bovin. Dans les systèmes agraires du nord de l'Uruguay composés de grands propriétaires terriens éleveurs, de cultivateurs familiaux et d'ouvriers agricoles, cela a accentué les inégalités d'accès aux ressources. Les producteurs familiaux et ouvriers agricoles ont été évincés de la production, et les mécanismes de transmission des exploitations restantes déstabilisés. Ces transformations représentent une nouvelle étape dans l'évolution des systèmes agraires de cette région du monde, où la logique financière est structurante.

### **FINANCIALIZATION OF AGRICULTURE AND AGRARIAN SYSTEMS RESTRUCTURATION: THE URUGUAYAN CASE**

#### ABSTRACT

*This communication explores the social and economic impacts of the financialization of agriculture that took place in South America in the 2000s and 2010s, focusing on the uruguayan case. The analysis proposed is based on French Comparative Agriculture approach, particularly on the Agrarian System concept, and on some Agrarian Studies researches about the mechanisms and actors of agricultural financialization. This work was led into two study regions on basis of primary data. The new conditions in access to land and the liberalization of capital flows decided in an economic crisis context in Uruguay in the early 2000s, have led to a fragile economic upturn. They favored the arrival of capital owners interested in short or medium-large term investments in the agricultural sector, in land and/or soybean and meat production. They first flew from the neighbouring countries, then from North-America and Europe after 2008. In the agrarian systems of northern Uruguay, first consisting of large landowners, family farmers and farm workers, this has accentuated inequalities in access to resources. It especially drove out family farmers and farm workers from access to land, and didn't generate a real industrial development. At the same time, the currency flow generated has supported social programs for the poorest and changes in the social relations of production. These transformations represent a new stage in the evolution of the agrarian systems of this region of the*

---

<sup>11</sup> [m.gedouin@gmail.com](mailto:m.gedouin@gmail.com) ; PRODIG, AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris ; SELMET, CIRAD, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5

*world. The inclusion of a financial logic in the development of productive forms and the distribution of added value takes precedence over the productive and patrimonial logic.*

### **A. La financiarisation de l'agriculture comme moteur de relance de l'économie face à une crise économique régionale**

Au début des années 2000, une crise économique et financière majeure a balayé le Cône Sud, amenant à la mise en place de politiques agricoles et économiques d'inspiration néo-libérale pour relancer l'économie et sauver le système bancaire. En Uruguay, pays de plaines et de grandes propriétés où l'élevage de bovins pour l'exportation de viande est central, l'agriculture représente 12% du PIB et 76% des biens et services exportés et a été au cœur du programme. Les mesures prises ont notamment consisté en la libéralisation des flux de capitaux et la fluctuation du taux de change, la structuration du secteur des semences et l'autorisation des OGM, et l'autorisation de vente de terres à des sociétés anonymes. Elles ont amené d'importants flux de capitaux vers l'agriculture, d'abord en provenance de l'Argentine et du Brésil voisins, puis de placements nord-américains et européens à partir de 2008. Quelques statistiques illustrent l'ampleur de ce phénomène entre 2002 et 2014, comme l'augmentation du prix des terres, multiplié par 10 en 12 ans ; l'augmentation des volumes de soja produits et exportés (augmentation de 1200% des surfaces en 10 ans, passage de 0 à 3,5 millions de tonnes exportées) ; et la multiplication par 12 en 12 ans des Investissements Directs Étrangers (IDE). Dans la même période, le nombre d'exploitations agricoles a baissé de 20%, pour atteindre 44 000 exploitations en 2011, avec une concentration de la baisse dans la catégorie des exploitations de moins de 200 hectares (DIEA 2014).

Ces placements de capitaux se sont accompagnés du développement de nouvelles formes productives orientées vers la production de « commodities », c'est à dire de produits peu ou pas transformés destinés aux marchés mondiaux, comme le soja ou la viande bovine congelée. Les *pools* de culture apparus dans les années 1990 en Argentine en sont une forme emblématique. Ils regroupent des investisseurs et des fonctions techniques et commerciales et recherchent des propriétaires fonciers mettant en location leurs terres et des prestataires de services agricoles pour les cultiver, généralement pour la production de soja (Arbeletche 2010, Guibert *et al.* 2011, Clasadonte *et al.* 2013). Leur développement a été étroitement lié à la diffusion d'un paquet technique basé sur la culture en semis direct de soja OGM résistant au glyphosate, permettant de cultiver de très grandes surfaces rapidement et avec le même itinéraire technique. Des fonds d'investissement visant des placements à moyen/long termes se sont aussi positionnés dans l'achat de foncier et la production pour l'exportation (soja, viande bovine). Les cours très élevés des années 2010 et le bon positionnement du pays sur les marchés mondiaux de la viande les plus rémunérateurs ont également attiré des entreprises brésiliennes de l'aval de la filière viande bovine, alors en plein essor. Elles ont modernisé les structures industrielles et mis en place des actions à destination des producteurs pour augmenter le nombre d'animaux abattus et en modifier les caractéristiques pour mieux répondre aux demandes des acheteurs mondiaux (Gédouin *et al.* 2015).

Les nouveaux usages des terres et les transformations des filières induits par ces flux de capitaux ont eu de nombreux impacts socio-économiques dont l'étude est au cœur de ce travail. Pour le réaliser, nous nous sommes appuyés sur une approche pluridisciplinaire issue de l'agriculture comparée, notamment sur le concept de système agraire (Cochet et Devienne 2006, Cochet 2011). Ce concept est défini comme « un mode d'exploitation du milieu, historiquement constitué et durable, adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné, et répondant aux conditions et aux besoins sociaux du moment » (Mazoyer, 1987). Il fournit une échelle de travail pertinente pour comprendre les changements sociaux et économiques induits par de nouvelles politiques économiques et agricoles. Le concept de différenciation sociale et économique des systèmes de production agricoles permet quant à lui d'éclairer les mécanismes de répartition de la valeur créée, et en quoi leur évolution traduit une accentuation ou une réduction des inégalités. Nous nous sommes également appuyés sur des travaux

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

---

anglo-saxons d'économie politique étudiant les mécanismes de financiarisation de l'agriculture (Borras 2009, Peluso et Lund 2013, Fairbairn 2014, Svampa 2015...). Ils permettent d'éclairer les modèles économiques et les mécanismes d'accumulation de valeur ajoutée qui y sont liés. Ils détaillent notamment l'introduction d'actions de sociétés de production agricole ou de propriétés foncières dans des portefeuilles d'actions de fonds d'investissement ou l'entrée des sociétés de commerce de grains dans leur capital.

Parmi les éléments clés de différenciation, nous avons questionné l'évolution des modalités d'accès au foncier et aux capitaux des agents économiques présents au sein des systèmes agraires concernés, mais aussi la production et la répartition de la valeur ajoutée et de l'emploi, et l'évolution des relations de production. Quel impact ces évolutions entraînent-elles sur les capacités de reproduction des systèmes de production présents ? Nous avons discuté ces résultats au regard de la question agraire portée par cette financiarisation, notamment l'évolution des agricultures familiales et le transfert de valeur-ajoutée vers les possesseurs de capitaux, ainsi que les risques de crise qu'elle comporte.

### **B. Méthodologie de travail et de traitement des données**

Ce travail a été effectué dans deux régions d'étude, Young et Ansina (*cf.* figure 1), choisies pour leur situation contrastée vis-à-vis de l'intensité et de la nature des placements de capitaux financier, tout en possédant une histoire foncière et une structure agraire comparable. Toutes deux sont déjà intégrées aux échanges marchands et à la production pour l'exportation, mais l'une d'elle (Young) est mieux desservie, plus proche des ports d'exportation et comporte une plus grande proportion de terres cultivables en culture pluviale (85% contre 45%). Cela a entraîné une temporalité différente dans la dynamique de placement de capitaux dans chacune d'entre elles.

Le travail a pu être effectué grâce à une importante récolte de données de terrain. Au total, près de 160 entretiens ont été menés entre 2011 et 2014 dans ces deux régions (propriétaires fonciers, exploitants, salariés, agronomes...). Des données technico-économiques concernant les systèmes de production agricole ou systèmes d'activité des ménages contemporains ont notamment été récoltées.

Le fonctionnement technique et économique de chaque système de production type est identifié et permet de calculer la production et la répartition de la richesse créée (valeur ajoutée). Le niveau de revenu agricole ou de rémunération du capital à travers le TRI (Taux de Rentabilité Interne) sont également calculés. Cette modélisation permet de comparer les systèmes entre eux et de déterminer leurs capacités de reproduction.



Figure 1 : localisation des deux régions d'étude - *location of the two study areas* (source : Gédouin 2017)

### C. Résultats : Trois grandes étapes de transformations depuis les années 1990 et une modification de la structure sociale et économique du secteur

#### 1. Les années 1990, une période de politiques de marché néo-libérales et de rigueur budgétaire qui se termine par l'endettement généralisé du secteur agricole

Comme d'autres pays du Cône Sud, l'Uruguay a connu dans les années 1970-1980 une période de régime dictatorial dont la sortie a notamment été liée à une importante dette extérieure. Pour faire face à cette dette et relancer l'économie, le pays dû s'engager auprès des institutions financières internationales à suivre un ensemble de politiques économiques dénommé « consensus de Washington » (Naim 2000, Gore 2000). Cela inclut notamment une politique de rigueur budgétaire et d'ouverture des marchés, ainsi que de parité de taux de change avec le dollar. Les politiques de relance étaient orientées vers le secteur agricole avec des crédits en dollars pour le renouvellement des matériels et le développement de nouvelles filières d'exportation.

Les systèmes agraires des deux régions d'étude étaient composés de trois groupes sociaux principaux : de grands propriétaires éleveurs de bovins pour l'exportation de viande, produisant sur la base de main d'œuvre salariée dans des systèmes de production herbagers ; des cultivateurs familiaux prenant en location des fractions de terres auprès de ces propriétaires sur la base de systèmes à part-de-fruit (paiement en % du produit brut) pour le blé et le tournesol à Young, et pour le riz à Ansiná ; et des ouvriers agricoles doubles-actifs ayant de petits troupeaux et dans les zones les plus isolées, une activité de production vivrière (cf. figure 2). Le travail salarié était peu encadré par l'Etat en termes de droits et de niveau de rémunération qui était faible et peu revalorisé.

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

Catégories d'agents	Collectif de travail	Surface des exploitations et mode d'accès à la terre	Productions
Grand propriétaire éleveur de bovins	Salarié ou patronal	1 500 - 6 000 ha - Faire-Valoir Direct	Bovins viande (bœufs et vaches de réforme)
Cultivateur à part-de-fruit ou en fermage	Patronal ou Familial	100 - 500 ha en location	Blé et tournesol ou riz
Contremaître		Droits de pâturage	Broutards
Ouvrier		Accès informel à la terre / propriété : 1-15ha	Vivrière, Vente de surplus - laine

Figure 2 : principales catégories d'agents économiques présents dans les systèmes agraires dans les années 1990 - 1990's *agrarian systems economic agents categories*

Après une première période porteuse au début des années 1990, l'inflation et le déséquilibre de la parité du taux de change, qui augmentait mécaniquement le coût des crédits émis en dollars, contribuèrent à une augmentation de la dette du secteur agricole. La nécessité du remboursement d'emprunts toujours plus onéreux poussait les cultivateurs à une répétition dans la rotation des cultures les plus lucratives (tournesol et blé). Cela entraîna une sensibilité accrue des cultures aux maladies et des récoltes désastreuses lors de mauvaises années climatiques à la fin des années 1990, qui firent plonger l'endettement des cultivateurs et de toute la filière, impactant particulièrement une région comme celle de Young. A cela s'ajouta une épidémie de fièvre aphteuse qui amena à un blocage des exportations et fit exploser l'endettement des éleveurs, établissant la dette du secteur à l'équivalent de son produit brut au début des années 2000.

## 2. Crise économique et mesures de relance amenant à la financiarisation du secteur agricole

La crise économique régionale du début des années 2000 toucha le secteur et le pays de plein fouet. Pour y faire face, le gouvernement uruguayen prit plusieurs mesures : libéralisation des flux de capitaux, fluctuation du taux de change, création d'un institut des semences et autorisation des OGM, autorisation des achats/ventes de terres par des sociétés anonymes, création de zones franches... Ces nouvelles conditions économiques et de production amenèrent à d'importants flux de capitaux vers le secteur agricole, notamment vers la location ou l'achat de foncier. Ils furent facilités par la structure concentrée de la propriété foncière de ces régions où en 2000, 70 à 85% des surfaces appartenaient à 25% des exploitations (DIEA 2001).

Ces flux eurent lieu en deux temps. A partir de 2004, les capitaux affluèrent depuis l'Argentine et le Brésil. Un premier type de placement concerna les possesseurs de capitaux cherchant des placements sûrs. Ils achetèrent majoritairement du foncier aux propriétaires très endettés dans la région la plus accessible et plus favorable aux grandes cultures (Young) et mirent en place sur leurs terres une production de soja pour l'exportation. Certains, à la recherche de taux de rentabilité plus important, ou pour diversifier la nature de leurs placements, se regroupèrent dans des formes productives plus mobiles, les *pools* de culture, et prirent en location des terres à des propriétaires fonciers de la région. Une partie des propriétaires des terres, choisirent d'adopter une posture de rentier et mirent en location la totalité de leur propriété. D'autres mirent en location seulement une fraction de leurs terres arables

pour une courte durée, réglèrent ainsi leurs dettes, et développèrent ensuite un système de polyculture-élevage favorisant la production de soja pour la vente.

La rente foncière proposée aux propriétaires par les *pools* de culture était plus immédiate et plus lucrative que le système traditionnel à part-de-fruit. Les cultivateurs de la région furent donc très rapidement évincés de l'accès au foncier ou repoussés vers des terres moins favorables à la mise en culture. Les gestionnaires des *pools* de culture, qui s'appuient sur de la prestation de service agricole pour la réalisation des opérations culturales, mirent en place dès leur arrivée des systèmes d'aide au renouvellement du matériel et des propositions de contrats à destination de ces anciens cultivateurs. Les moins endettés et les mieux formés d'entre eux devinrent alors prestataires pour le compte de ces entreprises, et doublèrent les capacités journalières de travail (par exemple, de 30 ha/jour au début des années 2000 à 70-80 ha/jour en 2014 pour la moisson).

A partir de 2008, de nouveaux placements de capitaux furent effectués dans le pays, cette fois plutôt en provenance de fonds financiers d'Amérique du Nord et d'Europe. Ils prirent là-aussi plusieurs formes. Des placements à court-terme et plus risqués visant une rentabilité de haut niveau, se traduisirent en une augmentation de capital des *pools* de culture, dont certains entrèrent en bourse. L'attractivité de ces entreprises était portée par la rentabilité du placement dans le secteur des cultures, dynamisée par la flambée du prix des matières premières agricoles. Ces moyens supplémentaires leur permirent de financer l'extension de leurs zones de culture vers des régions plus éloignées ou comprenant moins de terres arables, comme Ansina. Chacune de ces entreprises effectua ainsi la mise en culture de plusieurs dizaines de milliers à plus de 100 000 hectares au niveau national. A Ansina, la plupart des terres de culture pluviale n'étaient auparavant pas mises en location pour la culture par les propriétaires terriens éleveurs qui les utilisaient jusqu'alors en faire-valoir direct pour l'élevage. Dans cette région, la restructuration sociale des acteurs mettant en valeur les terres fut donc dans un premier temps bien moindre qu'à Young.

D'autres types de placements, de moyen/long termes, se traduisirent par des achats de terres par des fonds d'investissement. Ces achats eurent aussi lieu dans les régions au foncier moins cher mais possédant néanmoins un bon pourcentage de terres arables, comme celle d'Ansina. Ces sociétés y mirent en place des systèmes de polyculture-élevage, en privilégiant la maximisation de la production de soja dans la rotation. L'arrivée des *pools* et de ces fonds eu donc pour conséquence d'accroître la pression sur la demande de foncier, et d'en faire très fortement augmenter le prix tant à l'achat qu'à la location. L'accès au foncier pour les ouvriers ruraux, qui leur permettait une production vivrière et /ou la capitalisation à travers un petit troupeau, devint donc impossible.

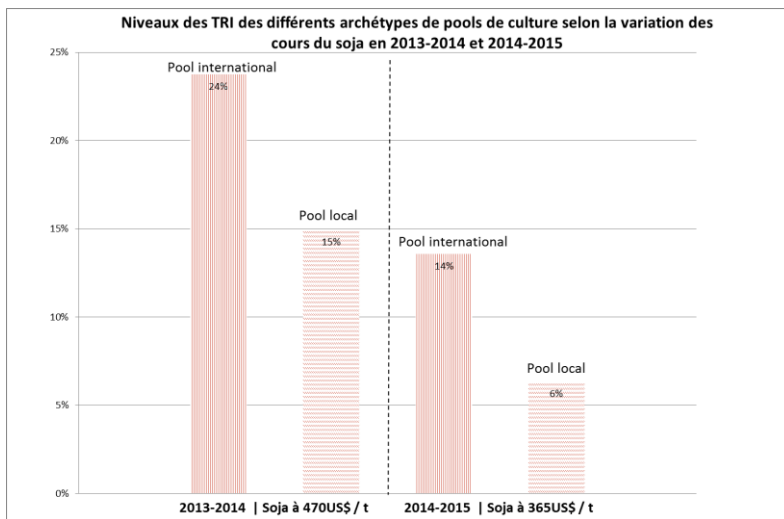
### **3. En 2011, retrait des sociétés de capitaux internationaux les plus mobiles et permanence des logiques financières dans le fonctionnement du système agraire.**

Avec la baisse des cours du soja à partir de 2011-12, la rentabilité des capitaux placés diminua (cf. figure 3) et les plus grands *pools* de culture réduisirent les surfaces qu'ils cultivaient, pour placer leurs capitaux dans d'autres pays. Ils commencèrent par les régions les moins favorables à cette culture où le coût de production était le plus élevé, comme celle d'Ansina, mais aussi par les terres éloignées des axes de transport dans les régions plus favorables comme celle de Young. Néanmoins, la rentabilité de ce type de forme productive restant attractive, des possesseurs de capitaux locaux, enrichis durant cette période, prirent le relais et mirent en place des *pools* de culture locaux avec des propriétaires terriens et des prestataires de service agricole sur des surfaces moindres (10 000 ha à 20 000 ha). Certaines terres auparavant occupées par les *pools* furent aussi mises en culture directement par les prestataires de services qui reprirent une fonction de cultivateur. Les fonds d'investissements ayant acheté des terres et certains des *pools* restants diversifièrent leur activité vers l'engraissement bovin, et les surfaces dédiées à l'élevage reprirent un peu plus d'ampleur chez les propriétaires polyculteurs-éleveurs. Le reflux des grands *pools* de culture internationaux entraîna donc un investissement ou

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

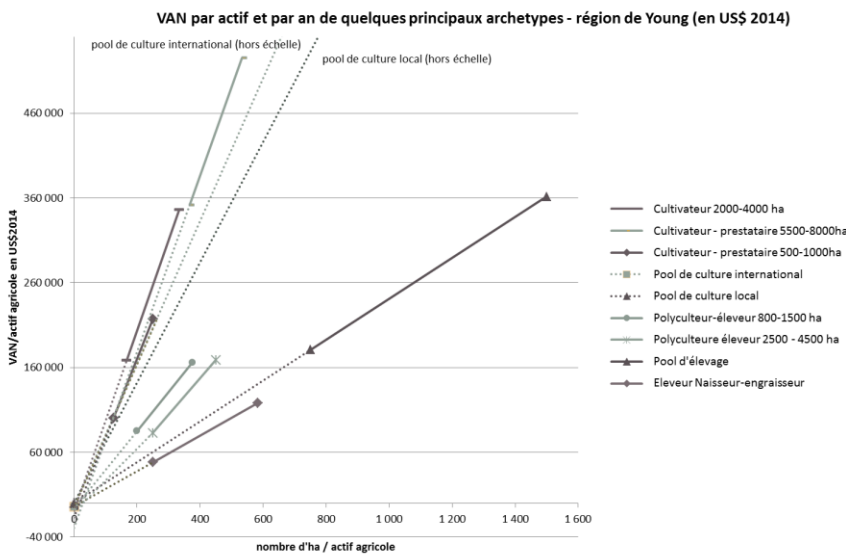
retour d'acteur locaux dans la mise en culture des terres, mais sur la base d'un modèle technique similaire centré sur la culture du soja OGM résistant à un herbicide total.

Figure 3 : Niveaux de TRI de deux archétypes de pools de culture selon la variation des cours du soja en 2013-2014 et 2014-2015 – *return rate level in cropping-pool's production systems regarding soybean prices evolution in 2013-2014 and 2014-2015*



Les niveaux de productivité du travail par hectare et par actif calculés pour ces différents systèmes montrent la prééminence des systèmes type *pools* de culture ou des grands cultivateurs à cette période pour la région de Young, et des fonds d'investissement foncier à Ansina (*cf.* figure 4). Néanmoins, leur sensibilité à la variation des cours du soja ou à des accidents climatiques ou sanitaires sur cette culture qui est leur production exclusive ou principale est importante. Cela peut donc entraîner une baisse importante et brusque de leur production de valeur ajoutée, et les rend fragiles et instables.

Figure 4 : Valeur Ajoutée Nette par actif et par an de quelques principaux systèmes de production types de la région de Young (en US\$ 2014) - *Net added value per worker and per year of some of the major production systems in Young area (in US\$ 2014)*



Durant cette même période, l'important flux de devises généré par ces arrivées de capitaux et nouveaux usages des terres permit au gouvernement de gauche du Frente Amplio de financer des programmes sociaux destinés aux familles des ouvriers agricoles (allocations familiales, plan de modernisation de l'habitat rural, etc.). Des lois et décrets furent également votés afin de mieux encadrer les relations employeurs-salariés concernant les conditions et durées de travail et les niveaux de rémunération. L'exode rural qui avait lieu depuis les années 1990 et s'accrut au cours des années 2000, entraîna une raréfaction de la main d'œuvre qualifiée, notamment en élevage. L'ensemble initia une modification des rapports de production et une revalorisation fragile du statut d'ouvrier agricole dont les retombées restent à évaluer à moyen-terme.

#### **D. Discussion et conclusion : une répartition de la valeur ajoutée favorisant la rémunération des propriétaires terriens et des possesseurs de capitaux financiers**

Les résultats obtenus ne permettent pas de conclusions tranchées. D'importants flux de devises ont été générés relançant l'activité du pays, le secteur a connu un saut technique important et une augmentation notable de la production de valeur ajoutée par hectare et par actif, mais sans développement réel des filières de transformation. Des programmes sociaux ont pu être mis en place, représentant une forme de redistribution de la richesse produite. Mais elle a été préférée à une redistribution des ressources, puisque ces arrivées d'acteurs et de capitaux ont eu lieu au prix d'une concentration supplémentaire du foncier et d'une restructuration sociale du secteur, notamment d'une éviction de nombreux producteurs familiaux et de salariés ruraux. Les capacités de transmission des exploitations des propriétaires terriens restants sont aussi fortement déstabilisées à cause de l'augmentation de valeur du capital d'exploitation, lié au prix du foncier.



## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

Il y a donc eu sortie de crise, mais au prix d'une transformation irréversible des systèmes agraires, et pour un modèle productif instable qui a favorisé des structures visant une rentabilité court-termiste. La répartition de la valeur ajoutée produite au sein du système agricole a évolué vers une plus grande part destinée à la rémunération des capitaux financiers et à la rente foncière. Ces transformations forment une nouvelle étape d'évolution de ces systèmes agraires, facilitée ici par la structure foncière concentrée préexistante et la nature de la force de travail essentiellement salariée, et structurée par des logiques de placements de capitaux. Elles illustrent également des déplacements « Sud-Sud » de capitaux, opérés ici au sein du Cône Sud. Ce travail serait utilement complété par l'étude des placements de capitaux uruguayens dans des pays voisins à partir des années 2010, tels le Paraguay ou la Bolivie (Mujica 2016), qui viennent ajouter une nouvelle étape à ce phénomène de transformation agricole.

*Merci à Gilles Bazin et Sophie Devienne pour leurs relectures de cette communication.*

## Bibliographie

- (1) DIEA 2001. « Censo 2000 ». Recensement agricole. Montevideo: MGAP, 2001. [www.mgap.gub.uy](http://www.mgap.gub.uy).
- (2) DIEA 2015. « Anuario estadístico 2014 ». Montevideo: MGAP, 2015. [www.mgap.gub.uy/](http://www.mgap.gub.uy/).
- (3) Arbeletche P. 2010. "Impactos Socio-Economicos de La Expansion Agricola." In *Intensificación Agrícola : Oportunidades Y Amenazas Para Un País Productivo Y Natural*. Colección Art.2. Montevideo : Comisión Sectorial de Investigación Científica - UDeLaR.
- (4) Borras Jr S. M. 2009. "Agrarian Change and Peasant Studies: Changes, Continuities and Challenges—an Introduction." *The Journal of Peasant Studies* 36 (1): 5–31.
- (5) Clasadonte L, de Vries E., Trienekens J., Arbeletche P., and Tourrand J-F. 2013. "Network Companies: A New Phenomenon in South American Farming." *British Food Journal* 115 (6) : 850–863.
- (6) Cochet H. 2011. L'agriculture Comparée. Quae.
- (7) Cochet H., and Devienne S. 2006. "Fonctionnement et Performances Économiques Des Systèmes de Production Agricole : Une Démarche À L'échelle Régionale." *Cahiers Agricultures* 15 (6): 578–583.
- (8) Fairbairn M. 2014. "'Like Gold with Yield': Evolving Intersections between Farmland and Finance." *Journal of Peasant Studies* 41 (5) : 777–95.
- (9) Gedouin M. 2017. « Agrobusiness Du Soja et de La Viande En Uruguay : Financiarisation Des Systèmes Agraires et Nouvelles Différenciations Sociales et Productives En Agriculture. » Thèse de doctorat, Paris : AgroParisTech.
- (10) Gedouin M., Saravia A., and Tourrand J-F. 2015. "Élevage À L'herbe et Développement Du Soja En Uruguay : Transformations D'un Modèle Pastoral Dominant. *Revue Fourrages*, N° 221 Spécial Projet ANR Systerra MOUVE." *Fourrages*, no. 221.
- (11) Gore C. « The Rise and Fall of the Washington Consensus as a Paradigm for Developing Countries ». *World Development* 28, n° 5 (2000): 789–804.
- (12) Guibert M., Sili M., Arbeletche P., Piñeiro D., and Grosso S. 2011. "Les Nouvelles Formes D'agriculture Entrepreneuriale En Argentine et En Uruguay." *Economies et Sociétés* 45 (10) : 1807–1825.
- (13) Mazoyer M. 1987. "Dynamique Des Systèmes Agraires." Rapport de Synthèse. Comité "Dynamique des systèmes agraires", Ministère de la Recherche et de la Technologie.
- (14) Mujica V. 2016. "Paraguay: El Destino Rentable de Las Inversiones Uruguayas." Site d'information généraliste. *El Observador*. January 13.

COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

---

<http://www.elobservador.com.uy/paraguay-el-destino-rentable-las-inversiones-uruguayas-n852118>.

- (15) Naim M. « Fads and fashion in economic reforms: Washington Consensus or Washington Confusion? » *Third World Quarterly* 21, n° 3 (2000): 505–528.
- (16) Peluso N., and Lund C. 2013. “Introduction.” In *New Frontiers of Land Control*, Routledge-Taylor and Francis Books, 1–15. *Critical Agrarian Studies*. Londres, New-York: Nancy Lee Peluso et Christian Lund.
- (17) Svampa M. 2015. “Commodities Consensus: Neoextractivism and Enclosure of the Commons in Latin America.” *South Atlantic Quarterly* 114 (1) : 65–82.

## GÉNÉRATION DE NOUVELLES VARIÉTÉS DE HARICOT RÉSISTANTES À LA GRAISSE COMMUNE BASÉE SUR LES TALE

Mylène RUH

Travaux réalisés à Agrocampus Ouest, IRHS, équipe EmerSys : IRHS, INRA, Agrocampus Ouest, Université d'Angers - 42 rue Georges Morel - BP60057 - 49071 Beaucozézé – [mylene.ruh@hotmail.fr](mailto:mylene.ruh@hotmail.fr)  
Présenté par Yves LESPINASSE, Section 1, Productions végétales.

### RÉSUMÉ

Le haricot est cultivé à travers le monde et la graisse commune, causée par *Xanthomonas*, en est la principale bactériose (**Figure 1**). Les effecteurs Transcription Activator-Like (TALE) sont caractéristiques de ce genre bactérien et capables de se lier spécifiquement à l'ADN de l'hôte afin d'induire l'expression de gènes favorisant l'infection. Le séquençage d'une diversité de souches infectant le haricot a permis d'identifier quatre gènes codant des TALE, *tal23A*, *tal20F*, *tal18G* et *tal18H* (**Tableau 1** et **Figure 2**). Les cibles de ces TALE dans le génome du haricot ont été étudiées, et l'implication de TAL18H dans l'aggravation des symptômes a été confirmée (**Figure 3**). Ces données constituent un travail pionnier vers la génération de haricots résistants à la graisse commune en contrant les TALE.

### GENERATION OF NEW BEAN VARIETIES RESISTANT TO COMMON BACTERIAL BLIGHT OF BEAN BASED ON TALE

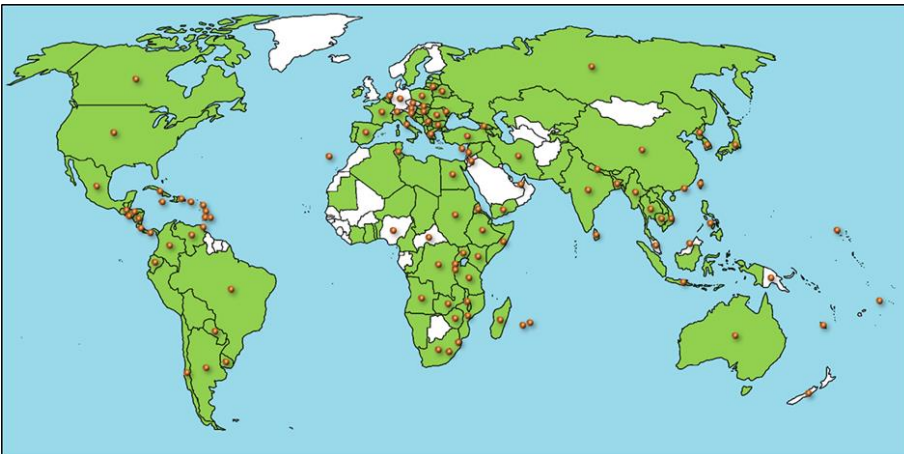
### ABSTRACT

*Bean is an economically and nutritionally essential legume cultivated worldwide (Figure 1). Common bacterial blight is the main bacterial disease of beans and can lead to significant yield losses. This disease is caused by strains from the genus Xanthomonas, a genus known to bear specific type III effectors named Transcription Activator-Like (TALE), which are major pathogenicity determinants. During infection, TALE are injected into the host plant cell, enter the nucleus and specifically bind to host DNA, generally on the promoter of a susceptibility gene to induce its expression, which promotes infection. We sequenced 17 Xanthomonas strains infecting bean, which allowed us to obtain the sequences of four genes encoding TALE: tal23A, tal20F, tal18G and tal18H (Table 1 and Figure 2). Targets of its TALE in the bean genome were studied and the involvement of TAL18H in symptoms development has been confirmed (Figure 3). As TALE bind to specific DNA sequences, it is possible to counteract their action by mutating their binding site, or by putting the binding site in front of a resistance gene, in order to produce resistant plants. All data recently acquired on TALE from strains infecting bean and their targets will therefore be useful for generating new sources of sustainable resistance to common bacterial blight.*

## A. Introduction

### 1. Contexte scientifique

Le haricot commun est cultivé sur tous les continents en tant que culture vivrière ou commerciale. Il représente la principale source de protéine pour un demi-milliard de personnes à travers le monde et est d'une grande importance économique pour beaucoup de pays en développement (De Lúque & Creamer, 2014). La graisse commune du haricot (CBB pour Common Bacterial Blight) est l'une des bactérioses les plus dévastatrices de cette culture, en raison de sa distribution mondiale (**Figure 1**) et des pertes de rendement qu'elle engendre, qui peuvent atteindre 40% (Mutlu *et al.*, 2008). De plus, étant une maladie de quarantaine en Europe, le déclassement ou la destruction des lots de semences contaminées accroissent davantage l'impact économique de la CBB. Aujourd'hui encore, il est difficile de lutter contre les phyto-bactérioses en raison d'un manque de traitements curatifs efficaces et non toxiques. La prophylaxie et la lutte génétique sont donc les principales méthodes de lutte contre les bactéries phytopathogènes. Dans l'idée de développer des résistances durables pour les plantes cultivées, la lutte génétique semble être à privilégier dans les prochaines années.



**Figure 1 : Distribution mondiale de la graisse commune du haricot.** En vert sont représentés les pays où les haricots secs sont récoltés, d'après les dernières données de la FAO (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>). Les points orange indiquent les pays où la graisse commune du haricot a été signalée, d'après les dernières données de l'OEPP (<https://gd.eppo.int/taxon/XANTPH/distribution>).

**Figure 1: Worldwide distribution of common bacterial blight of bean.** In green are represented the countries where dry beans are harvested, according to the last data of the FAO (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>). Orange points indicate countries where common bacterial blight of bean has been reported, according to the last data of the EPPO (<https://gd.eppo.int/taxon/XANTPH/distribution>).

Les souches infectant le haricot appartiennent à deux espèces distinctes du genre *Xanthomonas* : *X. citri* pv. *fuscans* (*Xcf*), constituée de trois lignées génétiques (*fuscans*, NF2 et NF3) et *X. phaseoli* pv. *phaseoli* (*Xpp*), composée d'une seule lignée (NF1) (Alavi *et al.*, 2008; Constantin *et al.*, 2016). De ce fait, tous les agents responsables de la CBB forment un pathovar polyphylétique de souches capables d'induire les mêmes symptômes sur haricot, suggérant une convergence pathologique de ces

souches, probablement via l'acquisition de déterminants communs de la spécificité d'hôte. Un de ces potentiels déterminants pourrait être les effecteurs Transcription Activator-Like (TALE). Il s'agit d'effecteurs de type III caractéristiques du genre *Xanthomonas* et des déterminants majeurs du pouvoir pathogène dont la fonction est liée à l'adaptation à l'hôte. En effet, une fois injectés par les bactéries dans la cellule de la plante hôte, ils pénètrent dans le noyau et se lient spécifiquement à l'ADN de l'hôte pour jouer le rôle de facteur de transcription (Boch & Bonas, 2010). Généralement, cette liaison se fait sur le promoteur d'un gène de sensibilité (*S*), dont l'expression favorise et est parfois nécessaire à l'infection.

Ainsi, le projet de recherche développé au cours de ma thèse portait sur l'identification de gènes candidats pour la spécificité d'hôte et l'étude du rôle des TALE dans l'interaction *Xanthomonas* - haricot.

## 2. Généralités sur les TALE

Les TALE possèdent une structure très conservée composée de quatre domaines fonctionnels : (i) un signal de sécrétion de type III pour être injecté dans la plante, (ii) des signaux de localisation nucléaire pour migrer jusqu'au noyau, (iii) une région centrale de répétitions pour se lier à l'ADN et (iv) un domaine activateur pour induire l'expression du gène ciblé (Mak *et al.*, 2012). Le propre des TALE réside dans leur spécificité de liaison à une séquence d'ADN cible de la plante hôte, via la région centrale composée d'un nombre variable de répétitions quasi-identiques entre elles. Dans chaque répétition, les acides aminés 12 et 13 sont hypervariables et nommés Repeat Variable Di-residues (RVD). Ce sont ces RVD qui permettent au TALE de se lier spécifiquement à sa séquence cible, un RVD se liant à un nucléotide. Ainsi, la séquence de RVD d'un TALE est spécifique de la séquence d'ADN ciblée, nommée Effector-Binding Element (EBE).

Généralement, un TALE cible un gène *S*, ce qui lui permet de favoriser l'infection. Par exemple, chez les souches pathogènes du riz plusieurs TALE ciblent des gènes de la famille *SWEET*, dont les produits sont impliqués dans l'export de sucres, ce qui favorise la multiplication bactérienne (Streubel *et al.*, 2013). Cependant, un TALE peut aussi cibler un gène de résistance, alors appelé *Executor*. Ceci est la conséquence d'un mécanisme de résistance mis en place par la plante afin de piéger le TALE pour qu'il déclenche une réaction de défense. Par exemple, AvrBs3 de *X. euvesicatoria* cible le gène *Bs3* du poivron ce qui déclenche une réaction hypersensible (Römer *et al.*, 2007). Toutefois, les EBE ciblées par la majorité des TALE connus à ce jour n'ont pas été identifiées, cette identification nécessitant la combinaison de plusieurs approches. En effet, les TALE agissant comme des facteurs de transcription, on peut rechercher leur cible par analyse comparative du transcriptome de la plante hôte après inoculation de souches exprimant le TALE ou non. Néanmoins, avec ce type d'analyse plusieurs centaines de gènes sont surexprimés et il est difficile d'identifier celui qui est réellement ciblé par le TALE. Ces analyses sont alors complétées par des prédictions d'EBE. En effet, il existe un "code TALE" qui relie chaque RVD aux nucléotides avec lesquels il est capable de se lier et qui permet donc de prédire les EBE théoriques dans le génome de la plante hôte (Boch *et al.*, 2009, 2014; Moscou & Bogdanove, 2009). Cependant, l'ensemble de ces analyses requiert le séquençage du génome de la plante hôte et des gènes codant les TALE (*tal*), le séquençage de type PacBio étant idéal pour obtenir les séquences de *tal* car il produit de longs fragments d'ADN permettant un assemblage correct des répétitions centrales.

## B. Résultats et perspectives

### 1. Données de séquençage

Au cours de ma thèse, les génomes de 17 souches représentant la diversité des quatre lignées génétiques de *Xcf-Xpp* ont été séquençés, ce qui a révélé l'existence de quatre gènes *tal* : *tal23A*, *tal20F*, *tal18G* et *tal18H* (Tableau 1). Ces quatre gènes *tal* correspondent à neuf séquences de RVD

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

différentes car *tal23A* est diversifié en six homologues via des insertions/délétions de répétitions internes complètes et/ou des substitutions affectant directement les RVD (**Figure 2**).

**Tableau 1 : Diversité des 17 souches bactériennes responsables de la CBB séquencées.** Le nombre de croix indique le nombre de *tal* correspondant dans la souche. NC = non communiqué.

**Table 1: Diversity of 17 bacterial strains responsible for CBB sequenced.** The crosses number indicates the number of corresponding *tal* in the strain. NC = not communicated.

Espèce (lignée)	Souche	Pays (date d'isolation)	Nombre de <i>tal</i>	<i>tal</i>			
				<i>tal23A</i>	<i>tal20F</i>	<i>tal18G</i>	<i>tal18H</i>
<i>X. citri</i> pv. <i>fuscans</i> (fuscans)	CFBP4885	France (1998)	2	×			×
	CFBP6165	Canada (1957)	1	×			
	CFBP6166	Afrique du Sud (1963)	2	×			×
	CFBP6167	Etats-Unis (1954)	2	×			×
	CFBP6975	France (1994)	2	×			×
	CFBP7767R	Cameroun (2009)	2	×			×
<i>X. citri</i> pv. <i>fuscans</i> (NF2)	CFBP6988R	Ile de la Réunion (2000)	3	×	×	×	
	CFBP6989	Ile de la Réunion (2000)	3	×	×	×	
	CFBP6990	Ile de la Réunion (2000)	3	×	×	×	
	CFBP6991	Ile de la Réunion (2000)	3	×	×	×	
<i>X. citri</i> pv. <i>fuscans</i> (NF3)	CFBP6992	Ile de la Réunion (2000)	1	×			
	CFBP6994R	Tanzanie (1990)	1	×			
	CFBP6996R	Ile de la Réunion (2000)	1	×			
<i>X. phaseoli</i> pv. <i>phaseoli</i> (NF1)	CFBP412	Etats-Unis (NC)	1	×			
	CFBP6164	Roumanie (1966)	3	×			xx
	CFBP6546R	Etats-Unis (NC)	2	×			×
	CFBP6982	Ile de la Réunion (2000)	2	×			×

<i>tal</i>	Nom et alignement des séquences de RVD																							
<i>tal23A</i>	TAL23A	NI	NG	NI	NG	NI	NN	NG	NN	HD	HD	NN	NN	HD	NI	HD	NI	HD	HD	HD	HD	HD	NG	NG
	TAL22B	NI	NG	NI	NG	NI	NN	NG	NN	HD	NN	NN	NN	HD	NI	HD	NI	HD	HD	HD	HD	HD	NG	
	TAL22C		NG	NI	NG	NI	NN	NG	NN	HD	HD	NN	NN	HD	NI	HD	NI	HD	HD	HD	HD	HD	NG	NG
	TAL21D	NI	NG	NI	NG	NI	NN	NG	NN	HD	HD	NN	NN	HD		HD	NI	HD	HD	HD	HD		NG	HD
	TAL19E	NI	NG	NI	NG	NI	NN	NG	NN	HD	HD	NN	NN	HD			NI	HD	HD	HD	HD		NG	
	TAL19I	NI	NG	NI	NG	NI	NN	NG	NN	HD	HD	NN	NN	HD		HD	NI	HD	HD				NG	HD
<i>tal20F</i>	TAL20F	N*	HD	HD	NG	NG	NI	NG	NI	NI	NN	NI	HD	HD	HD	HD	HD	HD	NI	HD	NK	NG		
<i>tal18G</i>	TAL18G	N*	HD	HD	NG	NG	NI	NG	NI	NI	NN	NI	HD	HD	HD			NI	HD	NK	NG			
<i>tal18H</i>	TAL18H	NI	NG	HD	NG	HD	NI	NG	NI	HD	HY	NN	N*	HD	NG	HY	NN	HD	NG					

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

**Figure 2 : Alignement des neuf séquences de RVD retrouvées dans les TALE des 17 souches responsables de la CBB.** Les séquences de RVD qui pouvaient être alignées ont été regroupées ensemble, les insertions/délétions sont représentés par des rectangles orange et les potentielles substitutions sont marquées en jaune.

**Figure 2: Alignment of the nine RVD sequences retrieved in TALE from 17 strains responsible for CBB.** RVD sequences that could be aligned are grouped together, indels are represented by orange rectangles and putative substitutions are marked with yellow colour.

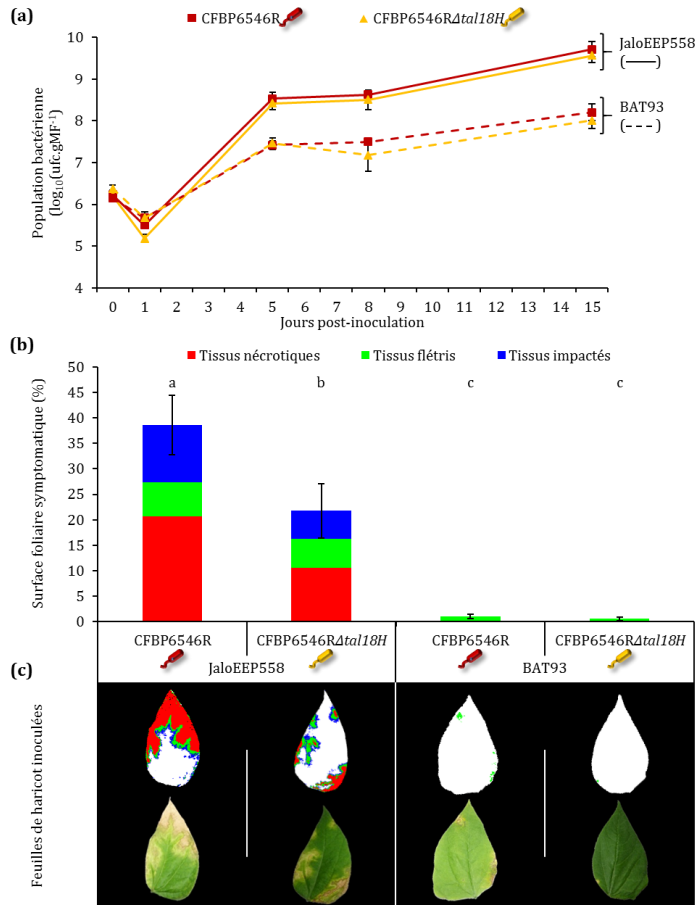
Les gènes *tal23A* et *tal18H* sont les plus intéressants car ils sont partagés et conservés entre *Xcf* et *Xpp* et sont impliqués dans l'adaptation des *Xanthomonas* au haricot (Ruh *et al.*, 2017). En effet, *tal23A* est présent chez toutes les souches séquencées et *tal18H* est présent chez presque toutes les souches des lignées fuscans et NF1, permettant à ces deux lignées de cibler la même EBE dans le génome du haricot alors qu'elles sont phylogénétiquement éloignées, ce qui n'avait jamais été décrit auparavant.

Par ailleurs, nous avons séquencé le génome de deux variétés de haricot représentant les deux centres de diversité majeurs du haricot : JaloEEP558 (andin) et BAT93 (méséoaméricain). Ainsi, nous avons des éléments pour identifier les cibles des TALE de *Xcf-Xpp* et d'éventuelles résistances puisque JaloEEP558 est sensible alors que BAT93 est modérément résistant à la CBB (Nodari *et al.*, 1993).

## 2. Etudes de TAL18H et de TAL23A

Pour étudier TAL18H, un mutant de délétion de ce *tal* (CFBP6546R $\Delta$ *tal18H*) a été produit et inoculé sur JaloEEP558 et BAT93. Ainsi, nous avons analysé l'impact de TAL18H sur la pathogénie de la souche CFBP6546R et sur le transcriptome des deux variétés de haricot. Les analyses de pathogénie ont confirmé la sensibilité de JaloEEP558 et la résistance de BAT93 à la CBB et ont révélé que TAL18H était impliqué dans l'agressivité de la souche sans impacter la croissance bactérienne (**Figure 3**).

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE



**Figure 3 : Comparaison de l'impact de TAL18H sur la population bactérienne *in planta* et sur l'agressivité de la souche chez deux variétés de haricot. (a)** Dynamique de population bactérienne après inoculation des souches CFBP6546R et CFBP6546R $\Delta$ tal18H sur JaloEEP558 et BAT93 exprimée en  $\log_{10}(\text{ufc.gMF}^{-1})$  (gMF = gramme de matière fraîche). **(b)** Surface foliaire symptomatique de JaloEEP558 et BAT93 15 jours après inoculation des souches CFBP6546R et CFBP6546R $\Delta$ tal18H. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la surface symptomatique totale. Les différentes lettres indiquent que les conditions sont significativement différentes avec une p-value < 0,05 selon le test de Mann-Whitney. **(c)** Exemples de feuilles de JaloEEP558 et BAT93 15 jours après inoculation des souches CFBP6546R et CFBP6546R $\Delta$ tal18H analysées par imagerie en fluorescence de chlorophylle (en haut) et l'image visible des feuilles correspondantes (en bas). Les conditions d'inoculation sont indiquées au-dessus et la légende colorée des symptômes est identique à celle de l'histogramme (b).

**Figure 3: Comparison of TAL18H impact on *in planta* bacterial population and on strain aggressiveness in two bean varieties. (a)** Bacterial population dynamics after inoculation of CFBP6546R and CFBP6546R $\Delta$ tal18H on JaloEEP558 and BAT93 expressed in  $\log_{10}(\text{cfu.gFM}^{-1})$  (gFM = gram of fresh material). **(b)** Symptomatic leaf area of JaloEEP558 and BAT93 15 days after inoculation of CFBP6546R and CFBP6546R $\Delta$ tal18H. The error bars represent the standard error of the total symptomatic area. Different letters indicate that the conditions are significantly different with



## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

a  $p$ -value  $< 0.05$  based on the Mann–Whitney test. (c) Examples of JaloEEP558 and BAT93 leaves 15 days after inoculation of CFBP6546R and CFBP6546R $\Delta$ tal18H analysed by chlorophyll fluorescence imaging (top) and the visible image of the corresponding leaves (bottom). The inoculation conditions are indicated above and the coloured legend of symptoms is identical to it of histogram (b).

D'autre part, l'analyse comparative du transcriptome des deux variétés de haricot après inoculation de la souche CFBP6546R a révélé quatre gènes de résistance induits spécifiquement chez JaloEEP558 donc potentiellement impliqués dans la résistance du haricot à la CBB. Également, l'analyse comparative du transcriptome de haricot après inoculation des souches CFBP6546R et CFBP6546R $\Delta$ tal18H ont révélé que TAL18H affectait particulièrement l'expression de gènes associés à la paroi et, avec des prédictions d'EBE, ont permis d'identifier trois cibles potentielles de TAL18H.

Également, un mutant de délétion pour étudier TAL23A (CFBP6165R $\Delta$ tal22B) a été produit. Ce mutant étant totalement dépourvu de *tal*, il permettra donc aussi d'étudier tous les autres *tal* par complémentation. Ainsi, les mutants complétés avec les six homologues de *tal23A* ont été construits et inoculés sur haricot et des données de transcriptomique ont été produites. Une fois analysées, elles permettront d'identifier les EBE ciblées par l'ensemble des homologues de *tal23A*.

### 3. Résistances basées sur les TALE en perspective

L'étude des TALE de souches infectant le haricot n'avait jamais été entreprise auparavant. Pourtant, ces effecteurs constituent une base très intéressante pour le développement de résistances. En effet, certaines plantes ont mis en place des mécanismes de résistances pour contrer les TALE, dont on peut s'inspirer pour générer des cultivars résistants (Bogdanove *et al.*, 2010; Schornack *et al.*, 2013). Par exemple, on peut modifier la séquence d'une EBE pour empêcher l'accroche du TALE et l'induction du gène *S*, ce qui engendre une perte de sensibilité chez la plante, ou on peut déplacer l'EBE en amont d'un gène *Executor* pour piéger le TALE afin qu'il déclenche une réaction de défense. Ainsi, pour le haricot, une fois que les EBE des TALE de *Xcf-Xpp* auront été confirmées, il sera possible de produire des variétés résistants. En effet, il sera envisageable de générer des haricots résistants par sélection variétale, si des variations d'EBE corrélées à des résistances sont identifiées, ou par édition génomique, en modifiant directement les EBE, comme cela a été fait chez le riz (Li *et al.*, 2012; Zeng *et al.*, 2015; Blanvillain-Baufumé *et al.*, 2017). Il sera également possible de développer des haricots résistants par croisement, si un gène *Executor* est identifié, ou par édition génomique, en plaçant directement les EBE dans le promoteur d'un gène *Executor*, comme cela a été fait chez le riz et le poivron (Wang *et al.*, 2015; Hutin *et al.*, 2016; Hummel *et al.*, 2017). Cette seconde option semble être la plus pertinente étant donné qu'il est possible de placer plusieurs EBE devant un même gène *Executor* afin que la plante soit résistante à différentes souches en contrant plusieurs TALE simultanément (Hummel *et al.*, 2012; Zeng *et al.*, 2015).

### C. Conclusion

Les résistances basées sur les TALE représentent une nouvelle opportunité pour lutter contre les bactéries du genre *Xanthomonas*. Ces résistances peuvent être découvertes rapidement, en combinant des approches de transcriptomique et de prédictions d'EBE. Une fois l'EBE identifiée, on peut la modifier ou la déplacer pour créer des résistances contre les TALE. Avec les données et les résultats produits au cours de ma thèse, il est aujourd'hui envisageable de générer des variétés de haricot résistantes à la CBB en se basant sur les TALE. En effet, les EBE ciblées par les TALE de *Xcf-Xpp* sont en cours de validation et les données transcriptomiques produites pour l'étude de TAL18H ont permis de trouver de potentiels gènes *Executor*. Ainsi, une nouvelle thèse poursuivant actuellement mes travaux et les avancées en cours permettront dans un avenir proche de produire des variétés de haricot résistantes à la CBB, par pyramidage d'EBE en amont d'un gène *Executor*, en se basant sur les TALE identifiés au cours de ma thèse.

### Bibliographie

- Alavi SM, Sanjari S, Durand F, Brin C, Manceau C, Poussier S. 2008.** Assessment of the genetic diversity of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans* as a basis to identify putative pathogenicity genes and a type III secretion system of the SPI-1 family by multiple suppression subtractive h. *Applied and Environmental Microbiology* **74**: 3295–3301.
- Blanvillain-Baufumé S, Reschke M, Solé M, Auguy F, Doucoure H, Szurek B, Meynard D, Portefaix M, Cunnac S, Guiderdoni E, et al. 2017.** Targeted promoter editing for rice resistance to *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* reveals differential activities for SWEET14-inducing TAL effectors. *Plant biotechnology journal* **15**: 306–317.
- Boch J, Bonas U. 2010.** *Xanthomonas* AvrBs3 family-type III effectors: discovery and function. *Annual Review of Phytopathology* **48**: 419–36.
- Boch J, Bonas U, Lahaye T. 2014.** TAL effectors - pathogen strategies and plant resistance engineering. *New Phytologist* **204**: 823–832.
- Boch J, Scholze H, Schornack S, Landgraf A, Hahn S, Kay S, Lahaye T, Nickstadt A, Bonas U. 2009.** Breaking the code of DNA binding specificity of TAL-type III effectors. *Science* **326**: 1509–12.
- Bogdanove AJ, Schornack S, Lahaye T. 2010.** TAL effectors: Finding plant genes for disease and defense. *Current Opinion in Plant Biology* **13**: 394–401.
- Constantin EC, Cleenwerck I, Maes M, Baeyen S, Van Malderghem C, De Vos P, Cottyn B. 2016.** Genetic characterization of strains named as *Xanthomonas axonopodis* pv. *dieffenbachiae* leads to a taxonomic revision of the *X. axonopodis* species complex. *Plant Pathology* **65**: 792–806.
- Hummel AW, Doyle EL, Bogdanove AJ. 2012.** Addition of transcription activator-like effector binding sites to a pathogen strain-specific rice bacterial blight resistance gene makes it effective against additional strains and against bacterial leaf streak. *New Phytologist* **195**: 883–893.
- Hummel AW, Wilkins KE, Wang L, Cernadas RA, Bogdanove AJ. 2017.** A transcription activator-like effector from *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* elicits dose-dependent resistance in rice. *Molecular plant pathology* **18**: 55–56.
- Hutin M, Césari S, Chalvon V, Michel C, Tran TT, Boch J, Koebnik R, Szurek B, Kroj T. 2016.** Ectopic activation of the rice NLR heteropair RGA4/RGA5 confers resistance to bacterial blight and bacterial leaf streak diseases. *Plant Journal* **88**: 43–55.
- Li C, Wei J, Lin Y, Chen H. 2012.** Gene silencing using the recessive rice bacterial blight resistance gene *xa13* as a new paradigm in plant breeding. *Plant Cell Reports* **31**: 851–862.
- De Lúque JJR, Creamer B. 2014.** Major constraints and trends for common bean production and commercialization ; establishing priorities for future research. *Agronomía Colombiana* **32**: 423–431.
- Mak AN, Bradley P, Cernadas RA, Bogdanove AJ, Stoddard BL. 2012.** The Crystal Structure of TAL Effector PthXo1 Bound to Its DNA Target. *Science* **335**: 716–719.
- Moscou MJ, Bogdanove AJ. 2009.** A simple cipher governs DNA recognition by TAL effectors. *Science* **326**: 1501.
- Mutlu N, Vidaver AK, Coyne DP, Steadman JR, Lambrecht PA, Reiser J. 2008.** Differential Pathogenicity of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *X. fuscans* subsp. *fuscans* Strains on Bean Genotypes with Common Blight Resistance. *Plant Disease* **92**: 546–554.
- Nodari RO, Tsai SM, Guzmán P, Gilbertson RL, Gepts P. 1993.** Toward an Integrated Linkage Map of Common bean. III. Mapping Genetic Factors Controlling Host-Bacterial Interactions. *Genetics* **134**: 341–50.

- Römer P, Hahn S, Jordan T, Strauss T, Bonas U, Lahaye T. 2007.** Plant pathogen recognition mediated by promoter activation of the pepper Bs3 resistance gene. *Science* **318**: 645–648.
- Ruh M, Briand M, Bonneau S, Jacques M-A, Chen NWG. 2017.** Xanthomonas adaptation to common bean is associated with horizontal transfers of genes encoding TAL effectors. *BMC Genomics* **18**: 670.
- Schorneck S, Moscou MJ, Ward ER, Horvath DM. 2013.** Engineering Plant Disease Resistance Based on TAL Effectors. *Annual Review of Phytopathology* **51**: 383–406.
- Streubel J, Pesce C, Hutin M, Koebnik R, Boch J, Szurek B. 2013.** Five phylogenetically close rice SWEET genes confer TAL effector-mediated susceptibility to *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *New Phytologist* **200**: 808–819.
- Wang C, Zhang X, Fan Y, Gao Y, Zhu Q, Zheng C, Qin T, Li Y, Che J, Zhang M, et al. 2015.** XA23 is an executor protein and confers broad-spectrum disease resistance in rice. *Molecular Plant* **8**: 290–302.
- Zeng X, Tian D, Gu K, Zhou Z, Yang X, Luo Y, White FF, Yin Z. 2015.** Genetic engineering of the Xa10 promoter for broad-spectrum and durable resistance to *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Plant Biotechnology Journal* **13**: 993–1001.

## LA PROTÉOMIQUE DE NOUVELLE GÉNÉRATION POUR LA SURVEILLANCE ÉCOTOXICOLOGIQUE DES ENVIRONNEMENTS AQUATIQUES

Duarte GOUVEIA <sup>1,3</sup>, Arnaud CHAUMOT <sup>1</sup>, Arnaud SALVADOR <sup>2</sup>, Davide DEGLIESPOSTI <sup>1</sup>, Christine ALMUNIA <sup>3</sup>, Jean ARMENGAUD <sup>3</sup>, Olivier GEFFARD <sup>1</sup>,

Travail effectué au sein des établissements suivants :

<sup>1</sup> Irstea, UR RiverLy, Laboratoire d'écotoxicologie, F-69625 Villeurbanne, France

<sup>2</sup> Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENS de Lyon, Institut des Sciences Analytiques, UMR 5280, 5 rue de la Doua, F-69100 Villeurbanne, France

<sup>3</sup> Laboratoire Innovations technologiques pour la Détection et le Diagnostic (Li2D), Service de Pharmacologie et Immunoanalyse (SPI), CEA, INRA, F-30207 Bagnols sur Cèze, France.

Présenté par Dominique **JOB**

Directeur de Recherche émérite au CNRS, Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 6, Sciences de la vie.

### RÉSUMÉ

La surveillance écotoxicologique des environnements aquatiques repose sur l'observation chez des organismes sentinelles d'effets toxiques liés à une contamination environnementale. Elle se voit à l'heure actuelle fortement encouragée par le recours possible aux outils moléculaires de nouvelle génération. Nous proposons ici une méthodologie s'appuyant sur le couplage de techniques « omiques » afin de définir des biomarqueurs renseignant de la qualité des écosystèmes aquatiques. Une fois définis, ces multiples biomarqueurs peuvent être dosés rapidement à l'aide de spectromètres de masse en tandem. Nous décrivons ici le processus de découverte et de validation de biomarqueurs faisant appel à deux types d'analyses protéomiques, et l'illustrons pour une espèce non-modèle commune dans nos rivières, le crustacé *Gammarus fossarum*. Les protéines candidates biomarqueurs ont tout d'abord été identifiées par une approche de protéogénomique comparative. Une méthode de quantification absolue de ces protéines par spectrométrie de masse ciblée a ensuite été développée pour permettre le suivi simultané de 25 biomarqueurs d'intérêt à partir d'un seul organisme prélevé. La capacité de cette approche comme outil de diagnostic de la qualité des écosystèmes aquatiques a été testée à large échelle en analysant des centaines de prélèvements de terrain réalisés sur les réseaux de surveillance opérationnels. Ce concept novateur couplant la biosurveillance active et l'analyse multi-biomarqueurs par spectrométrie de masse à haute résolution peut être appliqué à tout type d'organismes sentinelles. Les données enregistrées permettent alors de proposer un indicateur très performant et fiable de l'état de réactivité et de sensibilité de ces organismes sentinelles aux perturbations chimiques environnementales.

## NEXT-GENERATION PROTEOMICS FOR THE ECOTOXICOLOGICAL MONITORING OF AQUATIC ENVIRONMENTS

### Abstract

*The ecotoxicological monitoring of aquatic environments relies on the observation in sentinel organisms of possible toxic effects due to toxic exposures. In recent times, these observations have been shifting from single biomarker-based classical biochemical techniques, to the use of next generation high-throughput molecular tools. In this work, we propose an omics-based methodology for defining biomarkers that will inform about the quality of aquatic ecosystems. Once selected, these multiple biomarkers can be quickly assayed using tandem mass spectrometry. We describe the implementation of a two-stage proteomics-based biomarker discovery and validation workflow, illustrated with a case study using a non-model sentinel species that is highly represented in European rivers, the amphipod Gammarus fossarum. Candidate biomarker proteins were first identified by a comparative proteogenomics approach. Then, a targeted mass spectrometry methodology was developed for the absolute quantification of these proteins, allowing for the simultaneous quantification of 25 biomarkers of interest in one single organism. The potential use of this approach as a diagnostic tool for the quality of aquatic ecosystems was tested on hundreds of field samples collected from several rivers monitored by the French water agency. This innovative concept that combines active biomonitoring with high resolution mass spectrometry multibiomarker analysis can be applied to all types of sentinel organisms. The data obtained from these analyses contribute usefully for the construction of a powerful and reliable indicator of the reactivity and sensitivity status of these sentinel organisms to environmental perturbations.*

### Contexte

La biosurveillance est une approche couramment utilisée en écotoxicologie aquatique afin d'évaluer la qualité de l'environnement (Oikari, 2006). Elle repose sur l'utilisation de certains organismes vivants représentatifs des milieux pour évaluer l'état global d'un écosystème. L'observation de ces organismes sentinelles permet de sonder les niveaux et les effets biologiques des contaminants présents dans l'environnement. Ces organismes proviennent d'une source « non-contaminée » et sont par exemple déployés sur les sites étudiés par encagement. Ce principe de biosurveillance dite active permet d'éviter plusieurs biais liés par exemple à l'âge ou au cycle de reproduction des organismes, à leur capacité migratoire, à la durée d'exposition, à l'adaptation locale des organismes, facilitant ainsi l'interprétation des effets mesurés en termes de toxicologie. Des milliers de substances chimiques provenant de plusieurs sources telles que l'industrie, l'urbanisation, les transports, la vie quotidienne ou l'agriculture intensive, sont couramment rejetées dans les milieux aquatiques. Ces molécules peuvent être persistantes et s'accumuler dans les organismes, au long de la chaîne alimentaire, constituant un risque écologique et sanitaire majeur. Les effets de ces multi-contaminations complexes sur les organismes et écosystèmes aquatiques doivent désormais être établis et suivis de façon rigoureuse afin de définir des mesures de prévention adaptées en vue de l'amélioration de l'état des écosystèmes aquatiques. En Europe, ces mesures sont encadrées par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE - n°2000/60/CE), qui établit une politique communautaire globale visant l'adoption des plans de gestion et des programmes de mesures appropriées à chaque masse

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

d'eau<sup>1</sup>. La mise en place de cette législation questionne aujourd'hui le besoin de nouvelles méthodes d'évaluation et de prédiction du risque toxique pour l'environnement, les organismes qu'y habitent, et l'homme. Les mesures chimiques seules renseignent sur les polluants présents mais ne permettent pas une compréhension de la toxicité associée à ces mélanges de composés. L'approche combinée des mesures physico-chimiques de l'eau avec des mesures des effets biologiques provenant de la biosurveillance active constitue une stratégie pertinente pour répondre à ces défis. Ce sont les mesures biologiques qui vont informer de la réelle biodisponibilité de ces molécules et de leur toxicité pour les organismes aquatiques, intégrant l'effet cocktail, c'est-à-dire les effets synergiques ou antagonistes entre les composés présents.

Dans ce contexte, l'analyse des réponses biologiques à l'échelle moléculaire, basée sur le dosage de nombreux biomarqueurs moléculaires, permet d'établir le diagnostic écotoxicologique précis d'une situation environnementale donnée en cas de contamination. Le concept de biomarqueur moléculaire est appliqué depuis longtemps dans le domaine médical pour établir le diagnostic de nombreuses maladies, et sur le même principe est aujourd'hui utilisé en écotoxicologie pour révéler des stress environnementaux causés par des contaminants chimiques. Mais contrairement au domaine de la santé humaine, l'utilisation de tels biomarqueurs en biosurveillance en reste à ses balbutiements. Son utilisation limitée est liée à la difficulté d'identifier, pour les invertébrés notamment, des biomarqueurs spécifiques et conservés chez tous les espèces, et à leur faible pertinence écologique (Forbes *et al.*, 2006). Le dosage d'un biomarqueur unique n'est pas représentatif de l'ensemble des modes d'action des contaminants sur les organismes vivants, ni de leurs effets spécifiques sur un individu donné. Une des stratégies pour prendre en compte la diversité des contaminants et la multiplicité des effets qu'ils peuvent exercer, est basée sur la multiplication des biomarqueurs. L'approche multi-biomarqueurs nécessite aujourd'hui la maîtrise des méthodologies « omiques » dites de dernière génération. Les données obtenues pour une batterie de biomarqueurs peuvent ensuite être intégrées sous forme d'indices multi-biomarqueurs, outil proposé par exemple comme indicateur de l'état de santé des organismes (Beliaeff et Burgeot, 2002). Pour l'heure, les efforts sur le développement de biomarqueurs en écotoxicologie ont été concentrés sur des espèces de vertébrés, alors que pour les espèces d'invertébrés, majoritaires dans les milieux aquatiques, les biomarqueurs spécifiques sont rares et non opérationnels. De plus, la grande divergence phylogénétique entre ces espèces ne permet pas toujours la transférabilité des biomarqueurs d'une espèce à l'autre. D'un point de vue technique, les méthodes de mesure de biomarqueurs classiques utilisés en écotoxicologie sont surtout des essais enzymatiques, longs à développer et mettre en œuvre alors que le nombre d'échantillons à analyser peut être important. Aujourd'hui les outils modernes de biologie moléculaire, de séquençage et de spectrométrie de masse permettent une analyse facile et directe de l'ensemble des gènes et de leurs produits que sont les ARN messagers et les protéines. Les technologies de pointe tels que les séquenceurs de nouvelle génération (NGS) ou la spectrométrie de masse en tandem à très haute résolution (MS) permettent des analyses à très haut-débit de l'ensemble des molécules d'un échantillon biologique, facilitant ainsi le développement et l'analyse de nouveaux biomarqueurs. Dans cette communication de recherche, nous exposons une méthodologie alliant transcriptomique et protéomique pour définir des biomarqueurs d'intérêt chez un organisme non-modèle, et le développement d'un essai multi-biomarqueur directement applicable sur de nombreux échantillons de terrain, en vue d'une utilisation en biosurveillance. Ce concept d'« écotoxicoprotéogénomique » illustre l'utilisation des approches moléculaires modernes dans un cadre de biosurveillance des milieux aquatiques, sur la base d'un cas d'étude concret réalisé sur le crustacé amphipode *Gammarus fossarum*.

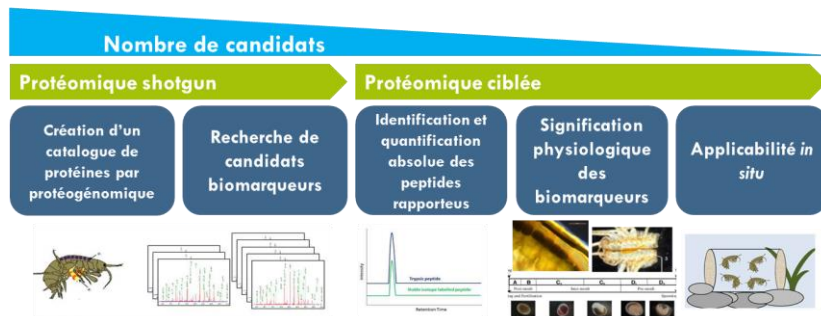
---

<sup>1</sup> La Directive Cadre Européenne sur l'Eau ou DCE (2000/60/CE) établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. L'objectif de cette directive est de retrouver le bon état chimique et écologique des eaux de surface (cours d'eau, lacs, eaux de transition, eaux côtières) et le bon état quantitatif et chimique des eaux souterraines à l'échéance 2015.

### A- Une approche multi-omiques pour le développement de biomarqueurs de toxicité

Aujourd'hui, l'information moléculaire telle que séquences de gènes et de protéines est relativement rare pour la majorité des espèces sentinelles utilisées en écotoxicologie. L'obtention de ce type d'information est d'une grande importance en écotoxicologie car elle permet d'interpréter et prédire l'impact toxique de contaminants sur des fonctions vitales des organismes, et de détecter des effets moléculaires plus précoces, avant des manifestations physiologiques de plus long terme. Récemment, la protéogénomique est apparue comme une solution pour lever ce verrou sur les connaissances moléculaires chez les espèces non-modèles (Armengaud *et al.*, 2014). La protéogénomique combine des analyses génomiques, transcriptomiques et protéomiques pour l'identification sans *a priori* de nouvelles séquences protéiques, et est aujourd'hui appliquée couramment pour la découverte de protéines chez des espèces non-modèles. Cette approche a été utilisée chez le crustacé sentinelle *Gammarus fossarum*, conduisant à l'identification rapide de 1873 protéines des tissus reproductifs et impliqués dans le stockage et la synthèse des hormones de l'espèce. Dans ce cas, le transcriptome de l'animal a été séquencé ; puis cette information a été traduite par voie informatique en protéines afin d'obtenir une base de données recensant toutes les séquences possibles de protéines. Enfin, des données expérimentales ont été acquises par spectrométrie de masse dite shotgun (en vrac) et les spectres obtenus ont pu être assignés à des séquences de peptides grâce à la base de données créée par protéogénomique. Cette étape est primordiale car elle permet la découverte et la validation de très nombreuses protéines chez cette espèce orpheline d'un point de vue des connaissances moléculaires disponibles. Ensuite, des expériences où différentes conditions sont comparées permettent de définir les biomarqueurs (Trapp *et al.*, 2014a). Tel que montré sur la **Figure 1**, les protéines d'organismes exposés aux contaminants en laboratoire et les protéines d'organismes non-exposés sont comparées en terme d'abondance, permettant d'identifier les protéines induites ou réprimées suite à l'exposition aux contaminants modèles choisis.

Commenté [DJ1]: long terme



**Figure 1** – Le « pipeline » couplant la protéogénomique de découverte et la protéomique ciblée pour le développement de biomarqueurs de toxicité chez des espèces non-modèles. Adapté de Trapp *et al.* (2014a).

La deuxième étape consiste à valider les candidats biomarqueurs par spectrométrie de masse ciblée à partir d'organismes exposés au laboratoire et sur le terrain. Pour cela, les protéines détectées et modulées dans la première étape sont systématiquement dosées de façon très spécifique par protéomique ciblée du type *Selected Reaction Monitoring* (SRM), permettant de suivre leurs concentrations absolues entre différents échantillons. Pour cela, l'abondance de peptides représentatifs est mesurée et comparée avec des étalons internes contenant des isotopes différentiels. Cet essai

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

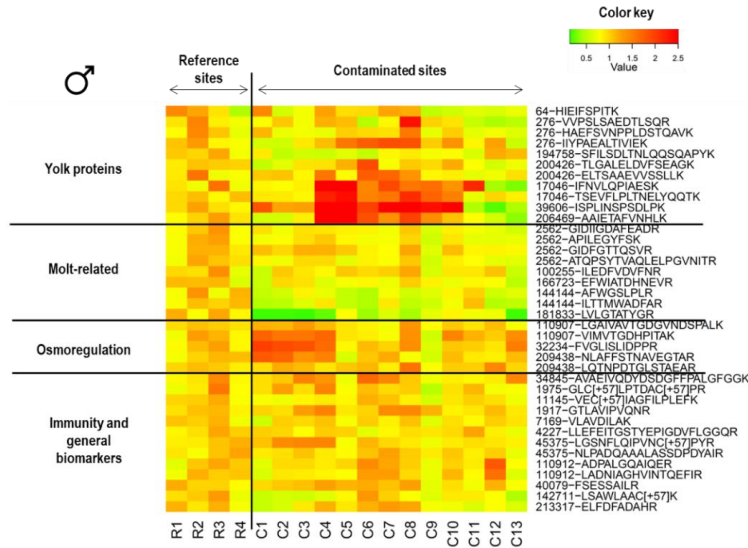
quantitatif très précis d'un échantillon à l'autre permet de valider les biomarqueurs distinguant les conditions témoin et stressé, et de rejeter d'éventuels faux positifs.

**B- Cas d'école : l'organisme non-modèle *Gammarus fossarum***

Nos équipes de recherche spécialisées en écotoxicologie, protéomique, chimie analytique, ont collaboré afin de démontrer la pertinence de cette démarche pour le développement d'un outil robuste pour la quantification multi-biomarqueurs applicable en biosurveillance de l'environnement. Ce qui a été réalisé sur l'amphipode *G. fossarum* est un vrai cas d'école illustrant cette démarche originale. A partir du catalogue de protéines spécifiques établi chez *G. fossarum*, identifiées par protéogénomique (Trapp *et al.*, 2014b), plusieurs dizaines de protéines biomarqueurs ont été sélectionnées comme rapporteurs de fonctions physiologiques clés, comme la mue, la détoxification et la reproduction. Un essai SRM a été développé et validé pour le suivi quantitatif de cet ensemble de biomarqueurs candidats (Charnot *et al.*, 2017). Il a été appliqué avec succès dans le cadre d'expositions d'organismes à des molécules modèles en conditions contrôlées au laboratoire (Gouveia *et al.*, 2017b). Puis, nous l'avons déployé à grande échelle dans le cadre du suivi d'organismes exposés dans la nature *in situ* sur dix-sept sites du réseau régional de surveillance dans le Sud-Est de la France (Gouveia *et al.*, 2017a). Les expositions *in situ* ont été faites par encagement actif, où quelques gammarès « biologiquement synchronisés et calibrés » provenant de la même population source ont été placés à l'intérieur de cages permettant la libre circulation de l'eau et exposés pour une durée qui couvre un cycle de reproduction entier (Coulaud *et al.*, 2011). La **Figure 2** présente un exemple de résultats sous forme de carte en dégradé de couleurs indiquant les résultats quantitatifs obtenus pour 25 biomarqueurs mesurés simultanément dans chaque organisme mâle exposé sur quatre sites références (R1 – R4) et treize sites contaminés (C1 – C13). Le code couleur représente le niveau de changement des concentrations des biomarqueurs par rapport à la moyenne des sites références (la diminution est indiquée en vert, et l'augmentation en rouge), et ce pour cinq individus analysés par site. Ce graphe met en évidence, pour certains des sites, des inductions de certaines protéines de type vitellogénines (Yolk protein) et osmorégulation, et des diminutions importantes des concentrations de protéines liées au processus de la mue, indiquant des effets physiologiques marqués de certains sites contaminés. Il est par ailleurs connu que, pour cette espèce, les processus moléculaires en lien avec le cycle de mue peuvent être fortement impactés par des contaminants du type perturbateur endocrinien (Geffard *et al.*, 2010 ; Gouveia *et al.*, 2018).



## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE



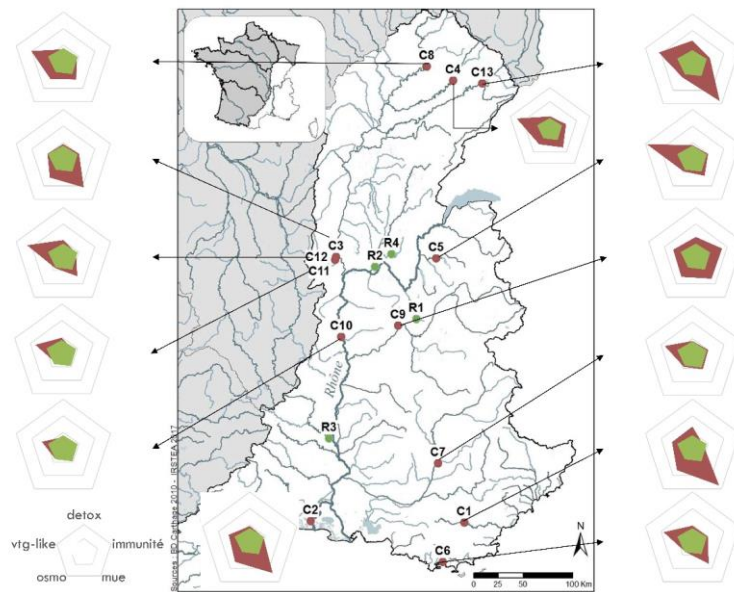
**Figure 2** – Carte en dégradé de couleurs des résultats de quantification de l'ensemble des 25 biomarqueurs dans les organismes mâles placés dans les conditions environnementales des 17 sites étudiés. Chaque site est représenté par une colonne, et la quantification de chacun des peptides rapporteurs est reportée dans une ligne. Chaque peptide est un rapporteur spécifique pour une protéine, indiqué par le numéro en amont de la séquence du peptide (exemple : la protéine 276 est présentée avec ses trois peptides rapporteurs). Pour la construction de la carte, les valeurs de changement d'abondance des peptides sont calculées par rapport à la moyenne des quatre sites référence. Le gradient de couleur varie de vert (concentration basse) à rouge (concentration élevée). Les protéines sont regroupées par rapport à leur fonction supposée. Selon Gouveia *et al.* (2017a).

Dans cette **Figure 2** sont représentés un total de 3230 points de mesure correspondant à 38 peptides rapporteurs de 25 protéines dont les abondances ont été quantifiées sur 85 organismes traités individuellement. Ces mesures ont été faites également en parallèle sur des organismes femelles (résultats non montrés), ce qui a résulté en 6460 mesures sur un total de 170 organismes. Bien que constituant un jeu de données de grande dimension, l'ensemble des analyses, allant de l'extraction des protéines à la mesure de leur niveau d'accumulation, a pu être réalisé dans un laps de temps de seulement deux semaines. Cette méthodologie constitue ainsi un énorme progrès en termes de gain de temps pour l'analyse de multiples biomarqueurs en comparaison avec les techniques de biochimie classique. Nous avons démontré que cet essai était vraiment applicable pour des études de biosurveillance en routine. A l'instar des indices multi-biomarqueurs utilisés en écotoxicologie (Beliaeff et Burgeot, 2002), la multiplicité de réponses moléculaires en lien avec de grandes fonctions physiologiques suivies par notre essai peut aussi gagner en termes d'intégration pour leur interprétation. Regrouper ces réponses en grandes fonctions permet de construire un indicateur de l'état de santé des organismes en réponse à l'action de polluants chimiques. Un tel exercice avait déjà été proposé pour des données protéomiques semi-quantitatives obtenues chez le poisson (Roland *et al.*, 2016). Dans ce cas, les auteurs ont mis en évidence que les représentations graphiques des indices permettaient de différencier le type de polluant induisant ces réponses protéomiques.

Avec les données de la **Figure 2** nous proposons aussi, à partir d'un regroupement des biomarqueurs en cinq grandes fonctions (détoxification, immunité, mue, osmorégulation, et protéines des œufs), et de l'intégration des écarts au niveau moyen de référence, la construction d'un indice

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

multi-biomarqueurs original chez le gammare. La représentation graphique de notre indice en forme d'étoile (**Figure 3**) permet une visualisation rapide de possibles dysfonctionnements des fonctions suivies, mettant notamment en évidence la spécificité des réponses enregistrées entre les différents sites étudiés.



**Figure 3** – Représentation graphique d'un indice multi-biomarqueur intégrant un ensemble de 25 biomarqueurs en cinq grandes fonctions : détoxification, immunité, osmorégulation, mue, et type-vtg. La zone verte correspond aux valeurs de l'indice combiné pour les quatre sites références (R1-R4), et en rouge pour chacun des sites contaminés (C1-C13).

Par exemple, les expositions dans les sites C1 et C2 ont provoqué des modulations au niveau de l'abondance des protéines impliquées dans l'osmorégulation et la mue, alors que l'exposition dans le site C5 a provoqué une modulation de l'accumulation des protéines type vtg, donc de la vitellogenèse. Ces signatures moléculaires pourront à l'avenir être utilisées pour déchiffrer rapidement le type de pressions ou contaminants présents dans chaque site. De tels résultats permettront d'approfondir la réflexion sur les mesures de prévention ou amélioration de la qualité de certains sites et de prioriser les actions de gestion.

### Conclusions

Cette communication montre la pertinence et l'importance de l'utilisation des approches moléculaires de nouvelle génération, notamment les approches de protéomique sans *a priori* et de

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

protéomique ciblée pour une application en surveillance environnementale. Comme exemple, nous avons exposé des résultats à grande échelle obtenus avec l'espèce sentinelle *G. fossarum* aboutissant à la découverte et la validation de 25 biomarqueurs protéiques.

Ces travaux pionniers qui se veulent être une preuve de concept en écotoxicoprotéomique amènent à plusieurs points importants de discussion et questionnement avant la mise en place éventuelle de telles méthodes en routine pour la surveillance de l'environnement. Plus particulièrement, afin de valider l'utilisation des biomarqueurs proposés, notamment en ce qui concerne leur spécificité vis-à-vis d'une contamination, il sera important de définir des valeurs références de qualité pour leur interprétation. En effet, pour qu'un biomarqueur soit définitivement adopté pour son application, des études à large échelle comprenant les notions de spécificité, de précision et justesse de mesure, limite de quantification minimale et maximale, linéarité, robustesse, doivent être réalisées, car un grand nombre de facteurs comme la température et la salinité de l'eau par exemple, peuvent influencer la réponse des biomarqueurs. Les valeurs références doivent prendre en compte ces effets des facteurs abiotiques, et la variabilité naturelle des réponses de ces biomarqueurs.

En conclusion, cette étude appelle à une utilisation de données protéomiques ciblées pour définir un indicateur de l'état de santé des organismes. Le dosage absolu et multiplexé de plusieurs dizaines de biomarqueurs protéiques permet de définir à haut débit des indices biologiques intégratifs et pertinents pour la surveillance environnementale. Le concept de biosurveillance de l'environnement basé sur l'utilisation d'organismes sentinelles engagés pour l'évaluation de la qualité des eaux se retrouve ainsi très avantagement renforcé par les dernières avancées de ces technologies omiques.

### Références bibliographiques

- Armengaud, J., Trapp, J., Pible, O., Geffard, O., Chaumot, A., Hartmann, E.M., 2014. – Non-model organisms, a species endangered by proteogenomics. *J Proteomics* 105, 5-18.
- Beliaeff, B., Burgeot, T., 2002. – Integrated biomarker response: A useful tool for ecological risk assessment. *Environ Toxicol Chem* 21, 1316-1322.
- Charnot, A., Gouveia, D., Armengaud, J., Almunia, C., Chaumot, A., Lemoine, J., Geffard, O., Salvador, A., 2017. – Multiplexed assay for protein quantitation in the invertebrate *Gammarus fossarum* by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Anal Bioanal Chem* 409, 3969-3991.
- Coulaud, R., Geffard, O., Xuereb, B., Lacaze, E., Quéau, H., Garric, J., Charles, S., Chaumot, A., 2011. – *In situ* feeding assay with *Gammarus fossarum* (Crustacea): Modelling the influence of confounding factors to improve water quality biomonitoring. *Water Res* 45, 6417-6429.
- Forbes, V.E., Palmqvist, A., Bach, L., 2006. – The use and misuse of biomarkers in ecotoxicology. *Environ Toxicol Chem* 25, 272-280.
- Geffard, O., Xuereb, B., Chaumot, A., Geffard, A., Biagianti, S., Noël, C., Abbaci, K., Garric, J., Charmantier, G., Charmantier-Daures, M., 2010. – Ovarian cycle and embryonic development in *Gammarus fossarum*: Application for reproductive toxicity assessment. *Environ Toxicol Chem / SETAC* 29, 2249-2259.

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

- Gouveia, D., Bonneton, F., Almunia, C., Armengaud, J., Quéau, H., Degli-Esposti, D., Geffard, O., Chaumot, A., 2018. – Identification, expression, and endocrine-disruption of three ecdysone-responsive genes in the sentinel species *Gammarus fossarum*. *Sci Rep* 8, 3793.
- Gouveia, D., Chaumot, A., Charnot, A., Almunia, C., Francois, A., Navarro, L., Armengaud, J., Salvador, A., Geffard, O., 2017a. – Ecotoxicoproteomics for aquatic environmental monitoring: First in situ application of a new proteomics-based multibiomarker assay using caged amphipods. *Environ Sci Technol* 51, 13417-13426.
- Gouveia, D., Chaumot, A., Charnot, A., Queau, H., Armengaud, J., Almunia, C., Salvador, A., Geffard, O., 2017b. – Assessing the relevance of a multiplexed methodology for proteomic biomarker measurement in the invertebrate species *Gammarus fossarum*: A physiological and ecotoxicological study. *Aquat Toxicol* 190, 199-209.
- Oikari, A., 2006. – Caging techniques for field exposures of fish to chemical contaminants. *Aquat Toxicol* 78, 370-381.
- Roland, K., Kestemont, P., Dieu, M., Raes, M., Silvestre, F., 2016. – Using a novel “Integrated Biomarker Proteomic” index to assess the effects of freshwater pollutants in European eel peripheral blood mononuclear cells. *J Proteomics* 137, 83-96.
- Trapp, J., Armengaud, J., Salvador, A., Chaumot, A., Geffard, O., 2014a. – Next-generation proteomics: Toward customized biomarkers for environmental biomonitoring. *Environ Sci Technol* 48, 13560-13572.
- Trapp, J., Geffard, O., Imbert, G., Gaillard, J.C., Davin, A.H., Chaumot, A., Armengaud, J., 2014b. – Proteogenomics of *Gammarus fossarum* to document the reproductive system of amphipods. *Mol Cell Proteomics* 13, 3612-3625.

**TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES SOLS ET DES AGROÉCOSYSTÈMES DE MONTAGNE DE L'HOLOCÈNE À L'ANTHROPOCÈNE****EVOLUTION OF MOUNTAIN SOIL AND AGROECOSYSTEM TRAJECTORIES FROM HOLOCENE TO ANTHROPOCENE**par **Manon BAJARD**<sup>1</sup>**RÉSUMÉ**

L'ambition de ce travail est d'étudier l'évolution des interactions homme-environnement, au travers de l'évolution des sols et des pratiques agro-pastorales de montagne. Il s'agit de comprendre les mécanismes de réponse des écosystèmes à des perturbations d'origines climatiques et anthropiques, en termes de durabilité et de résilience afin d'en garantir la pérennité.

La reconstitution de l'évolution des sols et de leurs usages, tirée d'archives sédimentaires lacustres (**Fig. 1, 2**), met en évidence un développement progressif des sols sur la première moitié de l'Holocène (**Fig. 4**), puis des pédogénèses régressives avec le développement des activités agro-pastorales, autour de l'Antiquité et du Moyen Âge (**Fig. 3**), s'accompagnant d'augmentations de l'érosion (**Fig. 3, 5**).

Les mécanismes de résilience s'avèrent dominés par l'établissement de nouveaux états d'équilibre (**Fig. 5**) et témoignent des modifications profondes exercées sur les milieux de montagne depuis plusieurs millénaires où l'homme apparaît comme le principal agent de la pédogénèse.

**ABSTRACT**

*In a context of increasing pressures on ecosystems, evolution of land use and climate changes, the future of alpine pastoral landscape, shaped throughout centuries by mutual interactions between societies and environment, remains uncertain. This study aims at characterizing the evolution of human-environment interactions, through the evolution of soils and mountain agro-pastoral practices in the North-Western Alps (**Fig. 2**). We try to understand the response mechanisms of ecosystems to climate and human disruptions, in terms of sustainability and resilience to ensure their continuity.*

*The reconstitution of soil evolution and their uses by the comparison of paleoenvironmental reconstructions derived from lacustrine archives (**Fig. 1, 2**) evidenced a progressive development of soils during the first part of the Holocene, associated with substrate decarbonatation, acidification then podzolization of soils in the Holocene Climate Optimum (**Fig. 4**). The second part of the Holocene is characterized by regressive pedogenesis, in response to agro-pastoral activities development, mainly around the Roman and Medieval periods, along with erosion increases (**Fig. 3, 5**). Environmental disruptions triggered colluviation movements and a regression of soil weathering (**Fig. 5**), leading to a multiplication of soil evolution trajectories and a higher soil diversity in the Anthropocene (**Fig. 4**).*

*The soils developed until first human settlements present a higher capacity of resistance to erosion than soils developing thereafter. Resilience processes appear to be dominated by the establishment of*

---

<sup>1</sup> Courriel : [manon.bajard@gmail.com](mailto:manon.bajard@gmail.com)

Laboratoire EDYTEM – CNRS UMR 5204 – Université Savoie Mont-Blanc, 73376 Le Bourget-du-Lac.

*new agroecosystem steady states and attest of the deep modifications performed on mountain environments for several millennia where human appears as the main pedogenetic factors.*

### **A. Introduction**

Les sols jouent un rôle prépondérant dans notre environnement en fournissant des services essentiels à la vie, dits « services écosystémiques » (Daily et al., 1997). Les sols sont en effet le support de notre alimentation, de nos habitats et du paysage. Ils garantissent la qualité des eaux, régulent les précipitations, les inondations et sont capables de compenser nos émissions de carbone dans l'atmosphère. Ils constituent ainsi le principal compartiment de la zone critique, fine couche à la surface de la Terre où se développent les sociétés humaines en interactions avec l'environnement, et où les pressions croissantes sur les sols font craindre une perte accélérée et une dégradation de cette ressource non renouvelable (MEA, 2005; Anderson et al., 2007; Chorover et al., 2007). Or l'évolution des processus de formation des sols et les effets des pressions anthropiques restent méconnus compte tenu de la diversité des situations et des temps de réactions très variables des propriétés des sols et de leur fonctionnement, et justifient l'absence de politique de protection et de gestion des sols comme c'est le cas pour l'eau et la biodiversité.

L'objectif de cette recherche est de comprendre l'évolution des interactions homme-environnement, au travers de l'histoire des sols, tant du point de vue de leur fonctionnement pédologique que de leur usage (agro-pastoral notamment). Il s'agit de mettre en évidence puis de comprendre les types de réponses des sols aux modifications des milieux (climat, végétation) et aux activités humaines (déforestation, mise en culture, pâturage, déprise agricole...) qui se sont succédé depuis plusieurs millénaires, d'un point de vue quantitatif (érosion) et qualitatif (modifications des propriétés des sols), en termes de résilience et de durabilité. Mieux appréhender le fonctionnement des agro-socio-écosystèmes dans leur ensemble constitue aujourd'hui un enjeu scientifique important pour garantir leur pérennité dans une logique de développement durable.

Cette étude est basée sur une approche paléo-environnementale pluridisciplinaire combinant l'analyse de sols actuels et l'analyse de séquences sédimentaires lacustres comme archives de l'environnement d'où vont être extrait des informations sur l'érosion des sols et leur nature, et sur l'évolution des paysages.

### **B. Une approche méthodologique originale et pertinente pour étudier la pédogénèse : utilisation des sédiments lacustres comme archives continues et long terme de l'érosion des sols**

La nécessité d'étudier les processus pédologiques sur des temps plus long que quelques siècles a impliqué l'utilisation d'archives sédimentaires lacustres (**Figure 1**). Les sédiments des lacs enregistrent au cours du temps et de façon stratigraphique de l'érosion, témoin des sols en présence autour des lacs, et des informations sur l'état du paysage via le piégeage de pollen ou d'ADN par exemple (**Figure 1**). Ces archives naturelles offrent ainsi la possibilité de reconstituer à la fois l'histoire évolutive de la végétation, les activités agricoles mais également l'évolution des sols par identification de « signatures pédologiques », c'est-à-dire d'éléments identifiables discriminant une origine pédologique particulière (Poulenard, 2011). Nous faisons l'hypothèse que ces signatures sont représentatives des types de sols du bassin versant dont elles sont issues et qu'elles ne sont pas altérées pendant leur transfert jusqu'au lac et par la diagénèse dans les sédiments du lac.

**Sites d'étude : quatre systèmes lac-bassin versant des Alpes Nord occidentales**

Les lacs de **La Thuile** (875 m) dans les Bauges, le lac **Verney** (2088 m) au col du Petit Saint Bernard, le lac **Bénit** (1450 m) dans le Bargy et le lac de **Gers** dans le Haut Giffre ont été choisis pour

ce travail de thèse de façon à couvrir le territoire des deux Savoie, à des altitudes différentes et sur des substrats géologiques contrastés (Figure 2). Ils ont également été choisis vis-à-vis de pratiques actuelles ou historiques pertinentes connues.

La synthèse de ce travail incorpore également les résultats des travaux réalisés sur les sites lacustres du Thyl, du Loup, d'Anterne et de Savine sur lesquels ont été développées plusieurs des méthodes utilisées dans ce travail pour reconstituer l'évolution des sols et/ou des pratiques agropastorales (Figure 2).

#### Démarche scientifique

Des carottes de sédiments de chacun des quatre lacs étudiés ont été prélevées par carottage puis analysées au laboratoire. Les séquences sédimentaires ont été datées principalement au carbone 14. Leur analyse multiproxies (granulométrie, perte au feu, géochimie organique et minérale), comparée aux analyses des sols de chaque bassin versant, a permis d'identifier dans le mélange de sédiment les sources sédimentaires transférées par érosion et de les isoler de la production biologique interne au lac.

#### *Approche qualitative*

Les sols des bassins versants ont été décrits puis échantillonnés par horizon. Ils ont été analysés (pH, perte au feu, géochimie XRF...) et leurs caractères discriminants (d'un type de sol ou d'horizon particulier) ont été identifiés puis recherchés dans les sédiments lacustres (e.g., degrés d'altération des sols avec le rapport K/Ti, transformation des matières organiques par pyrolyse rock-eval, formes de fer et d'aluminium pour les horizons podzoliques). On réalise ainsi les mêmes analyses dans les mêmes conditions sur les sols et sur les sédiments pour les relier sur chacun des sites selon une approche « source-puits » et le principe d'actualisme.

#### *Approche quantitative*

L'érosion des sols a été estimée en considérant le taux d'accumulation de sédiments détritiques, le volume du remplissage sédimentaire lacustre et la surface de chaque bassin versant (Enters et al., 2008; Massa et al., 2012).

#### *Modifications de la végétation et des pratiques agricoles*

Les évolutions de la végétation et des activités agropastorales ont été reconstituées à partir de comptages polliniques, de comptages de spores de champignons coprophiles (indicateurs de pression pastorale) et d'analyses d'ADN extra-cellulaire (végétaux et mammifères) réalisés sur les sédiments.

### *C. Intégration régionale des trajectoires d'évolution des paysages agropastoraux alpins et des sols*

#### **1 - Enregistrement de l'érosion dans les archives lacustres**

Les séquences lacustres des quatre sites étudiés fournissent un enregistrement de l'érosion en lien avec les activités pastorales au cours des 4000 dernières années (Figure 3). Seuls les sédiments du lac de Gers enregistrent en plus, des variations du climat, qui se surimposent aux activités de l'homme à la période médiévale et au Petit Age Glaciaire. Nous montrons que pour chacun de ces sites, l'érosion est essentiellement forcée par le développement des activités humaines (e.g., Bajard et al., 2016, 2017b), et masque l'effet des fluctuations climatiques ou les exacerbe dans le cas du site de Gers. L'érosion apparaît quantitativement plus faible en altitude reflétant une période d'activité (pastorale et végétative) plus courte du fait de la couverture neigeuse hivernale protégeant les sols (Figure 3). A plus basse altitude comme à La Thuile l'habitat et les activités sont en revanche possibles toute l'année et se traduisent par une érosion plus importante. Le réchauffement du climat pourrait ainsi conduire à une augmentation de l'érosion des sols en altitude, en réponse à la diminution de la couverture neigeuse.

## 2 - Evolution pluri-millénaire des paysages agro-pastoraux

La comparaison des chroniques paléo-environnementales de ces quatre sites (**Figure 3**) avec les enregistrements des lacs d'Anterne (Giguet-Covex et al., 2015) et de Savine (Sabatier et al., 2017) a permis de conforter l'hypothèse d'un développement des espaces de pâturage d'abord en altitude à l'âge du bronze et à l'âge du fer, puis une progression de l'activité pastorale à toutes les altitudes à l'Antiquité avec une hétérogénéité des pratiques (troupeaux bovins ou ovins). La période entre l'Antiquité et le Moyen Âge est marquée par une déprise des activités et une recolonisation forestière, en lien possible avec une dégradation du climat (**Figure 3**). Les activités d'alpage reprennent au Moyen Âge, à nouveau dans une dynamique de l'amont vers l'aval avec une plus grande extension des espaces pastoraux à l'étage subalpin (**Figure 3**). Cette reprise est caractérisée d'abord essentiellement par des troupeaux de moutons, de vaches, puis progressivement uniquement par des bovins à partir du XV<sup>ème</sup> siècle, de façon cohérente avec les documents historiques et le développement de la culture des « grands fromages ». Le développement des territoires alpins semble s'être dessiné autour des deux grandes périodes pastorales, à l'Antiquité et au Moyen Âge avec la succession de périodes de pâturage/déboisement - déprise/reboisement – reprise/extension des espaces pastoraux.

## 3 - Modification de l'évolution des sols des Alpes Nord occidentales de l'Holocène à l'Anthropocène

La comparaison des reconstitutions pédo-paléo-environnementales tirées des archives lacustres des lacs de La Thuile, Bénit, Gers, Anterne, Verney, Loup et Thyl, met en évidence un développement progressif des sols sur la première moitié de l'Holocène, avec la décarbonatation des substrats, suite au retrait des glaciers, l'acidification des sols puis leur podzolisation à l'optimum climatique Holocène (4000 à 6000 ans cal. BP), selon l'altitude des sites et leur géologie (**Figure 4**). La seconde moitié de l'Holocène est marquée par des pédogénèses régressives avec le développement des activités agro-pastorales, principalement autour de deux grandes périodes, Antiquité et Moyen Âge, s'accompagnant d'augmentations de l'érosion. Ces perturbations environnementales entraînent de façon généralisée du colluvionnement et une régression dans l'altération des profils, se traduisant par un rajeunissement des pédogénèses et conduisant à une multiplication des trajectoires d'évolution des sols et une plus grande diversité pédologique dans l'Anthropocène (**Figure 4**).

### *D. Durabilité de la ressource en sol et des pratiques : pédogénèse progressive et régressive*

Un moyen simple d'évaluer la durabilité de la ressource est de comparer la formation de sol à son érosion. L'érosion mesurée par l'analyse de l'archive sédimentaire lacustre est comparée à une modélisation de la formation des sols considérant l'épaisseur et l'âge de sols (Egli et al., 2014; Alewell et al., 2015). Le système agropastoral et la ressource en sol sont considérés durables tant que l'érosion ne surpasse pas la production de sol. Cette évaluation nous a permis de décrire des phases de progression et de régression de la couverture pédologique au lac de La Thuile (Bajard et al., 2017a). Ces phases décrites quantitativement sont par ailleurs cohérentes avec les mesures d'altération des matériaux érodés et analysés dans la séquence, à la fois sur la fraction minérale et sur la fraction organique du sol qui sont des mesures indépendantes (**Figure 5**). On enregistre ainsi l'érosion successive des horizons des sols du bassin versant du lac de La Thuile en réponse au développement des activités agro-pastorales (**Figure 5**). Au cours du Moyen Âge, un changement dans les pratiques agricoles avec l'apparition de vergers (poiriers, prunier, noyers...) et de la vigne dans le bassin versant (**Figure 5**), et la multiplication des parcelles et des haies sur les versants viennent diminuer l'érosion, marquant un retour à un état plus durable de l'écosystème. Cette diminution dans l'intensité des processus d'érosion a sans doute été amplifiée ensuite par des effets sociétaux et climatique, avec le déclin de la moitié de la population du massif de Bauges, lié à la peste, et le refroidissement du climat au Petit Âge Glaciaire ne permettant peut-être plus certaines cultures à cette altitude. L'activité érosive



## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

---

est à nouveau très intense sur la période entre les XVIII<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup><sup>me</sup> siècles en lien avec un déboisement maximal des territoires de montagne, avant la déprise agricole récente (**Figure 5**).

L'intensité de l'érosion, globalement moins forte au moment des premières occupations humaines (lors des premiers déboisements), suggère une plus grande résistance des sols développés jusqu'aux premières occupations humaines que les sols se développant ensuite. Cette résistance pourrait s'expliquer par des propriétés différentes des sols, avec par exemple des taux de matières organiques plus importants dans les sols se développant avant le déploiement des activités humaines, et plus faible ensuite avec l'exploitation sur le long terme de la ressource, et entraînant une moindre résistance à l'érosion. Les mécanismes de résilience s'avèrent dominés par l'établissement de nouveaux états d'équilibre des agroécosystèmes, et témoignent des modifications profondes exercées sur les milieux de montagne depuis plusieurs millénaires. Ces modifications sont mémorisées par les sols et génèrent l'expression de rétro-effets sur les usages actuels. Ainsi sur le site du lac Bénit, un rehaussement du lac en 1964 a permis le relargage de phosphore des berges inondées, phosphore concentré sur les bords du lac par le pâturage établi depuis le Moyen Age. Cet apport de nutriment conduit aujourd'hui à l'eutrophisation du lac alors que le pâturage n'est plus aussi intense qu'auparavant comme en témoigne la reprise forestière récente.

### *E. Conclusion et perspectives associées*

L'analyse multiproxies des séquences sédimentaires des lacs de La Thuile (875 m, Bauges), Bénit (1450 m, Barge), Gers (1540 m, Giffre) et Verney (2088 m, Italie, Col du Petit Saint-Bernard) et des sols de leur bassin versant a permis de reconstituer l'évolution des paysages agropastoraux et des sols des Alpes Nord occidentales au cours de l'Holocène et d'analyser les interactions entre le système agraire, l'érosion et les sols, en termes de durabilité et résilience.

Les sols des Alpes Nord occidentales suivent une trajectoire d'évolution commune progressive pendant la première partie de l'Holocène suite au retrait des glaciers, avec la formation de sols jeunes qui se décarbonatent et s'acidifient. Avec le développement des activités agro-pastorales à partir de l'Âge du fer, et surtout autour des périodes Antiques et médiévales, on assiste ensuite à une intensification de l'érosion des sols, leur rajeunissement, du colluvionnement dans tous les systèmes étudiés et la brunification des profils, traduisant une phase de régression des sols. Cette régression, à la fois sur l'épaisseur des sols et sur le développement pédologique des sols conduit à une multiplication des trajectoires de leur évolution et à une diversification des types de sols à l'échelle des Alpes Nord occidentales au cours des derniers millénaires, dont il faut tenir compte aujourd'hui dans les politiques d'aménagement et de gestion des territoires pour éviter des rétro-effets négatifs et garantir la durabilité de la ressource en adéquation avec les services écosystémiques désirés.

Les régimes d'érosion et l'évolution de l'altération présentent des mécanismes de résistance et de résilience semblables qui régissent les interactions entre le système agraire, l'érosion et les sols au sein de la zone critique. Ces interactions au sein de la zone critique forment un ensemble dynamique, lié de rétroactions induites, pour les derniers millénaires, par l'homme qui apparaît ainsi comme étant le principal agent de la pédogénèse à l'Anthropocène.

Ce couplage disciplinaire offre aujourd'hui de nouvelles perspectives (cinétique, résilience, durabilité) pour la science du sol pour améliorer la compréhension du fonctionnement de cette zone critique.

### *Références bibliographiques*

- (1) Alewell, C., Egli, M., Meusburger, K., 2015. – An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands. *Journal of Soils and Sediments* 15, 1383–1399. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0920-6>

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

- (2) Anderson, S.P., von Blanckenburg, F., White, A.F., 2007. –Physical and chemical controls on the critical zone. *Elements* 3, 315–319.
- (3) Bajard, M., Poulénard, J., Sabatier, P., Develle, A.-L., Giguët-Covex, C., Jacob, J., Crouzet, C., David, F., Pignol, C., Arnaud, F., 2017a. – Progressive and regressive soil evolution phases in the Anthropocene. *CATENA* 150, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.001>
- (4) Bajard, M., Poulénard, J., Sabatier, P., Etienne, D., Ficetola, F., Chen, W., Gielly, L., Taberlet, P., Develle, A.-L., Rey, P.-J., Moulin, B., Beaulieu, J.-L. de, Arnaud, F., 2017b. – Long-term changes in alpine pedogenetic processes: Effect of millennial agro-pastoralism activities (French-Italian Alps). *Geoderma* 306, 217–236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.005>
- (5) Bajard, M., Sabatier, P., David, F., Develle, A.-L., Reyss, J.-L., Fanget, B., Malet, E., Arnaud, D., Augustin, L., Crouzet, C., Poulénard, J., Arnaud, F., 2016. – Erosion record in Lake La Thuile sediments (Prealps, France): Evidence of montane landscape dynamics throughout the Holocene. *The Holocene* 26, 350–364.
- (6) Chorover, J., Kretzschmar, R., Garcia-Pichel, F., Sparks, D.L., 2007. – Soil biogeochemical processes within the critical zone. *Elements* 3, 321–326.
- (7) Daily, G.C., Matson, P.A., Vitousek, P.M., 1997. - Ecosystem services supplied by soil. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* 113–132.
- (8) Egli, M., Dahms, D., Norton, K., 2014. – Soil formation rates on silicate parent material in alpine environments: Different approaches–different results? *Geoderma* 213, 320–333. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.016>
- (9) Enters, D., Dorfler, W., Zolitschka, B., 2008. – Historical soil erosion and land-use change during the last two millennia recorded in lake sediments of Frickenhauser See, northern Bavaria, central Germany. *The Holocene* 18, 243–254. <https://doi.org/10.1177/0959683607086762>
- (10) Giguët-Covex, C., Arnaud, F., Poulénard, J., Disnar, J.-R., Delhon, C., Francus, P., David, F., Enters, D., Rey, P.-J., Delannoy, J.-J., 2011. – Changes in erosion patterns during the Holocene in a currently treeless subalpine catchment inferred from lake sediment geochemistry (Lake Anterne, 2063 m a.s.l., NW French Alps): The role of climate and human activities. *The Holocene* 21, 651–665. <https://doi.org/10.1177/0959683610391320>
- (11) Giguët-Covex, C., Gentile Ficetola, F., Fouinat, L., Bajard, M., Gielly, L., Walsh, K., Mocci, F., Develle, A.-L., Brisset, E., Arnaud, F., Poulénard, J., 2015. - Histoire de l'agriculture dans les Alpes françaises: un nouveau regard fournit par l'ADN sédimentaire lacustre. 15ème Congrès français de sédimentologie.
- (12) Holzhauser, H., Magny, M.J., Zumbühl, H.J., 2005. – Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene* 15, 789–801. <https://doi.org/10.1191/0959683605hl853ra>
- (13) Le Roy, M., Nicolussi, K., Deline, P., Astrade, L., Edouard, J.-L., Miramont, C., Arnaud, F., 2015. Calendar-dated glacier variations in the western European Alps during the Neoglacial: the Mer de Glace record, Mont Blanc massif. *Quaternary Science Reviews* 108, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.033>
- (14) Massa, C., Bichet, V., Gauthier, É., Perren, B.B., Mathieu, O., Petit, C., Monna, F., Giraudeau, J., Losno, R., Richard, H., 2012. – A 2500 year record of natural and anthropogenic soil erosion in South Greenland. *Quaternary Science Reviews* 32, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.11.014>
- (15) MEA, M.E.A., 2005. – Ecosystems and human well-being: synthesis. Island, Washington, DC.
- (16) Mourier, B., 2008. – Contribution de l'approche sédimentologique à la reconstitution de l'histoire des sols. Définition de traceurs pédologiques et application sur des sédiments lacustres de montagne (Maurienne, Savoie, France). Université de Savoie.
- (17) Mourier, B., Poulénard, J., Carcaillet, C., Williamson, D., 2010. – Soil evolution and subalpine ecosystem changes in the French Alps inferred from geochemical analysis of lacustrine sediments. *Journal of Paleolimnology* 44, 571–587. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9438-0>

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

- (18) Mourier, B., Poulénard, J., Chauvel, C., Faivre, P., Carcaillet, C., 2008. – Distinguishing subalpine soil types using extractable Al and Fe fractions and REE geochemistry. *Geoderma* 145, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.001>
- (19) Poulénard, J., 2011. – Des empreintes pédologiques dans les bassins versants et les archives naturelles. Université de Savoie.
- (20) Sabatier, P., Wilhelm, B., Ficotola Gentile, F., Moiroux, F., Poulénard, J., Develle, A.-L., Bichet, A., Chen, W., Pignol, C., Reyss, J.-L., Gielly, L., Bajard, M., Perrette, Y., Malet, E., Taberlet, P., Arnaud, F., 2017. – 6-kyr record of flood frequency and intensity in the western Mediterranean Alps – Interplay of solar and temperature forcing. *Quaternary Science Reviews* 170, 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.06.019>

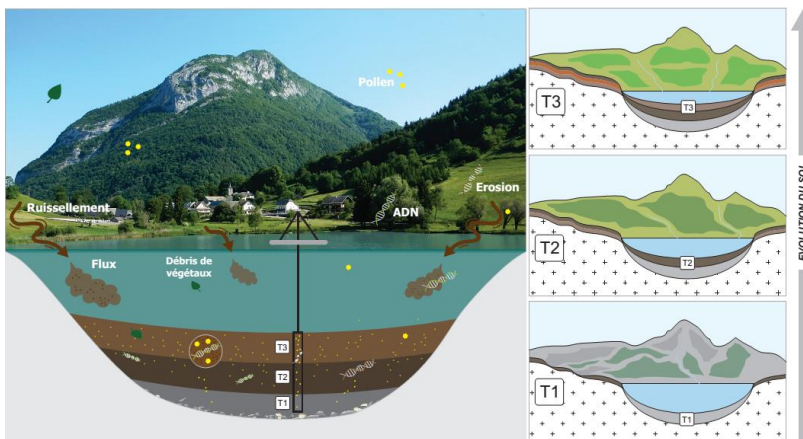


FIGURE 1. SCHEMA DE L'ENREGISTREMENT SEDIMENTAIRE LACUSTRE ET DE L'ARCHIVAGE DES « PEDOSIGNATURES », MODIFIE D'APRES MOURIER (2008).

FIGURE 1. DIAGRAM OF LACUSTRINE SEDIMENTARY RECORD AND « PEDOSIGNATURES », ADAPTED FROM MOURIER (2008).

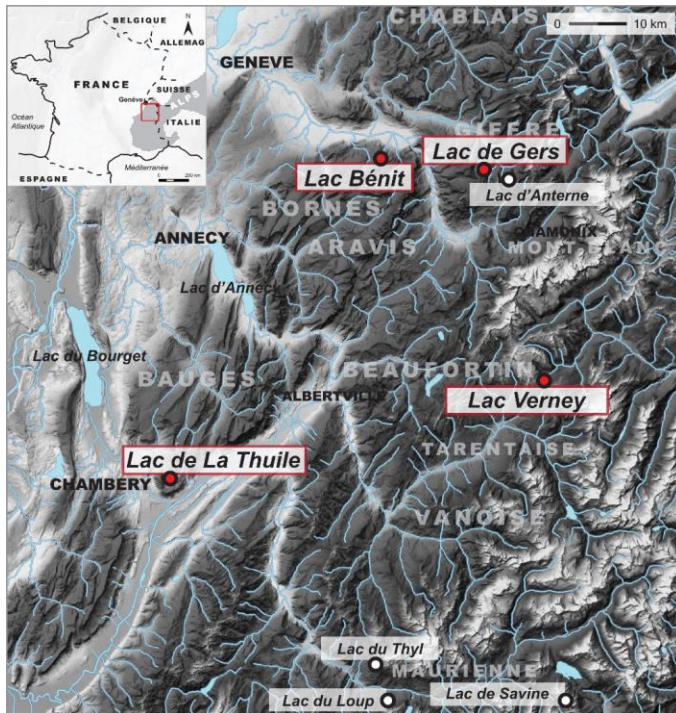
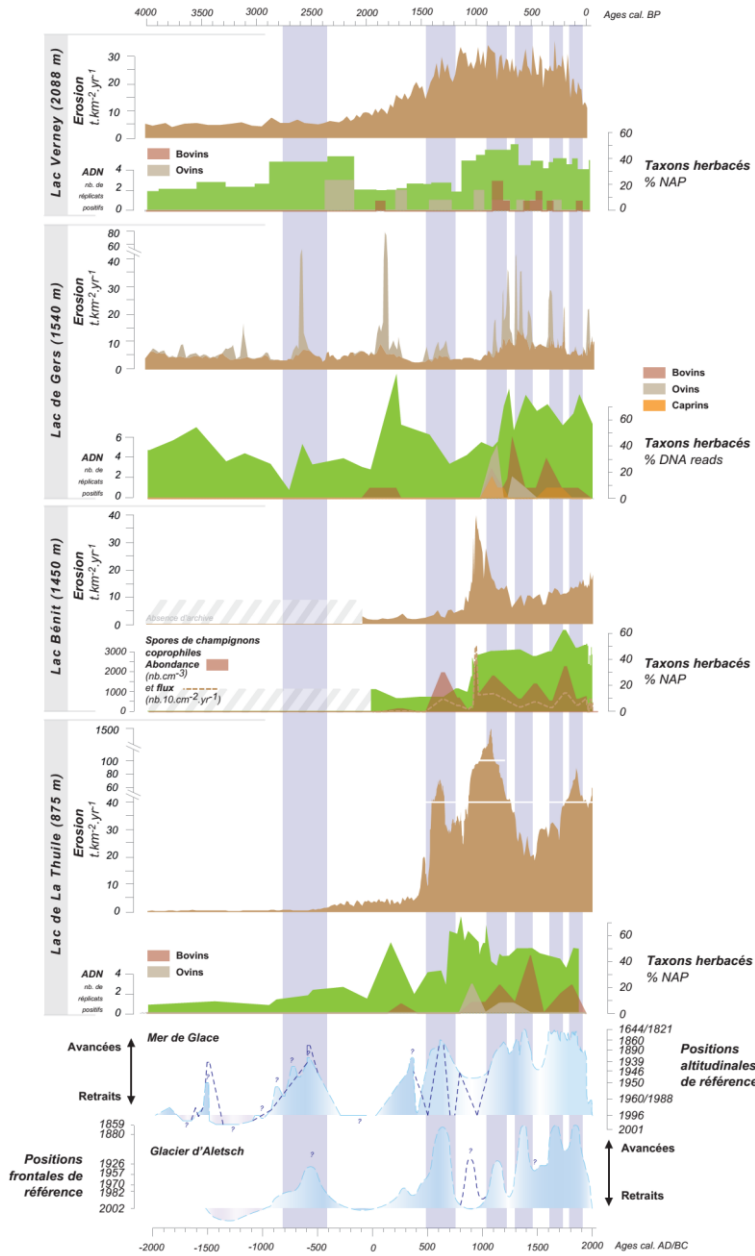


FIGURE 2. LOCALISATION DES SYSTEMES LAC-BASSIN VERSANT DES ALPES NORD OCCIDENTALES ETUDIE POUR RECONSTITUER LES TRAJECTOIRES D'EVOLUTION DES SOLS ET DES AGROECOSYSTEMES AU COURS DE L'Holocène.

*Figure 2. Location of lake-catchment systems from the North-Western Alps studied to reconstruct the evolution of soil and agroecosystem trajectories throughout the Holocene.*

COMMUNICATIONS DE RECHERCHE



## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE

FIGURE 3. COMPARAISON DES DYNAMIQUES D'ÉROSION ET DES PAYSAGES DE QUATRE SITES ALPINS AVEC LES AVANÇÉES DE LA MER DE GLACE (LE ROY ET AL., 2015) ET DU GLACIER D'ALETSCHE (HOLZHAUSER ET AL., 2005).

FIGURE 3. COMPARISON OF EROSION AND LANDSCAPE DYNAMICS FROM THE FOUR ALPINE STUDIED SITES WITH THE ADVANCES OF MER DE GLACE (LE ROY ET AL., 2015) AND ALETSCHE (HOLZHAUSER ET AL., 2005) GLACIERS.

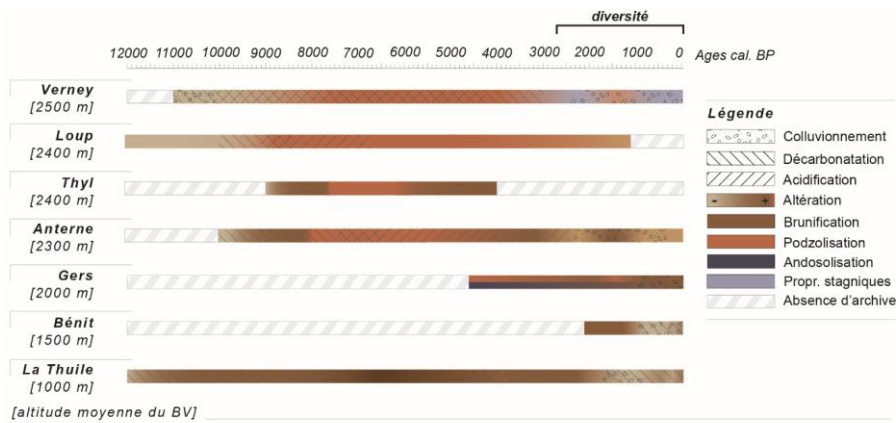
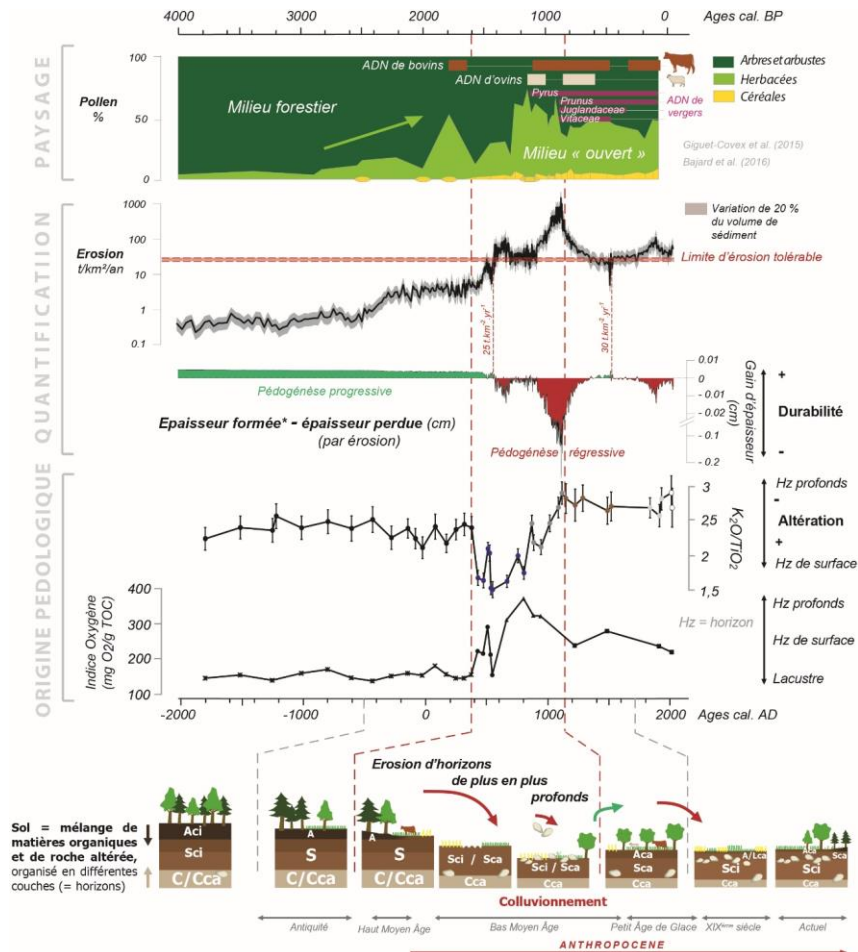


FIGURE 4. RECONSTITUTION DES TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION PÉDOGÉNÉTIQUES DES BASSINS VERSANTS DES LACS VERNEY, GERS, BENIT, ET LA THUILE (CE TRAVAIL) ET DES LACS DU THYL ET DU LOUP D'APRÈS MOURIER (2008) ET MOURIER ET AL. (2010), ET D'ANTERNE D'APRÈS GIGUET-COVEX ET AL. (2011), PAR L'ÉTUDE DE LEURS SEDIMENTS LACUSTRES. LE CARACTÈRE DE COLLUVIONNEMENT EST ASSOCIÉ AUX PÉRIODES DE PLUS FORTE ÉROSION LORSQU'ILS ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS DANS LE BASSIN VERSANT CONCERNÉ.

FIGURE 4. SOIL EVOLUTION OF THE CATCHMENTS OF LAKES VERNEY, GERS, BENIT AND LA THUILE (THIS WORK) AND OF THE CATCHMENTS OF LAKES THYL, LOUP (MOURIER, 2008; MOURIER ET AL., 2008), AND ANTERNE (GIGUET-COVEX ET AL., 2011), FROM THEIR RESPECTIVE LAKE SEDIMENT STUDY. COLLUVIUM MOVEMENTS WERE ASSOCIATED TO THE HIGHEST EROSION PERIODS WHEN THEY WERE IDENTIFIED IN THE FIELD.

## COMMUNICATIONS DE RECHERCHE



\* donnée issue d'une modélisation simplifiée d'après Egli et al., 2014.

FIGURE 5. RECONSTITUTION DE L'EVOLUTION PASSEE DES SOLS A PARTIR DE L'EROSION ET DE LA GEOCHIMIE DES SEDIMENTS DU LAC DE LA THUILE. LE DIAGRAMME PALYNOLOGIQUE SIMPLIFIE ET LES DONNEES ADN SONT ADAPTES DE BAJARD ET AL. (2016) ET DE GIGUET-COVEX ET AL. (2015), RESPECTIVEMENT, ET MONTRENT L'EVOLUTION GLOBALE DU PAYSAGE (VEGETATION) ET DES ACTIVITES AGRO-PASTORALES. LA LIMITE D'EROSION TOLERABLE DECOULE DE L'EROSION QUI GENERE LE DEBUT D'UNE PHASE DE REGRESSION.

FIGURE 5. RECONSTRUCTION OF PAST SOIL EVOLUTION BY COMPARING THE EROSION RECORDED IN LAKE LA THUILE'S SEDIMENTS WITH ITS GEOCHEMISTRY. THE SIMPLIFIED PALYNOLOGICAL DIAGRAM AND THE DNA PRESENCE, WHICH WERE ADAPTED FROM BAJARD ET AL. (2016) AND FROM GIGUET-COVEX ET AL. (2015), RESPECTIVELY, SHOW THE GLOBAL EVOLUTION OF THE LAND USE AND AGRO-PASTORAL ACTIVITIES IN THE CATCHMENT. THE TOLERABLE EROSION LIMIT AS OBTAINED FROM THE MINIMAL EROSION THAT TRIGGERS A NEGATIVE SOIL BALANCE.

## L'ACADÉMIE CHEZ LES APICULTEURS ASSOCIÉS

par André **FOUGEROUX**

Membre correspondant de la section 9 « Agrofournitures »

Sur les bords de la rivière du Cosson, La Ferté-Saint-Aubin est plus connue pour son château entouré de douves que pour son miel. Pourtant, le 12 avril dernier, vingt-quatre membres de l'Académie d'agriculture de France ont pu découvrir la seconde entreprise de conditionnement de miel de France, une aventure commencée en 1930 par la famille Vacher. La matinée a été consacrée à la découverte des « Apiculteurs Associés » dont la passion pour les abeilles et le miel n'a jamais faibli.

Avec quelques ruches au fond du jardin, l'arrière-grand-père de notre hôte produit du miel comme apiculteur amateur pour nourrir sa famille de 15 enfants. En 1980, un de ses fils fera grandir l'entreprise en devenant apiculteur professionnel. En 1985 il s'associe avec son neveu pour fonder une exploitation apicole : le GAEC DE MERIGNAN. En 1996, cette association sera à l'origine de la création de la société « Les Apiculteurs Associés » avec des apiculteurs de la région Centre. C'est Florent l'un des fils du neveu qui nous accueille à La Ferté-Saint-Aubin au siège de l'entreprise.

Cette société qui commercialise maintenant une large gamme de miels collectés auprès des apiculteurs associés mais aussi de divers fournisseurs français et d'autres régions du monde, est devenue le second conditionneur de miel de France avec un chiffre d'affaire de 14 millions d'euros, un volume de miel commercialisé d'environ 3000 tonnes et 5 millions de pots commercialisés chaque année. Florent Vacher, qui poursuit son activité d'apiculteur avec environ 2000 ruches, gère l'entreprise « Les Apiculteurs Associés ». Dans cette société qui compte maintenant 23 employés, il assure les négociations avec la grande distribution. Les premières transactions ont été dures et pour un apiculteur comme M. Vacher, c'est un nouveau monde et la découverte des « marges arrières » a été plus douloureuse que des piqures d'abeilles.

Ces difficultés n'ont pas découragé M. Vacher et l'entreprise va investir et croître pour atteindre sa taille actuelle. En 2003, « Les Apiculteurs Associés » mettent en place la méthode HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) qui peut être traduite par analyse des dangers - points critiques pour leur maîtrise. Les agrandissements aboutissent à la construction d'un local de conditionnement de 2000m<sup>2</sup> équipé de containers climatisés, de lignes de mise en pots (verres et emballages plastiques). En 2016, la société s'engage dans une démarche de développement durable (RSE ; responsabilité sociale et environnementale).

Le dynamisme initial ne faiblit pas et cette entreprise régionale devient un acteur national majeur sur le marché du miel. C'est dans un contexte difficile du marché mondial que « Les Apiculteurs Associés » ont développé différentes marques : Coté Miel, Coté Miel Bio, Les Apiculteurs Associés « la collection », mais aussi diversifié leurs produits en commercialisant du sirop d'érable sous la marque Le Québécois. Cette activité industrielle et commerciale très chronophage ne détourne pas Florent Vacher de sa passion d'apiculteur. Il observe alors l'évolution du métier en comparant l'activité apicole de ses parents et son activité actuelle. Quelques constats : ses parents produisaient 40-50 kg de miel par ruche alors qu'aujourd'hui la production se situe entre 20 et 25 kg par ruche avec



## VIE DE L'ACADÉMIE

---

un suivi des colonies d'abeilles plus contraignant. Entre 1997 et 1999, sans que les causes en soient élucidées, il perd entre 40 et 50% de son cheptel. Au cours de ces dernières années, la production de miel de tournesol qui constituait une ressource majeure a chuté pour se réduire à 3-4 kg par colonie d'abeilles alors que dans les années '90 cette production se chiffrait à plusieurs dizaines de kilogrammes par ruche. Aujourd'hui, le GAEC de Mérignan fort de trois associés exploite maintenant les 2000 ruches plutôt en zone « sauvage ». La Sologne toute proche favorise cette orientation. Ce paysage globalement fermé et riche d'une mosaïque de cultures, de prairies, de friches, d'étangs, de landes et de forêt se prête bien à ce choix. Les miellées s'enchainent du printemps à l'été commençant par le colza, suivi de l'acacia, puis d'une flore forestière : ronces, bruyères, châtaigniers. Un tiers des 2000 colonies est dédié à cette production de miel, un tiers au renouvellement du cheptel et le dernier tiers est consacré à la pollinisation des productions de semences régionales : oignon, carotte...

Enfin, un certain nombre des colonies de Florent Vacher sont installées sur des centres commerciaux comme à Levallois-Perret où ses ruches ont produit en 2017 100 kg de miel chacune !

Grâce à un important travail de fond sur l'état sanitaire de son cheptel (transvasement des colonies sur des cadres de cire neufs) conduit en collaboration avec M. Venereau (brigade vétérinaire) la mortalité est redescendue à un niveau normal de 5%. Le Varroa (acarien parasite des abeilles et vecteur de virus entomopathogènes) reste le problème numéro un des apiculteurs. Il acquiert une résistance aux médicaments vétérinaires essentiellement en raison de traitements de colonies réalisés avec des solutions « bricolées ». F. Vacher précise que la filière apicole reste mal définie avec 600 000 ruches déclarées par les apiculteurs en France et 1 600 000 déclarées officiellement aux instances européennes. Le nombre exact est entre les deux ! Selon lui, les néonicotinoïdes ont contribué à l'affaiblissement des abeilles et favorisé le développement des maladies contagieuses (loque américaine, loque européenne). Cette situation a conduit à la production nationale actuelle qui se situe entre 10 et 15 000 tonnes pour une consommation de 40 000 tonnes de miel.

Le miel conditionné par l'entreprise « Les Apiculteurs Associés » provient pour 10% de France, et pour le reste d'Ukraine (qui est devenu le 5<sup>e</sup> producteur mondial avec des rendements de 80-100 kg/colonie), d'Argentine, et de Chine.

La dynamique de croissance des « Apiculteurs Associés » se poursuit avec un objectif de conditionnement de 5 000 tonnes de miel, un atelier de production boulangère (fabrication de nonnettes au miel, de pain d'épice...) et de produits de diversification comme le sirop d'érable ou plus originaux comme miel et ginseng, miel et gelée royale, miel et propolis, miel et pollen...

Suite à cette présentation, les académiciens ont pu visiter l'installation de stockage de miel, de conditionnement et de mise en pots.

Ce tour d'horizon s'est achevé par un déjeuner-débat entre les académiciens, M. Venereau et Florent Vacher qui se sont prêtés avec franchise au feu roulant de questions aussi diverses que : « Comment caractérise-t-on un miel ? Quelles sont les évolutions du marché du miel ? quid de la santé des abeilles en ville et en zone agricole ? ».

Enfin pour paraphraser « de la fourche à la fourchette », Florent Vacher nous a fait découvrir le marché du miel de l'abeille à la tartine !

En savoir plus : [www.lesapiculteursassocies.com](http://www.lesapiculteursassocies.com)

**VISITE DE LA STATION BAYER DE MILLY-LA-FORÊT**

Claude **SULTANA** avec le concours de Bernard **AMBOLET**- Section 9

A l'initiative de notre confrère Bernard AMBOLET, un groupe de membres de l'Académie d'agriculture de France (AAF) était accueilli le jeudi 25 mai par Philippe LEDOUX, Directeur de la station de sélection variétale de Bayer, située à la ferme de Paly, dont il s'occupe selon les bonnes pratiques pour une agriculture durable. Dans la présentation du site, le premier point évoqué est la situation de transition dans laquelle se trouve la station. Suite au rachat de Monsanto par Bayer les autorités de la concurrence, dans le cadre d'un désinvestissement imposé, ont demandé à Bayer de se séparer de ses activités semencières. C'est une grosse opération à réaliser dans les mois à venir au profit de BASF, société choisie parmi les acheteurs potentiels parce qu'elle n'a pas encore d'activité en semences. Outre cette station spécialisée dans la sélection des blés hybrides, de nombreuses autres stations dans le monde, conduites dans un objectif de recherche et développement (R&D) selon deux voies (mise en œuvre des biotechnologies, dont OGM hors Europe, et sélection variétale classique) seront concernées ainsi que les quelques 4000 personnes employées.

Cet état de situation transitoire a conduit Bayer à suspendre les visites du site et le maintien de celle d'aujourd'hui, programmée de longue date, est une faveur.

Bayer dispose de 4 centres de R&D en France : Méréville, Milly-la-Forêt, Lyon et Sophia-Antipolis. Dans le domaine de l'amélioration des plantes, les espèces travaillées en France et ailleurs dans le monde sont le canola, le riz, le coton, le soja, le blé, ainsi que les cultures potagères (sous le nom de Nunhems) ; pour les blés hybrides l'objectif est une commercialisation à partir de 2023. Le maïs n'était pas dans les programmes de Bayer et pour la betterave des liens existent avec KWS pour les traitements de semences. Plusieurs stations s'intéressent à la sélection des blés hybrides, trois en Europe, une en Australie et une aux USA. Cette dispersion de stations travaillant dans ce même objectif, s'explique par le caractère local des variétés de blé, bien pris en compte dans la sélection. La technique d'hybridation fait appel à la stérilité mâle. Les travaux sont conduits en collaboration avec la recherche privée et publique.

Philippe LEDOUX revient sur les trente années d'existence de la station. Jusqu'en 1988 la ferme de Paly appartenait à un maraîcher qui l'a cédée au GAE (Groupement Agricole Essonnois) créateur de la variété d'orge d'hiver Plaisant qui a eu beaucoup de succès. En 2006 SERASEM, filiale de In Vivo, prit possession de la ferme qui devint propriété de RAGT quand cette entreprise racheta SERASEM en 2010. Le passage de RAGT sera court puisque Bayer s'installe dans ces lieux en 2012 avec une équipe de 16 personnes, sur une exploitation de 180 ha (aujourd'hui 160 ha). Une partie de cette surface est consacrée à l'expérimentation et le reste est conduit comme toute exploitation agricole ainsi qu'il a été signalé plus haut. Actuellement 23 personnes permanentes travaillent dans cette station et l'effectif passe à plus de 150 personnes en saison. Les activités portent sur la sélection des blés hybrides certes, mais aussi sur la présélection du blé et l'expérimentation du colza.

L'exploitation pratique la rotation des cultures comme une exploitation ordinaire, tout en consacrant 90 ha à l'expérimentation. L'assolement, colza, blé dur, orge de printemps, pomme de terre de plant (parcelle gérée en location annuelle par un agriculteur), ne comporte pas de betterave à cause de la présence de sangliers.

## VIE DE L'ACADÉMIE

---

La sélection se fait en plusieurs étapes : la première consiste à trouver les meilleurs parents (*discovery breeding*) la seconde de les combiner, puis de les évaluer en fonction des caractères recherchés et enfin de les enregistrer au catalogue. Le « *pré-breeding* », permet de rechercher, des gènes d'intérêt. Par exemple, actuellement les travaux portent sur l'identification de génotypes résistants à la rouille jaune. Il est rappelé que dans la sélection du blé on cherche à contrôler les quatre principales maladies cryptogamiques, septoriose, rouille jaune, rouille brune et fusariose.

Pour pratiquer l'hybridation, l'extrusion d'anthers dans l'épi est essentielle afin de produire des doubles haploïdes sur milieu de culture. La station de Milly-la-Forêt est un centre d'excellence pour cette technique. A noter que la diploïdisation (doublement des chromosomes) n'est plus obtenue par un traitement à la colchicine, mais naturellement grâce à un taux de réussite relativement élevé. Il est ainsi possible d'obtenir des lignées homozygotes en supprimant plusieurs années de sélection par voie classique.

Le premier critère du programme de sélection est l'augmentation du rendement et l'effet hétérosis apporte 7 à 8 % en plus, mais le potentiel du blé est loin d'être atteint. C'est pourquoi l'approche « Crop efficiency » qui cherche non seulement à accroître le rendement mais également à le préserver et l'optimiser est importante. On cherche par exemple à rendre les hybrides de blé moins sensibles aux stress abiotiques (sécheresse, chaleur...)

Sur 20 ha, la pépinière compte 200 000 épilignes (une épiligne est une ligne de 2 m de long semée avec les grains d'un seul épi).

Dans la collection entretenue il y a plus de 200 origines différentes. Elle sert notamment dans le programme « crop » qui vise, dans un objectif de préservation du rendement,

- à comprendre la formation du rendement en intégrant tous les stress abiotiques,
- à observer le comportement de la plante pour collecter des données et comprendre leur utilité.

Différentes technologies sont utilisées dans la collecte de très nombreuses données : tour de phénotypage, tracteur avec capteurs et drone principalement.

Comme signalé plus haut, après 5 années d'activité la station emploie 23 personnes plus quelques 140 intérimaires intervenant selon les périodes de charge de travail. Il y a près de 18 000 parcelles conduites jusqu'au rendement, 4 200 analyses de qualité et 120 000 sachets de graines sont semés chaque année. Le programme vise la commercialisation de variétés de blés hybrides à partir de 2023.

A la fin de cet exposé en salle, Gérard TENDRON, Secrétaire perpétuel, remercie Philippe LEDOUX pour l'accueil réservé à l'AAF et pour les informations très précises concernant les activités de la station devant des confrères dont beaucoup sont des spécialistes. Il remet quelques documents produits par l'AAF, préparés comme à chaque occasion par Christian MARÉCHAL. Il donne des explications sur les activités de l'AAF, notamment les groupes de travail qui produisent une synthèse de leurs réflexions qui est valorisée de différentes façons (rapport, avis, séance...) et invite Philippe LEDOUX à la séance de rentrée de l'AAF au mois de septembre.

La visite se poursuit sur le terrain sous la conduite de Jean-Michel MOREAU, responsable de la sélection. Pour la réalisation des croisements, il nous signale l'importance de la précocité de floraison. Dans le germplasm français (collection des variétés), la floraison des mâles est très précoce. La sélection utilise la méthode SSD (single seed descent) pendant deux ans en serre, puis à partir de la cinquième génération au champ. Auparavant les plantes haploïdes sont obtenues par germination de grains de pollen. La diploïdisation se faisait par traitement de la plantule à la colchicine, technique qui a été abandonnée compte-tenu du pourcentage d'auto-diploïdisation comme déjà signalé. Pour la cartographie des hybrides (recherche des marqueurs), la partie analyse génotypique se fait à Gand mais le phénotypage est réalisé ici. Jean-Michel MOREAU nous montre ainsi la tour de phénotypage installée au milieu des essais. Le groupe passe devant la serre où se pratique la SDD, presque vide à cette l'époque de l'année.

Tous les effluents phytosanitaires de la ferme expérimentale sont traités dans un « phytobac » composé d'un lit de terre et paille où ils sont pulvérisés dilués à l'eau. C'est ensuite la visite des salles de préparation : tri, battage et équipements annexes, salle de traitement des semences, salle de préparation des envois, sachets et expéditions. La visite des locaux se termine par le hangar de stockage des matériels de culture et ceux pour l'expérimentation (semoirs automoteurs, moissonneuses-batteuses pour petites parcelles, le tracteur bardé de capteurs, une sorte d'immense enjambeur dont il a déjà été question plus haut, un drone...).

Le groupe termine cette visite autour d'un buffet préparé à son intention et chacun a pu prendre le chemin du retour vers 14 h 30.

### **UN COLLOQUE SUR LA RIZICULTURE EN CAMARGUE S'EST TENU LES 7 ET 8 JUIN 2018 EN ARLES ET DANS LES ENVIRONS.**

par Marc **DELOS**<sup>1</sup> et Michel **DRON**<sup>2</sup>

17 membres de la compagnie, appartenant aux sections 1,2,3,4,5,6 et 9 ont participé à un colloque sur la riziculture les 7 et 8 juin 2018.

Un représentant de la DRAAF de la région PACA et deux professeurs agronomes du lycée agricole de l'Isle sur la Sorgue ont été invités à se joindre aux congressistes de la compagnie. Le colloque a permis de présenter la place de la riziculture dans le monde, en Europe et son histoire en France.

Le riz est la première céréale consommée par les humains dans le monde avec une place prépondérante en matière de sécurité alimentaire, essentiellement en Asie et en Afrique.

Les différences en termes de consommation entre zones géographiques y compris en Europe ont été soulignées.

Il a été relevé l'impact particulièrement positif et la place indispensable des rizières dans les rotations des espaces aux sous-sols salés de la Camargue, seul moyen de permettre le maintien d'une agriculture à faible impact environnemental.

La rotation traditionnelle fait ainsi succéder 3 années de riz pour réduire la teneur en sel du sol et 3 années de blé dur pour faire régresser l'infestation en adventices, contrôle que ne permet plus la gamme d'herbicides disponibles. Avec la baisse des surfaces en riz observée depuis quelques années, cette rotation modèle s'enrichit d'autres cultures dont le tournesol, la luzerne ainsi que la tomate de plein champ voire le melon qui peuvent aussi trouver leur place dans les systèmes rizicoles en substitution au blé dur.

Les représentants du parc de Camargue aux préoccupations naturalistes ont bien souligné l'importance de la rizière, support trophique indispensable pour des espèces emblématiques comme la grue cendrée, le héron pourpré, le butor étoilé et bien évidemment les flamants roses malgré des préjudices aux rizières, plus réguliers et sensibles au fur et à mesure que le nombre de flamants roses augmente et que la surface en riz diminue.

---

<sup>1</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France

L'impact de la riziculture sur les émissions des gaz à effet de serre et le changement climatique a été largement abordé avec en contre point les conséquences des perspectives d'un réchauffement climatique sur la riziculture qui permettrait de voir les rendements augmenter si la disponibilité en eau du Rhône n'est pas réduite et les stress biotiques sous contrôle.

Avec un maximum historique récent de 24 000 ha<sup>3</sup> et une surface actuelle de 15 000 ha, la rizière de Camargue pèse cependant que très peu dans la production de méthane au plan français puisque toutes les zones humides sont également concernées par cette production. En sus un de nos confrères a expliqué que l'impact des zones humides anthropisées était vraisemblablement surestimé quant à la production de méthane, principal GES en cause. Il a été souligné que 18 % de ces surfaces étaient conduites selon les principes de l'agriculture biologique, proportion importante permise par un prix du riz deux fois et demi supérieur à la production conventionnelle. Ce mode de production est cependant conditionné à des sous-sols moins salés, rendant possibles des rotations culturales plus longues et la possibilité de façons culturales plus régulières et plus profondes.

La salinité du sous-sol des zones agricoles de la Camargue n'est maintenue en profondeur que grâce à l'apport d'une lame d'eau douce puisée dans le Rhône qui accompagne la culture du riz du semis jusqu'aux semaines qui précèdent la récolte. Cette lame d'eau permet de faire perdurer une gradation de salinité des sols et reproduit l'effet des inondations liées aux crues du Rhône avant son endiguement. La rizière fait donc perdurer ce gradient indispensable à une biodiversité caractéristique d'espaces de transition entre le milieu terrestre et le milieu marin. La rizière est aussi un moyen de lutte contre la remontée du sel et du milieu marin qui résulterait de la protection relativement récente des zones habitées contre les crues du Rhône.

La description des difficultés techniques de la production de riz a été largement développée avec la difficulté du passage liée à la faible portance des sols qui valoriserait l'adoption d'applications via des drones pour accélérer le déploiement de moyens de biocontrôle. Deux exposés particulièrement instructifs ont été consacrés à cette thématique de l'utilisation des drones.

Les principaux freins techniques au maintien des surfaces en riz font que sur les 320 000 tonnes de riz consommées en France, seulement 80 000 tonnes sont produites en Camargue.

Cette production réduite de 40 000 tonnes depuis 2010 limite l'accès à un produit local, emblématique de la richesse de nos terroirs et bien plus sécurisé quant aux contaminants naturels ou anthropiques que les riz importés.

A côté des aspects économiques et de la nécessité d'un accompagnement spécifique de ces productions notamment via des MAE adaptées, deux stress biotiques ont été bien soulignés pour illustrer le plafonnement des rendements constaté qui réduit les performances économiques de la filière.

Le principal est lié au contrôle des adventices, contrôle devenu plus problématique avec la réduction de la diversité des herbicides et la résistance de certaines espèces aux herbicides disponibles et ce malgré la mise en œuvre de méthodes agronomiques complémentaires

L'arrivée récente et le développement extrêmement rapide du charançon aquatique menace également la production de riz. Ce développement est d'autant plus rapide que le contrôle des adventices infestant les rizières est insuffisant, seul le riz semé bénéficie d'une protection de semence partielle qui ne contrôle pas les adultes.

En revanche la plupart des autres stress biotiques historiques ont été résolus avec l'amélioration variétale (pyriculariose et pyrale du riz) et le centre français du riz a développé une forte expertise privilégiant des moyens de biocontrôle pour les gérer.

---

<sup>3</sup> Le maximum historique est de 32500 hectares dans les années 1960.

**VIE DE L'ACADÉMIE**

---

Les exposés ont été d'une rare qualité et ont entraîné de nombreuses questions et discussions en séance mais aussi durant les temps de pause. C'est le signe manifeste de l'intérêt des participants pour les thématiques abordées.

Nos remerciements vont à Bertrand MAZEL et Cyrille THOMAS qui ont su nous faire partager leur savoir et leur passion pour le riz et aux intervenants qui nous faire découvrir l'étendue des thématiques qui interfèrent avec cette culture inféodée à un territoire si spécifique.

**Responsables de l'édition :**

Christian Ferault : [christian.ferault@gmail.com](mailto:christian.ferault@gmail.com)

Jean-Claude Mounolou : [mounoloujcm@orange.fr](mailto:mounoloujcm@orange.fr)

**Secrétariat de rédaction**

Christine Ledoux-Danguin  
[christine.ledoux@academie-agriculture.fr](mailto:christine.ledoux@academie-agriculture.fr)

