



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

## **Agriculture - Alimentation Environnement**

**EAU ET FORÊT : NOUVEAUX REGARDS SUR UNE QUESTION ANCIENNE**

**LA GESTION COLLECTIVE DU RUISSELLEMENT ÉROSIF FACE À  
L'ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE**

**L'ÉLEVAGE DE MONTAGNE**

**APPORT DE L'OBSERVATION SPATIALE DU CYCLE DE L'EAU  
CONTINENTAL POUR DES ÉTUDES CLIMATIQUES**

**PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES**

**GESTION DES RESSOURCES COMMUNES**

**UN CHANGEMENT DE GÉNÉRATION POUR LES BIOCARBURANTS ?**

**ACCEPTABILITÉ SOCIÉTALE DES INNOVATIONS DANS LA FILIÈRE  
ALIMENTAIRE**

# SOMMAIRE

## SÉANCES D'AVRIL, MAI ET JUIN 2013

---

- 3     **EAU ET FORÊT : NOUVEAUX REGARDS SUR UNE QUESTION ANCIENNE**  
Séance animée par **Yves Birot** (3 avril 2013)  
Les zones forestières influencent-elles le régime des pluies ? Les faits et leur interprétation, par **Bernard Saugier**.  
Une sylviculture « hydrocentrée » est-elle possible ? par **Nathalie Breda**.  
Nouvelles approches pour optimiser la gestion forestière favorisant les services des écosystèmes liés à l'eau, par **Bart Muys**.
- 11    **LA GESTION COLLECTIVE DU RUISSELLEMENT ÉROSIF FACE À L'ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE**  
Séance animée par **François Papy** (10 avril 2013)  
Les effets de l'évolution de l'agriculture sur le ruissellement érosif, par **Philippe Martin**.  
Historique de la gestion collective du ruissellement érosif en Pays de Caux, par **Jean-François Ouvry**.  
Conception et utilisation de jeux de rôles pour faciliter la concertation, par **Véronique Souchère**.
- 26    **L'ÉLEVAGE DE MONTAGNE**  
Séance animée par **Jeanne Grosclaude** et **Michel Thibier** (17 avril 2013)  
Panorama de l'élevage de montagne, par **Bruno Martin**.  
Le rôle des AOC fromagères dans le maintien de l'élevage de montagne, par **Marie Dervillé**.  
Les dominantes pathologiques de l'élevage en montagne, par **Jean-Pierre Alzieu**, **Jeanne Brugère-Picoux** et **Christophe Brard**.  
*La place du vétérinaire en milieu de montagne : son évolution et son futur*, par **Christophe Roy**.
- 34    **SÉANCE LIBRE**  
(15 mai 2013)  
Intérêts et limites du concept de services écosystémiques appliqué aux sols, par **Philippe Baveye**.  
Nouveaux ravageurs, nouveaux défis, par **Charles Descoins**.  
Charançon rouge et papillon palmivore, par **Didier Rochat**.  
Analogies entre la révolution néolithique et l'expansion spatiale de l'humanité, par **Jean Dunglas**.
- 60    **APPORT DE L'OBSERVATION SPATIALE DU CYCLE DE L'EAU CONTINENTAL POUR DES ÉTUDES CLIMATIQUES**  
Séance animée par **Alain Perrier** (22 mai 2013)  
L'estimation des précipitations depuis l'espace : le commencement de l'ère GPM, par **Rémi Roca**.  
Contributions des approches multi-satellites à l'étude du cycle de l'eau, par **Philippe Maisongrande**.  
Sahel, entre désertification et reverdissement : le point sur une controverse, par **Cécile Dardel**.

- 67 **PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES**  
Séance animée par **Yves Lespinasse** (29 mai 2013)  
La filière PPAM, ses spécificités dans le contexte agricole-horticole français, par **Nadine Leduc**.  
Les atouts et les contraintes de la production et de la transformation des PPAM, par **Jean-Pierre Bouverat-Bernier**.  
L'innovation de la graine à l'extrait, l'avenir de la plante médicinale par **Alban Muller**.  
L'emploi des produits naturels pour la protection des cultures, perspectives et limitations, une opportunité pour la filière des plantes aromatiques françaises par **Daniel Joulain**.  
Les questions et travaux de recherche nécessaires au développement de la filière, par **Frédéric Bourgaud**.
- 101 **GESTION DES RESSOURCES COMMUNES**  
**(Séance en hommage à Madame Elinor Ostrom)**  
Séance animée par **Roland Pérez et Jacques Weber** (5 juin 2013)  
La terre au-dessus, à l'intérieur et en dessous, l'évolution de la complexité institutionnelle et des ressources communes en Amazonie, par **Eduardo S. Brondizio**.  
Du paradoxe de Condorcet à la gestion des *Commons* : mode de décision et appropriation des rentes, par **Jean-Marc Bousard**.  
Implications de l'analyse des ressources communes pour les politiques et les institutions : une nouvelle approche de la gouvernance, par **Gérard Viate**.
- 113 **UN CHANGEMENT DE GÉNÉRATION POUR LES BIOCARBURANTS ? DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DES BIOCARBURANTS AVANCÉS**  
Séance animée par **Michel Girard** (12 juin 2013)  
Biocarburants du futur : vers une mosaïque de solutions durables, par **Philippe Marchand**.  
Bioéthanol carburant : les nouvelles générations de ressources végétales et de procédés biologiques. L'exemple du Projet FUTUROL, initiative française de déploiement industriel et commercial, issu de la recherche publique et privée par **Frédéric Martel**.  
Projet BioTfueL, par **Julien Rousseau**.
- 121 **ACCEPTABILITÉ SOCIÉTALE DES INNOVATIONS DANS LA FILIÈRE ALIMENTAIRE**  
Séance animée par **Ismène Giachetti** (19 juin 2013)  
Une question de confiance. Producteurs et consommateurs dans le processus d'innovation alimentaire : promotion, refus, acceptation, par **Jean-Pierre Williot**.  
Aspects sociologiques de l'opposition aux OGM, par **Daniel Boy**.  
L'acceptabilité sociétale des innovations agroalimentaires : déterminants et variabilité, par **Jocelyn Raude et Gervaise Debucquet**.

## **PUBLICATIONS**

---

- 128 Note de recherche : Nourrir le monde en 2050, par **André Neveu**.  
143 Note académique : *Agricultural science and the Academies of Science in Australia*, par **Graham Faichney**.  
*An introduction to the large kangaroos of Australia*, par **Graham Faichney**.  
149 Analyses d'ouvrages et présentations de thèses

## **VIE DE L'ACADÉMIE**

---

- 157 Nécrologies  
159 Visite de l'AAF chez BAYER au centre de la Dargoire à Lyon

# EAU ET FORÊT : NOUVEAUX REGARDS SUR UNE QUESTION ANCIENNE

## INTRODUCTION

par Yves **Biro**t<sup>1</sup>

Le récent forum mondial de l'eau (Marseille, mars 2012) a rappelé avec force l'importance de l'eau, source de vie pour les écosystèmes et les sociétés. Occupant 25% du territoire français et 40% de l'Europe à 27, les forêts ont une grande influence sur le cycle hydrologique. Leur rôle dans le cycle de l'eau est reconnu depuis longtemps, même si la perception qu'en ont la société et les décideurs, reste marquée de nombreuses idées reçues, allant parfois à l'encontre des données scientifiques. Il est admis aujourd'hui, qu'un changement de paradigme est nécessaire : il convient de considérer l'eau dans sa globalité (et non pas la seule « eau bleue », celle que nous consommons : besoins domestiques, agriculture, industrie), mais aussi l'eau verte : élément fondamental du fonctionnement des écosystèmes forestiers, dont dépendent à leur tour les nombreux biens et services (dont l'eau elle-même) qu'ils fournissent.

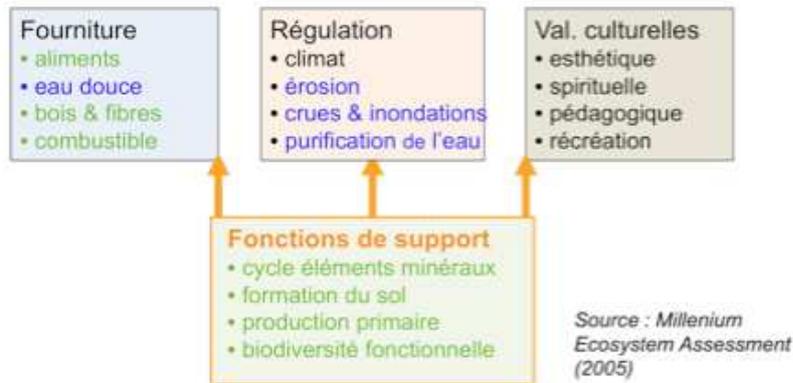
Dans les dernières années, les interrogations et les débats sur le changement climatique, son impact sur les écosystèmes forestiers et leur rôle dans son atténuation ont fortement privilégié une approche « carbo-centrée », ce qui a contribué à perdre de vue le facteur eau. Remettre l'accent sur l'eau est particulièrement justifié dans la perspective des changements du climat et de l'utilisation des terres. La question des interactions entre forêt et eau, marquées par de fortes variabilités spatio-temporelles et soumises à d'importants effets d'échelle, est très complexe.

Pour bien comprendre le problème, il faut analyser le cycle de l'eau à différentes échelles spatiales. Les apports d'eau sont constitués par le ruissellement de surface ou hypodermique venant de l'amont pour une parcelle en pente, et surtout par la pluie incidente. Une partie de celle-ci est captée par la canopée et ré-évaporée ; cette fraction peut atteindre 20 à 30% dans les climats à pluie fréquente et peu intense. Une partie de l'eau de pluie atteint le sol. A ce niveau, une fraction est évaporée, une autre peut ruisseler et une troisième s'infiltrer. L'eau du sol est à son tour partitionnée en une fraction absorbée par les racines des arbres et des plantes, tandis qu'une autre va alimenter les aquifères ou parvenir par voie souterraine aux cours d'eau. Pour résumer, la pluie incidente génère deux types de ressources en eau : l'eau verte dans le sol, utilisée pour la croissance de la plante et la production, retournant à l'atmosphère sous forme de flux de vapeur ; l'eau bleue dans les aquifères et les rivières, accessible à l'utilisation humaine, (dans le cas de l'irrigation, l'eau bleue est transformée en eau verte). Ces concepts d'eau bleue et d'eau verte se sont révélés utiles pour la gestion des ressources en eau à différentes échelles.

Il convient également de considérer l'eau dans tous les processus du fonctionnement des écosystèmes forestiers, qui permettent la production de biens et de services, dont l'eau elle-même (voir figure ci-dessous).

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.  
**C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 3 avril.**



*En bleu : fonctions et biens et services relatifs à l'eau bleue, en vert ceux relatifs à l'eau verte*

La complexité des phénomènes et interactions impliqués dans les relations forêt et eau a conduit récemment la communauté scientifique à proposer des synthèses, intégrant les récentes avancées dans les connaissances. En 2011, L'Institut européen de la forêt a publié dans la collection « What science can tell us » l'ouvrage collectif : **L'eau pour les forêts et les hommes en région méditerranéenne : un équilibre à trouver**. A partir de ce travail, trois questions ont été sélectionnées pour cette séance de l'Académie afin d'illustrer quelques aspects majeurs des interactions forêt x eau.

- 1) **Les zones forestières influencent-elles le régime des pluies ? Les faits et leur interprétation** par Bernard **Saugier**, membre de l'AAF.
- 2) **Une sylviculture « hydro-centrée » est-elle possible ?** par Nathalie **Bréda**, directrice de Recherche à l'INRA, Membre correspondant de l'AAF.
- 3) **Nouvelles approches pour optimiser la gestion forestière favorisant les services des écosystèmes liés à l'eau** par Bart **Muys**, professeur à l'Université de Louvain (Belgique).

## **LES ZONES FORESTIÈRES INFLUENCENT-ELLES LE RÉGIME DES PLUIES ? LES FAITS ET LEUR INTERPRÉTATION**

par Bernard **Saugier**<sup>1</sup>

Les forêts se différencient des cultures ou des prairies par plusieurs caractéristiques : surface foliaire élevée pendant une grande partie de l'année, forte évaporation de l'eau interceptée par le feuillage, enracinement profond permettant de supporter des périodes sèches. Il en résulte que, sur l'année, l'évapotranspiration des forêts est supérieure à celle des prairies ou des cultures. Cela signifie plus d'humidité rejetée dans l'air, et par suite de précipitations en aval, mais localement moins d'écoulement d'eau liquide pour alimenter les rivières, comme l'ont montré les études sur bassins versants. Les échelles considérées sont très différentes : continentale pour l'augmentation de précipitations, locale pour les bassins versants, dont la surface est en général de l'ordre du kilomètre carré.

A l'échelle locale, plusieurs études, notamment en France, ont rapporté que l'intérieur de massifs forestiers recevait plus de pluies que la périphérie, suggérant que les arbres attireraient les pluies, notamment les pluies d'orages. Mais il a manqué de données pour conclure de façon ferme à un effet, qui pourrait être lié à une plus grande rugosité de la forêt, affectant la couche limite atmosphérique et pouvant faciliter les précipitations.

Récemment, une physicienne russe, Anastasia Makarieva, a analysé des transects horizontaux allant d'un océan vers l'intérieur d'un continent. Quand on passe d'une zone à forte évaporation (l'océan) à une zone à évaporation plus faible sur le continent, il s'ensuit une diminution de précipitations. Makarieva a trouvé cette diminution beaucoup moins marquée quand le transect est sur une zone forestière, suggérant une auto-alimentation des précipitations par l'évapotranspiration de la forêt. Ces études ont été confirmées récemment de façon rigoureuse en reconstituant les trajectoires de masses d'air passant ou non au-dessus de surfaces forestières (Spracklen *et al.*, 2012). Makarieva a ensuite cherché à justifier cette hypothèse par des considérations physiques liées au changement de volume de l'eau associé aux phénomènes d'évaporation et de condensation. Pour elle, la forte ETR des forêts entraînerait une diminution de pression atmosphérique favorisant la convergence d'air humide d'origine océanique puis leur précipitation. Cette théorie a suscité beaucoup d'intérêt chez les forestiers mais surtout du scepticisme chez les spécialistes de l'atmosphère, qui ont du mal à croire que les modèles de climat utilisés depuis 30 ans auraient besoin d'une révision aussi fondamentale. Le débat sur le fond n'est pas clos.

### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- (1) BONAN G.B., 2008. – Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* **320**, 1444–1449.
- (2) MAKARIEVA A.M., GORSHKOV V.G., LI B-L., 2009. – Precipitation on land versus distance from the ocean: evidence for a forest pump of atmospheric moisture. *Ecol. Complex* **6**, 302–307.
- (3) MAKARIEVA A.M., GORSHKOV V.G., LI B-L., 2012. – Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation. *Theor. Appl. Climatol.* DOI 10.1007/s00704-012-0643-9.
- (4) SPRACKLEN D. V., ARNOLD S. R., TAYLOR C. M., 2012. – Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, **489**, 282–285.

(Reçu le 2 avril 2013)

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France et ancien Président, Professeur honoraire de l'Université Paris-Sud.

## UNE SYLVICULTURE « HYDROCENTRÉE » EST-ELLE POSSIBLE ?

par Sylvie **Breda**

(Communication non parvenue)

## NOUVELLES APPROCHES POUR OPTIMISER LA GESTION FORESTIÈRE FAVORISANT LES SERVICES DES ÉCOSYSTÈMES LIÉS À L'EAU

par Bart **Muys**<sup>1</sup>

Les services écosystémiques fournis par les forêts à l'humanité sont importants et multiples. Les services de la forêt liés à la fourniture et la régulation de l'eau sont amplement reconnus, mais généralement mal compris. Le modèle "éponge" (la forêt fixant l'eau en saison pluvieuse, puis la relâchant en saison sèche) qui a motivé de nombreuses plantations forestières de restauration en zone méditerranéenne s'est révélé erroné. Mais le paradigme alternatif de l'eau bleue, c'est-à-dire la maximisation de la disponibilité en eau dans les rivières et les aquifères, a fait oublier l'importance de l'eau verte comme moteur des processus de croissance de la forêt et de contrôle des sédiments et du cycle biogéochimique. Dans ce cadre, il est intéressant de mentionner le tout nouveau concept de bassins de précipitation ("*precipitationsheds*"), qui donne même une valeur géostratégique aux forêts comme zones sources d'eau d'évapotranspiration. Ceci dit, nous proposons un compromis entre eau bleue et eau verte qui, dans le contexte d'un bassin versant, est un compromis entre les services écosystémiques d'amont et aval. Cela devient encore plus pertinent dans un contexte d'adaptation de la gestion forestière aux changements climatiques.

(Reçu le 2 avril 2013)

---

<sup>1</sup> Professeur, Écologie et Gestion forestières, Université catholique de Louvain, Belgique

### DISCUSSION

**C. Lévêque**<sup>1</sup>. – Vous nous parlez d'optimisation et de modèle d'aide à la décision basés nécessairement sur l'hypothèse d'un état stationnaire pour pouvoir faire ce genre de démarche. Comment appliquer ces modèles alors que depuis deux décennies on constate une très grande variabilité climatique ainsi qu'un réchauffement, qui rendent bien délicate l'application de ces modèles déterministes et théoriques? Les systèmes écologiques sont sur des trajectoires et non pas stationnaires.

**B. Saugier**. – Les modèles d'évapotranspiration prennent en compte les variations climatiques, qu'elles soient mesurées ou prédites par un modèle de climat. On peut donc les utiliser dans les divers scénarios d'émission de gaz à effet de serre.

**B. Muys**. – La variabilité interannuelle est effectivement un problème, et pour y répondre, une approche consiste à augmenter la résilience des écosystèmes, approche qui n'est pas discutée dans le cadre de cette séance. C'est ce qu'on recherche par exemple dans les systèmes agroforestiers en Afrique où des expérimentations ont montré une plus grande stabilité des rendements en conditions agro-forestières par

---

<sup>1</sup> Président de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche émérite de l'IRD (ex ORSTOM)

rapport à du maïs en monoculture. En forêt, il semble que des peuplements mélangés soient plus performants en termes de productivité et de fourniture de services écosystémiques en conditions climatiques extrêmes. Toutefois, les mécanismes sous-jacents restent à établir.

**Nathalie Bréda** : J'ai un point de vue un peu différent. On peut en effet lors d'un événement extrême perdre l'une des espèces et l'effet positif des mélanges dans ces conditions n'est pas si évident. Je serai donc prudente sur ce point et considère que l'on a encore besoin d'investigations plus poussées.

**G. Paillotin**<sup>2</sup>. – En se bornant aux ordres de grandeur, que donne la comparaison du volume d'eau émis par une forêt d'un hectare avec la quantité d'eau utilisée pour l'arrosage d'un hectare de maïs durant l'été?

**B. Saugier**. – Une forêt évapore 3 à 4 mm/j en été dans le bassin parisien, et peut consommer 350 à 500 mm sur une année. Ces chiffres sont comparables, peut-être légèrement supérieurs pour la forêt landaise. En comparaison, l'irrigation du maïs peut consommer de 150 à 250 mm sur une saison (1mm = 10 m<sup>3</sup>/ha).

Question à Yves Birot : Qu'appelle-t-on exactement la purification de l'eau par les forêts ?

**Y. Birot**. – Il s'agit en fait d'un raccourci de langage qui couvre des réalités différentes :

- la turbidité de l'eau issue de bassins-versants forestiers est généralement beaucoup plus faible que celle provenant de zones cultivées où la couverture du sol n'est pas continue ;
- la quasi-absence d'apport d'intrants en gestion forestière fait que l'eau collectée en aval de bassins versants forestiers ou dans des captages sous-forêt présente un niveau élevé de qualité et de potabilité. De grandes villes alimentées en eau potable issue de zones forestières, telles que Munich, Vienne ou New-York, ne traitent pas l'eau ;
- Les forêts alluviales et les ripisylves peuvent avoir un réel rôle épurateur, par exemple vis-à-vis des nitrates, provenant des zones cultivées adjacentes.

**J.M. Bourre**<sup>3</sup>. – Une observation : concernant le raccourcissement des rotations, il est difficile d'imaginer des rotations de 40 ans avec plantations de chênes ou de hêtres (sauf à produire du bois énergie, qui est 5 à 10 fois moins rentable pour le gestionnaire, au moins actuellement). Or, sur les sols accueillant chênes ou hêtres, les peupliers ne poussent pas. Il faut donc envisager de passer aux conifères, notamment aux douglas.

Question : a-t-on évalué la différence de perte d'eau entre d'une part une forêt sur nappe phréatique et d'autre part une forêt sur un sol qui en est dépourvu en sous-sol ? En d'autres termes, existe-il des exemples, en France notamment, de nappes qui n'aient pas été correctement remplies du fait de la forêt située au-dessus d'elle ? Inversement, il existe des régions à forte pluviosité, mais totalement dépourvues de nappes phréatiques, comme le Limousin, la Haute-Corrèze en particulier. Certains déconseillent d'y replanter des résineux, du fait de leur évapo-transpiration importante, mais des feuillus. En réalité peut-on imaginer que ces plantations induisent réellement une quelconque pénurie en eau de la Loire et/ou de la Garonne ? Curieusement, ceux là même qui demandent de restreindre les plantations de résineux, prescrivent la plantation de douglas, afin de raccourcir les cycles, pour faire face aux problèmes de changement climatique ! Cercle vicieux ?

**Nathalie Breda**. – Pour une essence comme le douglas, la rotation de 40 ans est un objectif classique pour produire une grume de dimension et de qualité adéquates pour l'industrie. Afin de réduire l'impact d'une telle plantation sur la consommation en eau, il faut agir sur la densité du peuplement en adoptant des densités plus basses.

**Y. Birot**. – En hydrologie forestière, on constate généralement une réduction des écoulements sous forêts (comme l'ont mentionné B. Saugier et B. Muys) variable selon la géomorphologie, la nature de la

<sup>2</sup> Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie d'Agriculture de France.

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

couverture forestière et le climat. En conditions sèches, le tarissement des émissaires peut-être observé ; en Afrique du Sud, par exemple, la colonisation naturelle de bassins versants par le pin maritime, antérieurement introduit en plantation pour produire des bois de mine, a conduit à une réduction drastique des ressources en eau qui a amené les autorités à rechercher son éradication.

**G. Tendron<sup>4</sup>.** – Nathalie Bréda a très clairement rappelé qu’une sylviculture claire, reposant sur des éclaircies fortes et régulières, se traduit par des indices foliaires réduits qui permettent de retarder, voire d’éviter l’exposition des arbres à des déficits hydriques prolongés en période de sécheresse.

Elle a aussi souligné l’adaptation relative des arbres par la possibilité pour les racines d’explorer des horizons plus ou moins profonds du sol afin de trouver leur alimentation en eau.

Cependant les interventions sylvicoles n’ont pas d’influence directe sur les niveaux de prospection des racines dans le sol.

La faible adaptabilité des systèmes racinaires ne milite t’elle pas pour la nécessité de substitution d’essences afin de privilégier les espèces à enracinement profond plutôt que celles à enracinement superficiel ?

Les mortalités constatées liées au stress hydrique donnent-elles des indications dans ce sens ?

**Nathalie Bréda.** – Le pin sylvestre dépérit plus que le douglas, parce qu’il est en général installé sur des sols à réserves hydriques utiles plus faibles ; on observe d’ailleurs que les dépérissements interviennent en zone méridionale française. Le système racinaire semble être modifié par les éclaircies. Sur sol profond pour le chêne et le hêtre, on a constaté à l’aide de sondes à neutrons, que l’éclaircie provoquait une modification de la zone prospectée par les racines, celles-ci ayant tendance à se développer en profondeur pour y exploiter l’eau disponible.

---

<sup>4</sup> Secrétaire perpétuel de l’Académie d’Agriculture de France, Ingénieur général honoraire du GREF.

## EAU ET FORÊT : NOUVEAUX REGARDS SUR UNE QUESTION ANCIENNE

### CONCLUSION

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

Les interactions forêt x eau sont, depuis quelques années, l'objet d'une attention soutenue de la part de la communauté scientifique internationale. De nombreux programmes de recherche, colloques, états de l'art leur sont consacrés. Ce regain d'intérêt est lié notamment aux interrogations sur les changements globaux (climat, utilisation des terres) et sur la prise en compte croissante de l'ensemble des biens et services fournis par les écosystèmes forestiers. Les thèmes choisis pour cette séance ont permis d'en illustrer trois aspects importants.

1) Les forêts alimentent le cycle hydrologique grâce à l'évapotranspiration, qui refroidit le climat à travers des rétroactions avec les nuages et les précipitations : c'est un service fondamental de ces écosystèmes. L'évapotranspiration réelle des forêts est généralement supérieure à celle d'autres écosystèmes, et le débit d'un cours d'eau issu d'un bassin-versant forestier est souvent plus faible, mais est-ce un bien ou un mal ? Sous l'angle de la vision locale de l'eau bleue produite, l'effet du couvert forestier peut sembler négatif. Mais si l'on se place à un niveau d'échelle supérieur et en considérant l'offre en eau, la fourniture à l'atmosphère de vapeur d'eau qui va précipiter sur le continent quelque part en aval, est plus forte au-dessus de la forêt. La compréhension et la modélisation des réponses climatiques – y compris les régimes de précipitations – aux changements d'utilisation des terres (ex : déforestation tropicale) sont donc essentielles. Des travaux récents, notamment en Russie, apportent des éclairages nouveaux. Ces travaux font toutefois l'objet de controverses. D'autres résultats montrent que pour plus de 60 pour cent de la surface des terres tropicales (entre 30 degrés de latitude nord et sud), l'air qui a passé au-dessus de vastes zones forestières dans les quelques jours qui précèdent, produit au moins deux fois plus de pluie que l'air qui a passé au-dessus de zone, à couvert végétal limité.

2) L'objectif traditionnel de la sylviculture est carbocentré (production de biomasse). Toutefois, la gestion pour l'eau peut ou doit être envisagée dans les cas suivants : i) obtention de peuplements plus résistants et résilients aux stress hydriques attendus ; ii) diminution de la consommation nette d'eau de la forêt au bénéfice des ressources hydriques ; iii) amélioration de l'efficacité de l'eau (et de l'empreinte-eau des produits forestiers). Il y a une vraie attente des gestionnaires forestiers et des agences de bassin et des producteurs d'eau potable.

Des résultats récents et des voies d'action possibles sont présentés. Une sylviculture claire « à indice foliaire réduit » permet de retarder, parfois d'éviter l'exposition à un déficit hydrique des arbres. Toutefois, cette sylviculture augmente la consommation en eau de la végétation basse, mais même si cette dernière n'exploite pas les mêmes réservoirs que les arbres. Il peut s'avérer nécessaire de la contrôler. L'économie de l'eau par la sylviculture se fait forcément aux dépens de la productivité. Il faut trouver des compromis entre productivité-bois, résistance au stress hydrique et restitution d'eau au milieu. Il convient enfin de rester réaliste, une sylviculture hydrocentrée peut se révéler insuffisante face à l'ampleur de l'impact du changement climatique, rendant nécessaire une évaluation multicritères.

3) La gestion intégrée de l'eau s'impose comme une nécessité. Elle implique des compromis entre des objectifs multiples (eau verte et eau bleue, amont et aval d'un bassin-versant, eau et autres services des écosystèmes, etc.) et nécessite d'associer aux options techniques des instruments écologiques et socio-économiques. Il s'agit également d'améliorer l'efficacité de consommation en eau et le paiement aux gestionnaires forestiers des services rendus pour la fourniture d'eau.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 3 avril.

La gestion durable de bassins-versants suppose de coupler les solutions techniques à des approches écologiques et économiques. Le paradigme de l'eau bleue doit être à nouveau confronté à celui de l'eau verte, base des fonctions écosystémiques principales. Il est possible d'intégrer l'eau avec d'autres services écosystémiques (comme la limitation des processus érosifs sous couvert forestier) ; il existe aujourd'hui de nouveaux outils de recherche de compromis et d'optimisation pour la gestion. Des résultats montrent qu'il est possible d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau en forêt. Des exemples de « succès story » concernant le paiement des services écosystémiques liés à l'eau commencent à émerger, mais ils dépendent de l'existence de conditions institutionnelles adéquates.

### **Pour en savoir plus**

BIROT Yves, GRACIA Carlos et PALAHI Marc (eds), 2011. – L'eau pour les forêts et les hommes en région méditerranéenne : un équilibre à trouver.

European Forest Institute – Collection : *What science can tell us*

[http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi\\_what\\_science\\_can\\_tell\\_us\\_1\\_2011\\_fr.pdf](http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_what_science_can_tell_us_1_2011_fr.pdf)

# LA GESTION COLLECTIVE DU RUISSELLEMENT ÉROSIF FACE À L'ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE

*(cas du Pays de Caux)*

## INTRODUCTION

par François Papy<sup>1</sup>

La séance d'aujourd'hui voudrait inaugurer une série de séances sous l'intitulé de gestion collective de l'espace. C'est un des thèmes retenus par la section 7.

Nous allons traiter de cette question sur un cas : la régulation du ruissellement érosif dans une région (le Pays de Caux) où l'agriculture évolue progressivement, depuis plusieurs décennies, vers de la grande culture mécanisée, ce qui accentue le processus érosif.

Nous nous appuyerons sur des travaux de recherche qui ont débuté dans les années 80, mobilisant plusieurs laboratoires des départements Sciences pour l'action et le développement (SAD) et Agronomie-Environnement de l'INRA (celui d'Orléans notamment), une association (l'Association régionale pour l'étude et l'amélioration des sols, AREAS de Haute Normandie) créée dès le début de cette période, puis, progressivement, de plus en plus d'acteurs et d'organismes en plus des agriculteurs : les services administratifs de l'État, des élus, les Chambres d'agriculture, des syndicats de bassins versants, etc.

Le Pays de Caux est tout à fait représentatif des régions de sols loessiques du Nord de l'Europe qui sont le siège d'un système érosif spécifique : **l'érosion par ruissellement concentré**. Bien que les pentes n'y soient pas très fortes ni les pluies très intenses, on y observe des phénomènes érosifs très marqués. Le phénomène s'explique par le caractère battant des sols loessiques qui, à la moindre pluie, se déstructurent en surface des parcelles en cultures annuelles, contrairement à celles en prairies. Une couche fine et imperméable s'y forme. L'eau ruisselant sur les flancs des petits bassins versants se concentre dans les talwegs.

L'unité fonctionnelle élémentaire est **le petit bassin versant à talweg sec**. On y distingue plusieurs zones : **l'impluvium** qui collecte le ruissellement, constitué de la tête de bassin et des versants et des **zones de collecte et de concentration du ruissellement** constituées par des traces de roues et des talwegs.

C'est ainsi que l'on y observe **plusieurs formes d'érosion** : de l'érosion diffuse, de l'érosion rang-interrang et de l'érosion linéaire de talweg.

L'espace est constitué d'un emboîtement hiérarchisé de bassins versants.

Mais le Pays de Caux est aussi représentatif d'une évolution des régions loessiques du Nord de l'Europe **vers la grande culture mécanisée**. Les prairies disparaissent, ainsi que le montre l'évolution des surfaces en prairies permanentes entre 1970 et 2000. Les céréales – le blé principalement, pas l'orge – et les oléoprotéagineux augmentent. Cette double évolution augmente les surfaces ruisselantes. La taille des parcelles croît. Cette évolution augmente la continuité des écoulements et, par conséquent, leur puissance érosive. C'est ainsi qu'augmente la puissance du flux érosif et, par suite, les incisions en ravines qu'il entraîne.

Si l'on considère qu'il existe au sein des bassins versants différentes formes de dégâts : dans l'impluvium, dans les talwegs, sur les routes, dans les habitats à l'aval du bassin, on comprend que plusieurs

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 10 avril.

acteurs du territoire soient concernés et qu'ils ont à se concerter pour trouver des solutions de protection adaptées aux situations locales.

De plus, dans les **bassins versants d'amont** les mesures à prendre doivent être également spatialement différenciées et **coordonnées entre les différents agriculteurs** qui se partagent l'espace d'un bassin versant. Il faut, en effet :

- **limiter la production du ruissellement** dans les zones émettrices, et en particulier organiser dans l'espace surfaces ruisselantes et surfaces infiltrantes dans la mesure où les surfaces infiltrantes peuvent capter le ruissellement des surface en amont,
- **limiter la concentration du ruissellement et sa vitesse** dans les zones de concentration,
- et **augmenter la résistance à l'arrachement** dans les zones de départ de terre.

Ainsi, dans un contexte d'évolution de l'agriculture qui tend à accentuer le flux érosif, nous allons examiner les possibilités de le réduire collectivement, par une organisation des cultures dans l'espace, mais aussi par les divers aménagements de traitement des talwegs (bandes enherbées, fascines, bassins de rétention...) ou, dans l'impluvium, de reconfiguration des parcelles (taille, orientation par rapport à la pente...).

Les exposés qui vont suivre vont faire référence à un modèle de ruissellement et d'érosion qui a été conçu au cours des recherches pour faire de « l'expérimentation dans un monde virtuel » puisque le système érosif par ruissellement concentré ne peut donner lieu à des essais expérimentaux comme le système d'érosion en pente en rigole et inter-rigole.

Pour que les orateurs n'aient pas à y revenir j'en présente succinctement le principe. Le modèle *STREAM (Sealing and Transfert by Runoff and Erosion in relation with Agriculture Management)* est un modèle à l'échelle du bassin versant et d'un événement pluvieux. L'orientation de la pente, son intensité, ainsi que le sens du travail du sol et la rugosité permettent de déterminer le réseau de circulation du ruissellement et de la terre arrachée. Le faciès de surface, la rugosité ainsi que la densité du couvert végétal donnent la capacité d'infiltration en mm/h qui, comparée aux caractéristiques de l'événement pluvieux, permet de calculer, maille par maille, le bilan ruissellement / infiltration et, par suite, le volume ruisselé en m<sup>3</sup> dans chaque maille.

À partir du réseau de circulation et du volume ruisselé par maille, deux modules calculent, en kg de terre, l'érosion diffuse et l'érosion linéaire.

La séance va être organisée autour de trois exposés :

- Philippe **Martin** (professeur à AgroParistech) va traiter des effets de l'évolution de l'agriculture sur le ruissellement érosif, anticipant ce qu'il pourrait devenir dans plusieurs scénarios et présentant les marges de manœuvre des agriculteurs pour réduire le phénomène ;
- Jean-François **Ouvry** (directeur de l'Association régionale pour l'étude et l'amélioration des sols, AREAS de Haute Normandie) qui est la mémoire de la lutte anti-érosive dans le Pays de Caux fera une présentation de l'historique de la gestion collective du ruissellement érosif par l'entrecroisement des dispositifs techniques et des dispositifs organisationnels et sociaux ;
- Véronique **Souchère** (ingénieure de recherche à l'UMR Sadapt et membre du collectif Comod) expliquera comment des jeux de rôle peuvent initier et faciliter la concertation entre les acteurs concernés.
- À l'issue des débats avec l'assistance, notre confrère Paul **Vialle** nous proposera une conclusion.

## **LES EFFETS DE L'ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE SUR LE RUISSELLEMENT ÉROSIF**

par Philippe **Martin**<sup>1</sup>

### **Introduction et objectifs**

La réduction du ruissellement érosif en sortie de bassin versant peut se faire de manière curative avec la mise en place d'aménagements permettant de contenir les flux d'eau issus du territoire agricole (voir l'article de J.F. Ouvry). Cette réduction peut aussi se faire plus en amont de manière préventive en réduisant les quantités de ruissellement émises par les parcelles individuelles et en organisant judicieusement les systèmes de culture dans l'espace afin de permettre une infiltration du ruissellement amont par des parcelles plus infiltrantes positionnées en aval. Dans cet article nous traiterons de cette action possible sur le territoire agricole. Les systèmes de culture mis en place par les agriculteurs sur leur territoire d'exploitation dépendent de leurs objectifs propres. Par exemple, les exploitations d'élevage vont chercher à optimiser l'alimentation du troupeau, là où les exploitations de grande culture vont chercher à produire les cultures les plus rémunératrices. Les systèmes de culture sont aussi fortement dépendants du contexte socio-économique (évolution des cours mondiaux, Politique agricole commune, développement de nouvelles filières...). La présence de prairies ainsi que la diversité des cultures (automne/printemps) constituent des maillons importants de la limitation du ruissellement érosif dans le Pays de Caux. Mais depuis le début des années 70 on a assisté à un retournement massif des prairies lié notamment à la Politique agricole commune qui favorise les productions végétales au détriment des productions animales traditionnellement présentes en Haute-Normandie. Dans ce contexte nous nous sommes posé deux questions sur la maîtrise du ruissellement à la source sur le territoire agricole. La première concerne les évolutions possibles des systèmes de culture à échéance de plusieurs années du fait d'évolutions du contexte socio-économique et les conséquences probables sur l'évolution du ruissellement. La deuxième se place dans le contexte socio-économique actuel et concerne l'intérêt d'une valorisation concertée des marges de manœuvre des agriculteurs pour réduire le ruissellement.

### **Évolutions possibles des systèmes de culture et conséquences sur le ruissellement**

Ce travail a été mené dans le cadre de la thèse de Céline Ronfort (Ronfort, 2010). En 2007, face aux échéances de la réforme de la PAC (2013) et de la disparition annoncée des quotas laitiers (2015), nous avons mené un travail de prospective avec les acteurs locaux afin d'imaginer différents scénarios d'évolution du contexte socio-économique et des conséquences induites sur l'évolution des systèmes de culture. Ce travail a été mené avec la méthode SysPhamm (Sebillotte et Sebillotte, 2010). Dans cette méthode on définit successivement le Système étudié et les processus en œuvre dans ce système. On fait des hypothèses sur l'évolution des processus identifiés, pour une échéance donnée, avant de croiser 2 à 2 chacune des hypothèses pour définir des agrégats d'hypothèses, c'est-à-dire des ensembles d'hypothèses fortement liées entre elles par des relations d'influence dépendance et peu liées aux autres hypothèses intégrées dans d'autres agrégats. Dans chaque agrégat ainsi défini on peut activer les hypothèses les plus influentes et construire un récit (microscénario) qui va relier les différentes hypothèses de l'agrégat. Un macrosécario est ensuite construit en rassemblant dans un récit global un unique microscénario pour chacun des agrégats d'hypothèses. Pour notre étude, le système retenu était l'évolution des systèmes de culture au niveau du Pays de Caux. On intégrait des moteurs externes au Pays de Caux (prix mondiaux, concurrence internationale, PAC) ainsi que des moteurs internes (évolution des pratiques agricoles, urbanisation, relations urbains-agriculteurs). L'échéance retenue était 2015 pour prendre en compte les effets de la révision de la PAC 2013. L'analyse des processus et des hypothèses associées a permis d'identifier 3 agrégats d'hypothèses. Le premier agrégat était relatif à l'évolution des productions animales, le deuxième portait sur les filières végétales. Quant au troisième il portait sur les relations entre ville et agriculture. Parmi la gamme des scénarios possibles, nous en avons testé deux qui avaient pour point commun des déterminants externes défavorables conduisant à la disparition de l'élevage laitier et de certaines cultures de diversification de la région liées à une concurrence

---

<sup>1</sup> Professeur à AgroParistech, UMR Sadapt, 78850 Thiverval-Grignon.

internationale accrue. Les macroscénarios se différenciaient sur la base des déterminants internes qui, dans un cas, conduisaient à un « laisser faire » sur le territoire agricole (scénario STOPLAIT) et dans un autre au développement de mesures d'accompagnement de type MAE pour modifier les pratiques culturales tout en conservant les assolements liés aux déterminants externes (scénario STOPLAIT-ENV). Les conséquences de ces deux scénarios sur le ruissellement ont été évaluées à l'aide de deux outils complémentaires : STREAM et DIAR. Le modèle STREAM (voir présentation de F. Papy) permet d'évaluer les conséquences au niveau d'un bassin versant (test sur le bassin de Saussay, 500 ha). Le modèle DIAR (Martin *et al.*, 2010) permettait d'évaluer les conséquences des scénarios sur la pression de ruissellement générée par système de production. Le recours au modèle STREAM a montré le fort risque d'accroissement du ruissellement lié à l'évolution du contexte externe (STOPLAIT) et les possibilités de maîtrise possible en interne via la modification des pratiques (STOPLAIT-ENV). Le recours au modèle DIAR a permis de préciser les informations obtenues avec le modèle STREAM en montrant que la réduction obtenue avec le scénario STOPLAIT-ENV dépendait fortement des types d'exploitations présents dans le bassin versant. La réduction du ruissellement bien marquée pour des exploitations à dominance de grande culture en 2007 est beaucoup moins nette pour les exploitations d'élevage. Cette moindre efficacité pour les exploitations d'élevage traduit le fait que les retournements de prairies, intégrés pour 2015, ne sont que partiellement compensés par les mesures agroenvironnementales mises en œuvre par la collectivité dans le scénario STOPLAIT-ENV.

### **Valorisation possible des marges de manœuvre des agriculteurs**

Contrairement à la partie précédente, on se place ici dans une hypothèse de stabilité du contexte socio-économique. On souhaite mesurer l'effet d'une valorisation des marges de manœuvre des agriculteurs sur la réduction du ruissellement. On teste deux types de marges de manœuvre avec d'une part l'organisation spatiale des cultures au sein des territoires d'exploitation et d'autre part la mise en œuvre de travaux culturels complémentaires en accord avec l'organisation du travail des agriculteurs. Ce travail a été mené dans le cadre de la thèse d'Alexandre Joannon (Joannon, 2004) au niveau d'un bassin versant du Pays de Caux (Bourville, 1000 ha). Une démarche en trois temps a été mise en œuvre pour les deux axes de travail (organisation spatiale des cultures et organisation du travail). Dans un premier temps, on a cherché à comprendre puis à modéliser les pratiques des agriculteurs tant pour les successions de cultures que pour l'organisation du travail. Dans un deuxième temps, on a intégré les conséquences des règles individuelles sur la production de ruissellement global au niveau du bassin versant à l'aide du modèle STREAM. Le troisième temps a consisté à rechercher différentes configurations d'organisation des cultures et de mises en œuvre de techniques culturales permettant de valoriser de façon croissante les marges de manœuvre des agriculteurs.

Les résultats indiquent que les marges de manœuvre pour ces deux voies d'action ne sont pas distribuées de la même manière entre les agriculteurs du bassin versant. Certains agriculteurs peuvent disposer d'une marge de manœuvre importante pour l'organisation des cultures au sein du bassin versant alors qu'il n'ont que très peu de jours disponibles pour mettre en œuvre des techniques culturales complémentaires pour réduire le ruissellement. Pour d'autres agriculteurs c'est l'inverse : beaucoup de jours disponibles permettant de mettre en œuvre des techniques complémentaires mais peu de possibilités de modification de l'organisation spatiale des cultures au sein du bassin versant. En s'appuyant sur les marges de manœuvre des agriculteurs on a pu construire différentes configurations du bassin versant de Bourville pour la même année culturale (2002). Une première configuration « défavorable » correspond au maintien à l'identique des techniques culturales des agriculteurs (pas de valorisation des jours disponibles) et à la mise en œuvre d'une organisation spatiale des cultures (respectueuse des règles des agriculteurs), conduisant au ruissellement maximum. A l'extrême inverse, on propose une configuration « favorable » dans laquelle on utilise intégralement les jours disponibles des agriculteurs pour mettre en œuvre des techniques culturales de lutte contre le ruissellement tout en mettant en place une organisation spatiale des cultures (respectueuse des règles des agriculteurs) permettant de minimiser le ruissellement à l'exutoire. Le résultat des simulations conduites avec le modèle STREAM montre une réduction du ruissellement de 30% pour la configuration favorable par rapport à la configuration défavorable. Une analyse plus fine permet de dire, pour le cas du bassin de Bourville que le levier modification des pratiques culturales tient pour 2/3 à la réduction alors que l'organisation spatiale des cultures contribue pour 1/3. Les effets semblent cumulatifs sans réelle interaction.

Ce travail sur les marges de manœuvre des agriculteurs montre qu'une réduction du ruissellement est encore possible sans changer outre mesure l'organisation actuelle des agriculteurs. Le gain au niveau du bassin versant test semble plus important au niveau des techniques culturales qu'au niveau de l'organisation spatiale des cultures. Ce gain peut être obtenu au niveau des agriculteurs individuels sans qu'il y ait besoin de concertation chaque année entre ces agriculteurs. Quand une telle concertation annuelle est possible, on peut espérer accroître la réduction du ruissellement en jouant sur l'organisation spatiale relative des cultures les unes par rapport aux autres au sein du bassin versant. Une telle concertation ne peut toutefois pas s'initier de manière spontanée et nécessite l'appui d'un encadrement par des animateurs de syndicats de bassin versant.

## Conclusion

Nous avons montré l'intérêt de différentes méthodes pour réfléchir aux adaptations des systèmes de culture à envisager à court ou moyen terme. Les techniques mobilisées relèvent pour l'essentiel des sciences agronomiques et se focalisent sur le niveau des exploitations agricoles. Ces méthodes ont pour l'essentiel été développées *in silico*. Elles donnent des pistes de réflexions intéressantes mais à ce stade elles n'ont que partiellement été intégrées par les acteurs de terrain. L'approche purement technique développée a été complétée dans notre laboratoire par des travaux en sciences sociales (Martin *et al.*, 2007). Une partie de ces travaux visait à préciser les conceptions des agriculteurs sur la thématique. Un autre pan des travaux s'est intéressé à d'autres échelles de travail (fonctionnement des syndicats de bassin versant, positionnement des animateurs). Ceci confirme l'intérêt de travaux pluridisciplinaires sur la thématique pour aller vers des solutions techniquement efficaces et socialement acceptables.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) JOANNON A., 2004. – Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus écologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du Pays de Caux, Haute-Normandie. 231 p + annexes. Thèse de docteur de l'INA P-G (école doctorale ABIÉS), UMR SAD APT.
- (2) MARTIN P., ARMAND R., AUZET V., BOCKSTALLER C., BOURGAIN O., HOCHEREAU F., LECOMTE V., MATHIEU A., OUVRY J.-F., RICHET JB., SOUCHERE V., SPAETER S., 2007. – Élaboration et mise en œuvre de dispositifs pour la gestion des territoires générant des coulées boueuses. Rapport final APR « Risques décision Territoire » du ministère de l'Écologie et du Développement durable. 104 pages + annexes.
- (3) MARTIN P., BOCKSTALLER C., OUVRY J.F, 2010. – Adaptation of the curve number approach to runoff estimation for loamy soils over a growing season for winter wheat: comparison with the STREAM approach. *Land Degradation and Development*, Vol. **21**, Issue 4, pages 376-387.
- (4) RONFORT C., 2010. – Elaboration et évaluation environnementale de scénarios prospectifs d'occupation des sols à l'échelle locale : application au cas du ruissellement érosif dans le Pays de Caux, Haute-Normandie. Thèse de l'Ecole Doctorale Normande de Chimie – Biologie.
- (5) SEBILLOTTE M., SEBILLOTTE C., 2010. – Foresight in mission-oriented research: The SYSPAHMM foresight method (SYStem, Processes, Clusters of Hypotheses, Micro- and Macrosenarios). *Futures* **42**, 15–25.

(Reçu le 16 avril 2013)

## **HISTORIQUE DE LA GESTION COLLECTIVE DU RUISSELLEMENT ÉROSIF EN PAYS DE CAUX**

par Jean-François Ouvry<sup>1</sup>

Dans le Pays de Caux, le ruissellement érosif semble exister depuis des siècles comme en témoignent les restes de l'époque gallo-romaine profondément enfouis dans les fonds de vallons. Mais, c'est au début des années 1980 que les conséquences de ces ruissellements de plus en plus fréquents et importants, ont pris une dimension nouvelle. Les acteurs les plus concernés de la zone littorale commencent à se mobiliser. En 1983, face à des inondations et en l'absence de connaissances, il était proposé aux communes touchées de construire des barrages aux portes des villages. Bien vite, ce type de réponse individuelle a été laissé de côté.

Une période de recherche et d'acquisition de connaissances a débuté en 1985 pour aider à définir les actions, leur échelle d'intervention et les moyens à mettre en œuvre. Quel était le constat ? Sur ce territoire, sans véritable réseau hydrologique et aux sols limoneux battants à haut potentiel productif, l'ensemble des évolutions croisées d'occupation du sol, de réorganisation foncière, de mécanisation, de pratiques culturales et de distribution des prairies sur les versants, a considérablement favorisé la genèse du ruissellement agricole. Celui-ci pouvait ensuite inciser les sols et engendrer des coulées d'eaux boueuses dans les vallées où l'urbanisation s'était développée sans tenir compte des risques. De l'analyse des processus et des mesures sur le terrain, les scientifiques ont conclu que les mesures à mettre en œuvre relevaient de trois groupes d'actions complémentaires et indissociables :

- modifier les pratiques culturales par des actions individuelles sur chaque parcelle,
- développer l'urbanisme hors des zones à risque après leur détermination,
- gérer les écoulements à l'échelle intercommunale des bassins versants.

Les années 90 furent des années de tests et de diffusion de ces principes d'action. Dans quelques SIVOM, les élus ont décidé de s'attribuer la compétence en matière de réduction des ruissellements et des inondations. Sous les coups des inondations majeures de 1994-1995-1997, les élus du département de la Seine Maritime ont conditionné leurs aides à la mise en place de démarches de bassin versant, permettant ainsi de démontrer l'intérêt de cette approche. Au plan agricole, un diagnostic d'exploitation a été mis au point (INRA–Chambre d'agriculture–AREAS) pour formaliser l'analyse et la démarche. Quelques agriculteurs ont commencé à intégrer des inter-cultures, à adapter des pratiques culturales plus favorables. Les premières mesures de type zones tampons ont été testées avec succès à l'échelle d'exploitations. Parallèlement, la recherche continuait de produire des références et des outils, notamment ceux de la modélisation avec STREAM.

La crise de décembre 1999 a conduit le Préfet de Seine Maritime à créer 22 syndicats de bassin versant pour doter l'ensemble du territoire de structures opérationnelles, et en capacité de conduire les trois groupes d'actions grâce à des moyens humains et financiers importants. Ainsi, les années 2000 ont vu une très forte montée en puissance de l'action avec la création de centaines de barrages, de petits aménagements d'hydraulique anti-érosive à la parcelle ou à l'exploitation, ce qui a nécessité la mobilisation d'un grand nombre d'acteurs du territoire. Des mesures préventives ont aussi été développées avec les partenaires des opérations de restructuration foncière : Département, Etat, Chambre d'agriculture, maires et agriculteurs. Avec les élus des collectivités et les services de l'Etat, des préconisations ont été instituées en matière d'urbanisme pour ne pas aggraver les risques, ainsi qu'en matière de gestion des eaux pluviales urbaines. Les techniciens des syndicats ont été accompagnés et formés aux approches de bassin versant et aux stratégies d'aménagement. Ils se sont constitués en groupe de travail pour échanger et mutualiser leurs expériences.

A ce jour, on constate que les créations d'ouvrages se développent régulièrement mais que les modifications de pratiques agricoles sont plus difficiles et demandent plus d'attention.

---

<sup>1</sup> Directeur de l'Association régionale pour l'étude et l'amélioration des sols, AREAS de Haute Normandie, 2, avenue Foch, 76460 St Valery-en-Caux.

## CONCEPTION ET UTILISATION DE JEUX DE RÔLES POUR FACILITER LA CONCERTATION

par Véronique **Souchère**<sup>1</sup>

La Seine-Maritime et notamment le Pays-de-Caux, font face depuis un peu moins d'un demi-siècle à des problèmes récurrents liés au phénomène de ruissellement érosif. L'apparition de ce phénomène est associée à plusieurs facteurs dont certains sont d'origine naturelle, et d'autres d'origine anthropique. La sensibilité des sols limoneux et le régime pluviométrique régional sont en effet des facteurs favorables à l'apparition du ruissellement érosif. Mais c'est également l'absence d'une gestion cohérente des écoulements à l'échelle des bassins versants, l'évolution de l'occupation des sols et des pratiques agricoles et aussi le développement de l'urbanisation qui ont augmenté la vulnérabilité du milieu, qui constituent les principaux facteurs d'aggravation du phénomène.

Le ruissellement érosif est à l'origine de nombreux dégâts : ravines, coulées boueuses violentes et parfois mortelles, détérioration de la voirie ou d'ouvrages d'art, turbidité de l'eau potable, etc. Les collectivités locales, confrontées à ces nuisances, ont favorisé l'installation d'ouvrages de rétention d'eau en amont des villes qui limitent les effets des grandes inondations. Mais pour maîtriser les phénomènes chroniques et éviter ainsi le comblement progressif de ces bassins et l'explosion de leur coût d'entretien, d'autres moyens de prévention sont nécessaires. Ainsi, dès le début des années 1980, il est apparu indispensable de lutter contre le ruissellement érosif au sein même du territoire agricole en modifiant les systèmes de culture au plan de la parcelle et en raisonnant le choix des assolements ainsi que l'organisation des cultures, des techniques et des aménagements au niveau du bassin versant.

Cependant, malgré les nouveaux outils disponibles à l'échelle des bassins (SAGE, SCOT, PLU, syndicats de bassins), il est toujours assez difficile aux acteurs de s'engager spontanément dans une démarche préventive collective. Former les acteurs à la compréhension des phénomènes et à la pluralité des solutions envisageables représente une première étape pour sortir des solutions curatives et initier une nouvelle forme de gestion des bassins versants basée sur « l'hydrosolidarité » (amont/aval ; urbains/ruraux, etc.).

Afin de mettre en discussion la gestion des ruissellements érosifs et de responsabiliser les acteurs vis-à-vis de la sécurisation des biens et des personnes mais aussi vis-à-vis de la préservation de la qualité de l'eau potable, nous avons mis en œuvre deux démarches de modélisation d'accompagnement. Ces deux démarches ont permis de co-construire avec les acteurs locaux, impliqués à titre divers par les enjeux du ruissellement érosif, des outils de concertation. Deux jeux de rôles (CauxOpération, Ruis'EAU), couplés à des modèles informatiques, ont ainsi été élaborés.

À travers ces jeux de rôles, les participants peuvent explorer le devenir de petits bassins versants (700 ou 2 500 ha), emblématiques des bassins du pays de Caux, soumis à des modalités de modifications des pratiques agricoles et/ou d'aménagement qu'ils choisissent. Sur ces bassins virtuels, en jouant des rôles simplifiés de maires, d'agriculteurs, d'animateurs de syndicats de bassins versants, d'animateurs de syndicats d'eau, les participants peuvent visualiser les conséquences physiques (ruissellement, érosion), économiques (coûts des nuisances, des changements de pratiques, des aménagements) et sociales (protestations des autres joueurs) des choix qu'ils opèrent à titre individuel ou collectif. Ils sont invités ensuite à débattre de leurs comportements individuel et collectif durant cette parenthèse virtuelle, puis à évoquer la réalité de leur vécu afin de prolonger le débat sur les conditions d'une approche solidaire de la lutte contre le ruissellement érosif.

Les phases de conception collective et les sessions de jeu déjà organisées ont montré que la modélisation et la simulation peuvent être très utiles pour accompagner un processus d'apprentissage collectif. Les acteurs ont pu partager et formaliser leurs connaissances et se construire une représentation commune du système. Cette nouvelle façon de travailler pour identifier des possibilités d'actions a été très bien accueillie. L'utilisation des jeux a rendu les participants conscients de leurs responsabilités propres et les a encouragés à s'engager dans des négociations afin d'améliorer la gestion des eaux au cours du jeu.

---

<sup>1</sup> UMR SADAPT INRA / AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon.

Les élus, notamment les maires périurbains, ont pris conscience des contraintes liées au monde agricole et de leurs impacts en termes d'aménagement du territoire. Pour les animateurs, le jeu de rôles a permis de tester l'intérêt de l'organisation de réunions multi-acteurs pour concevoir une stratégie de gestion collective du ruissellement érosif. Les animateurs ont également remarqué, dans le cadre du jeu, qu'ils n'avaient pas suffisamment encouragé les agriculteurs à modifier leurs pratiques agricoles. Ils ont systématiquement privilégié la mise en place d'aménagements. Le jeu leur a donc permis également de mener une analyse réflexive sur leurs pratiques. Les agriculteurs ont montré qu'ils étaient demandeurs de réunions plus collectives alors que le plus souvent les animateurs privilégient en réalité des échanges plutôt individuels. La mise en situation à travers le jeu a également permis aux agriculteurs de se rendre compte de l'impact de leurs choix d'assolement. Reste, maintenant, aux uns et aux autres à transformer ces apprentissages en actions concrètes sur le terrain.

## DISCUSSION

**J. Dunglas<sup>1</sup>.** – L'érosion est un phénomène général qui a modelé le relief de la planète lors des ères géologiques.

Il est difficile de prévoir assez précisément ce que seront les précipitations violentes dans 10 ou 15 ans. La météorologie correspond à des phénomènes chaotiques (dans l'espace et le temps). Les modèles qui travaillent sur des moyennes représentent mal les cas extrêmes. Ce dont nous sommes sûrs c'est qu'il y aura toujours des pluies générant de l'érosion, et quoi qu'il en soit, il faut s'y préparer.

Question : les limons ont du fait de leur texture une faible résistance à l'érosion. Ils tiennent bien en prairie permanente car ils sont « armés » par les racines. La matière organique augmente la résistance à l'érosion et celle au compactage du aux engins lourds ; or, le compactage diminue la perméabilité et augmente le ruissellement. Ne faudrait-il pas prôner les pratiques culturales qui favorisent l'augmentation de la teneur en matière organique ?

**J.F. Ouvry.** – En effet, les matières organiques (MO) jouent un rôle crucial dans la stabilité structurale des sols, dans leur perméabilité et la résistance à l'arrachement des agrégats. Les systèmes agricoles développés dans les régions limoneuses de grandes cultures depuis 50 ans n'ont pas suffisamment pris en compte cette question.

En Pays de Caux, J. Boiffin et F. Papy ont démontré que le taux de MO sous prairies avoisine 4%. Après leur retournement, ce taux chute en dix ans vers une fourchette comprise entre 1,5 et 2%, comme pour la majorité des parcelles en culture. Or il serait nécessaire que cette teneur soit supérieure à 3% pour atteindre une très bonne stabilité structurale, ce qui n'existe pas avec les systèmes « labour » en grandes cultures.

Par ailleurs, à lui seul le taux de MO ne suffit pas. L'intensité du travail du sol influence aussi beaucoup le risque de battance. Ainsi les outils rotatifs affinent de façon excessive les lits de semences au point de constituer une texture de « farine », ce qui peut engendrer des croûtes superficielles même des sols riches en MO ! Il en va de même avec les tassements superficiels créés par les outils, en raison de leur poids, du nombre de passage et des conditions de récolte, notamment pour les cultures sarclées qui détruisent la stabilité structurale et la perméabilité des sols. Il faut donc raisonner à la fois la gestion des matières organiques des sols et les techniques de travail, voire les systèmes de culture.

Pour ces raisons, dans plusieurs régions du monde, les techniques sans labour et les techniques de semis direct sous couvert se sont développées. Elles présentent l'intérêt de concentrer les matières organiques dans la couche de surface et de protéger les sols par l'action mécanique du couvert. Certes, tout cela va dans le bon sens, mais ne suffit pas. Il faut en plus faire en sorte de recréer une bonne porosité pour infiltrer les eaux pluviales et éviter les tassements. Ceci est réalisable lorsque l'activité biologique des sols est amplifiée. Nous devons ici souligner l'importance des vers de terre qui créent une porosité efficace tant pour le drainage vertical des eaux que pour l'enracinement des cultures. Le développement de l'activité

---

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

biologique et de la faune du sol repose alors sur l'apport de nutriments, notamment grâce aux couverts présents presque toute l'année.

Dans ces conditions, les systèmes de culture qui à la fois augmentent la teneur en MO en surface, protègent la surface du sol, limitent les tassements et démultiplient la vie du sol, permettant de réduire l'ampleur des ruissellements et des phénomènes érosifs et ils apportent ainsi les avantages cités par Mr J. Dunglas. C'est la combinaison des 4 paramètres qu'il faut rechercher.

Ces pratiques ont fait leurs preuves ailleurs dans le monde et en Europe. On constate qu'elles se développent dans les territoires où les rotations sont basées sur les cultures de céréales - colza en rotation. Mais ce n'est pas le cas en Pays de Caux, du fait de la présence des cultures de betterave sucrière et de pomme de terre. Les conditions de récolte tardives en saison humide avec du matériel lourd conduisent à un tassement prononcé et en profondeur des sols, et les techniques sans labour offrent peu de solutions pour l'éviter. Par ailleurs, d'autres questions générales sont soulevées par ces techniques, comme la maîtrise des adventices et l'usage des produits phytosanitaires. A ce jour, ces points posent encore problème avant de pouvoir généraliser ces techniques basées sur le non labour en région limonaise.

Ainsi, sur ces territoires, des recherches méritent d'être conduites pour développer des systèmes de culture productifs avec de telles techniques et en présence de culture sarclées.

**B. Le Buanec**<sup>2</sup>. – Plusieurs des orateurs ont parlé de l'effet positif des prairies contre le ruissellement et l'érosion. D'autre part il a été indiqué que le retournement des prairies continuait. Que peut-on faire pour éviter cette tendance ? Quel est l'effet de la PAC sur ce phénomène ?

*Véronique Souchère*. – Le retournement des prairies est lié en grande partie aux difficultés économiques rencontrées par les exploitations d'élevage (hausse importante des coûts de production qui n'est plus compensée par celle des prix de vente). Ces conditions conduisent certains exploitants à abandonner l'activité liée à l'élevage. Sans animaux pour les valoriser, les prairies sur des sols labourables sont remises en culture. Même les prairies sur sols non labourables sont convoitées notamment pour y implanter de nouveaux lotissements en lien avec le développement de l'urbanisation. Les prairies sont donc en danger. C'est indéniable !

La PAC, en vigueur jusqu'en 2013, a été revue à mi-parcours en 2008 à l'occasion du « Bilan de santé ». À l'issue des négociations, les 27 ministres en charge de l'agriculture de l'Union européenne sont parvenus à un accord qui a réorienté certains soutiens et tracé de nouvelles perspectives pour l'agriculture européenne. L'essentiel de ces mesures est entré en vigueur à partir de 2010, notamment la nouvelle norme BCAE (Bonnes conditions agricoles et environnementales) « gestion des surfaces en herbe » qui prévoit l'exigence du maintien global des surfaces en herbe au niveau de l'exploitation. Tous les exploitants, ayant déclaré des surfaces en herbe dans leur dossier PAC 2010, se sont vu attribuer deux références historiques de surface en herbe : l'une relative aux surfaces en prairies temporaires (PT) et l'autre relative aux surfaces en prairies permanentes (PP) qui rassemble les surfaces en prairies naturelles, en prairies temporaires de plus de 5 ans, en estives, en landes et en parcours. Depuis 2011, chaque exploitant concerné doit donc maintenir 50 % de la surface de référence 2010 en prairies temporaires et 100 % de sa surface de référence en prairies permanentes. En cas de contrôle sur la conditionnalité, si la surface réellement exploitée est inférieure à la référence historique individuelle de l'exploitation contrôlée, des sanctions financières sur le montant des aides PAC peuvent être appliquées (1 %, 3 %, 5 % voire 20 % en cas de faute intentionnelle). La mise à jour des références herbe reste possible sous conditions. Les exploitants ont en effet la possibilité de notifier auprès de la DDTM, certains événements intervenus depuis 2010 qui ont pu affecter leur surface de référence en herbe tels que les aménagements fonciers (urbanisation), l'emprise de travaux d'utilité publique ou les transferts de foncier (vente, donation, fin de bail, échange de parcelle...).

Depuis la mise en œuvre de la conditionnalité en 2005, la France est également tenue de maintenir, chaque année, au niveau national, sa surface en pâturages permanents. Chaque année, un ratio [pâturages permanents de l'année X / SAU de l'année X] est calculé. Pour évaluer le respect de l'exigence communautaire, il est vérifié d'une part que le ratio annuel ne se dégrade pas par rapport au ratio national de référence établi à partir des données de l'année 2005 et, d'autre part, que la surface brute en pâturages permanents ne diminue pas. En cas de diminution de ce ratio d'au moins 10 %, la France serait dans

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Membre de l'Académie des Technologies.

l'obligation de mettre en place des mesures contraignantes (suppression des dérogations, obligation de réimplantation de prairies, etc.). Jusqu'en 2009, cette obligation a été respectée. En revanche, en 2010, la situation s'est fortement dégradée : le ratio des pâturages permanents dans la surface agricole utile a diminué de 2,26 % et la surface brute en pâturages permanents a diminué de près de 160 000 hectares depuis 2005.

Informé du choix de l'année 2010 comme année de référence historique pour fixer les surfaces en PT et en PP au niveau de chaque exploitation, certains agriculteurs ont volontairement retourné des prairies pour les semer en maïs alors que d'autres ont choisi de déclarer certaines prairies permanentes en prairies temporaires. En effet, le retournement des prairies temporaires reste autorisé sous réserve de conserver globalement sur l'exploitation une surface en prairies temporaires égale seulement à 50% de la surface de référence individuelle en prairie temporaire.

Face à cette dégradation du ratio, le ministère de l'Agriculture a donc fixé comme objectif collectif pour 2011 d'enrayer la baisse de surface en pâturages permanents afin de retrouver *a minima* la proportion de surface en pâturages permanents qui existait en 2009 dans les exploitations. La situation s'est heureusement améliorée des 2011. Par rapport à la campagne 2010, la diminution du ratio des pâturages permanents dans la surface agricole n'était plus que de 1,93 % et la baisse de la surface brute en pâturages permanents ne représentait plus que 110 000 ha par rapport à 2005. Cette tendance s'est poursuivie en 2012. L'analyse des déclarations de surfaces des agriculteurs pour cette campagne montre que le ratio des pâturages permanents dans la surface agricole utile est toujours en diminution, mais seulement de 1,8 % par rapport à la référence de 2005. En outre, la surface brute en pâturages permanents a diminué de seulement 46 000 hectares depuis 2005. Ce taux national cache néanmoins des disparités régionales plus importantes notamment dans certaines régions de polyculture-élevage où les retournements de prairies ont été plus nombreux. Pour le ministère, il convient donc de rester vigilant au maintien des pâturages permanents.

**C. Monnier<sup>3</sup>**. – La première question, que je pose à l'un ou l'autre des conférenciers, est de savoir si les régions souffrant d'une érosion de la nature de celle décrite sont nombreuses en France ? Vient ensuite une remarque à la suite de l'observation du Président soulignant qu'il n'y avait pas dans le cas présent de pollueur-payeur, donc que les agriculteurs concernés étaient favorisés. Je lui répondrai volontiers que beaucoup préféreraient acquitter une taxe –une de plus- pour s'exonérer des contraintes de présence à des réunions, municipales ou autres, dont on ne conteste pas la justification mais dont on redoute les longueurs coutumières. Trop répétées, elles peuvent même nuire à des travaux car le chef d'exploitation est très souvent seul à tout faire et comme l'on dit : « Le temps c'est de l'argent. » Ma dernière remarque est qu'il me paraît excessif d'imputer cette érosion hydraulique à l'agriculture moderne, une fois de plus mise en accusation. Les grands moyens qu'elle met à disposition ne peuvent pas être partout et tout de suite mis en œuvre inconsidérément. Les adaptations sont toujours nécessaires et quand il y a des thalwegs et des terres imperméables, on sait où passe l'eau.

Les aménagements sont souvent à prévoir, et il fut une époque où l'agriculture bénéficia de grands travaux d'aménagements sur de vastes surfaces (friches et taillis de l'Est, Bas-Rhône-Languedoc, etc.).

Par ailleurs, l'exemple hollandais ancien et vivace est frappant : dès qu'il est question d'eau, une discipline collective s'impose, sans qu'il soit besoin d'invoquer le progrès dévastateur. Par ailleurs encore, je rappellerai qu'il y a de bons et de mauvais agriculteurs et que l'emploi funeste, par exemple, d'outils pulvérisant le sol en surface sur un terrain battant ne tient pas à l'outil mais à l'homme.

Tout ce qui nous a été exposé m'a vivement intéressé et rien ne paraît inconséquent dans cette lourde organisation. Mon souci est de mettre hors de cause une agriculture scientifique, riche de possibilités mais dont on ne peut et doit prendre que ce qui convient *in situ*.

Défricher des prairies permanentes n'est pas anodin.

**Véronique Souchère**. – Avec une superficie de 550 000 km<sup>2</sup>, la France présente une grande variété de paysages, de conditions climatiques, de sols, de morphologies, de modes d'occupation du sol, de systèmes de culture et de parcellaires qui induisent différents systèmes érosifs. L'érosion des sols a été pendant longtemps principalement considéré comme un problème lié à l'existence de pentes abruptes et / ou de précipitations de forte intensité, et par conséquent spécifique des Alpes, des Pyrénées ou de la région méditerranéenne.

---

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Agriculteur, Président d'honneur du Syndicat national des déshydrateurs de France, Gérant de la SCEA de Baillelte.

L'érosion des sols agricoles sur les plateaux et dans les zones de faible pente a été peu étudiée avant la fin des années 1970. Cependant, par la suite, il y a eu une prise de conscience croissante des impacts hors site du ruissellement et de l'érosion des sols dans les régions occupées par l'agriculture intensive, même lorsque les gradients de pente et de l'intensité des précipitations étaient relativement faibles, et en particulier dans les régions soumises à une urbanisation croissante.

L'érosion affecte environ 20 % du territoire national, principalement en Haute-Normandie, dans le Nord, en Picardie, en Bretagne, en Corse, dans le Sud-Ouest et dans la vallée du Rhône. C'est ce que montre la carte d'aléa d'érosion obtenue dans les années 2000 à l'aide d'un modèle développé par l'Inra d'Orléans. L'aléa d'érosion des sols exprime la probabilité d'occurrence d'une érosion d'une intensité donnée. Dans certaines régions où l'aléa d'érosion est fort à très fort, la pression démographique et l'urbanisation (qui entraîne l'imperméabilisation des sols) ou le changement climatique (doublement de la fréquence des fortes pluies en hiver sur la façade ouest) peuvent encore accentuer les risques d'érosion.

L'érosion se manifeste souvent sous la forme d'événements catastrophiques tels que des coulées boueuses qui représentent une menace réelle pour les habitants, les écosystèmes et les ressources en eau. Celles-ci sont recensées comme des catastrophes naturelles et leur fréquence constitue un bon indicateur d'une érosion chronique et importante des sols. De 1985 à 2000, 17 282 coulées boueuses, survenues dans 11 415 communes, ont fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle. Il s'agit de phénomènes fortement saisonniers : en automne dans les régions méditerranéennes, en hiver dans les régions du nord et de l'ouest de la France (Bretagne, Haute et Basse-Normandie), en Lorraine et dans le Languedoc-Roussillon, en été et au printemps dans les régions de grande culture (Nord - Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Aquitaine).

**N. Mathieu<sup>4</sup>.** – Dans cette excellente séance interrogeant le rapport de la recherche avec l'action collective pour la gestion du ruissellement érosif il me semble que demeure une boîte noire : l'agriculteur lui-même, une personne qu'on ne peut assimiler à l'agriculture surtout quand on parle de ses « marges de manœuvre » (P. Martin) ou de son « degré de conscience » (Véronique Souchère). Pour tester la question de l'émergence d'un collectif en action il faudrait en savoir plus sur les agriculteurs dans la diversité de leurs valeurs, de leurs cultures de la nature, des contraintes économiques auxquelles ils se heurtent, de leur vie familiale voire de leur origine et formation sociale. Pourquoi n'avoir pas mobilisé les recherches de sciences sociales comme celle du sociologue Stéphane Cartier qui a montré la dégradation des formes collectives et de voisinage des agriculteurs d'un bassin versant du Pays de Caux, ou de David Gaillard (géographe) qui a interrogé un à un, parcelle par parcelle les agriculteurs d'un bassin versant toujours dans le Pays de Caux. Toutes les investigations, certes encore trop peu nombreuses, cherchant à comprendre les raisons de cet affaiblissement actuel de l'action collective dans l'innovation – contrastant avec la période des GVA et des CUMA – sont à introduire dans la recherche/action. Certaines le font à travers l'évolution du « lien au milieu naturel et aux autres » des agriculteurs. Ainsi dans sa thèse de sociologie, Guillaume Christen a mis en évidence la différence d'attitude des agriculteurs en Alsace face aux dispositifs de lutte contre l'érosion des sols par la culture sans labour, plus favorable chez les éleveurs que chez les maïsiculteurs. Dans cette période multi crise les individus sont au cœur de la mise en œuvre de pratiques collectives « durables ».

**F. Papy.** – La question des relations de voisinage entre agriculteurs, déjà débroussaillée dans la thèse de Stéphane Cartier, a été approfondie par des études de socio-anthropologie. Je laisse la parole à Anne Mathieu qui les a conduites.

**Anne Mathieu.** – Les recherches en sociologie et en socio-anthropologie ont montré que les agriculteurs ont toujours connu des mouvements d'eau et de terre sur le territoire. Auparavant, ils se produisaient à l'intérieur du territoire agricole. Quand un agriculteur avait des semis emportés, il ressemait, et ça ne faisait pas toute une histoire : « ça marque pas ». La norme, appuyée sur la loi, voulait que l'eau coule de haut en bas et qu'on ne peut l'en empêcher. Il n'était pas possible de dire à son voisin du dessus d'empêcher l'eau de couler : il aurait répondu que si vous n'êtes pas content, c'est à vous d'empêcher l'eau d'arriver chez vous.

---

<sup>4</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien Directeur du laboratoire STRATES Université Paris1/CNRS.

La transformation de la situation est intervenue au début des années 1980, à la fois à cause d'une aggravation des phénomènes, et parce que des maisons ont commencé à être construites autour des villages. Ce sont les gens de l'extérieur, et les journalistes, qui ont commencé à parler de coulées de boue, et à instituer cela en problème. La question de la responsabilité est souvent posée par les agriculteurs : si la zone commerciale du Havre a été construite sur une zone de marais à l'aval d'un bassin versant, est-il étonnant qu'elle soit parfois inondée ? Personne, au départ, n'imaginait que de tels problèmes pouvaient se produire.

Les causes de l'aggravation des phénomènes sont décrites à peu près de la même façon par les agriculteurs et par les agronomes : retournement des prairies, agrandissement des parcelles suite au remembrement, diminution de la matière organique des sols, cultures facilitantes (pomme de terre). Mais la connaissance de ces causes ne les empêche pas de progresser. Le paradoxe est peut-être le plus fort pour le retournement des prairies : comment les conserver quand, après 2010, une réglementation empêche leur retournement, que l'élevage disparaît et que le prix du blé devient très élevé ? Et que tout le « développement agricole » ne parle depuis des années que de marge brute comme critère de choix des productions dans les parcelles ?

Les actions menées au niveau de l'exploitation, essentiellement pour empêcher les ravines, ne marchent pas. Le Pays de Caux n'est pas une région dans laquelle il y a beaucoup d'action collective sur le territoire agricole. Nous avons montré une différence de façon de concevoir les choses entre agronomes et agriculteurs : alors que les agronomes, comme on l'a vu, parlent d'état des parcelles, plus ou moins filtrantes, et des possibilités de répartir différents états dans le territoire, les agriculteurs ont une autre vision. La parcelle voisine n'est pas caractérisée par son état, mais par le nom de son propriétaire. Au-dessus ou au-dessous, c'est « untel ». Et on a vu qu'avec « untel », on ne peut pas résoudre la question de l'eau qui coule. Par ailleurs, les agriculteurs d'un même bassin versant ont des participations différentes dans la quantité d'eau ruisselée en aval, mais cette question n'est pas non plus possible à aborder pour le moment, si ce n'est par sous-entendus dans les entretiens.

Les agriculteurs ne voient pas quelles actions ils pourraient mener et ils renvoient cela sur les syndicats de bassins versants : « des gens intelligents qui ont pour fonction de trouver des solutions à ce problème »

**F. Papy.** – Je retiens de ce qu'a dit Anne des représentations des agriculteurs que nous ne mesurons pas assez les injonctions contradictoires face auxquelles ces derniers sont placés entre une Politique agricole commune qui incite à une production compétitive et les exigences de maîtrise efficace du ruissellement érosif qui devrait être collective.

**J.P. Lanly**<sup>5</sup>. – La conception d'une gestion des terres dans les zones plus ou moins vallonnées est très séduisante et pertinente. Il semble d'ailleurs qu'elle soit mise en pratique beaucoup plus fréquemment dans des pays autres que le nôtre (pays d'Amérique latine avec la « *ordenación de cuencas hidrográficas* », ou aux États-Unis avec le « *watershed management* »). Cependant son application en France pose le problème déjà évoqué de sa pérennité financière (elle ne peut continuer à dépendre de l'argent public) et institutionnelle : ne retrouve-t-on pas dans le domaine particulier de l'eau et de ses impacts, le « millefeuille » institutionnel qui alourdit jusqu'à l'étouffer le système décisionnel collectif français, avec une superposition d'entités actrices : agences de bassin, SAGE, SIVOM, SMBV ?

*Pour répondre à cette question le président donne la parole à Paul Vialle qui va tirer la conclusion de cette séance.*

---

<sup>5</sup> Trésorier perpétuel de l'Académie d'Agriculture de France, Ingénieur général honoraire du Génie rural, des Eaux et des Forêts.

## CONCLUSION

par Paul Vialle<sup>1</sup>

Monsieur le Président, chers confrères,

Après les exposés de la séance, riches et très complémentaires, il m'a été demandé de proposer une conclusion, tâche difficile compte tenu de la qualité des présentations faites.

Je voudrais, faisant appel à mon expérience personnelle, l'axer autour de trois regards croisés découlant de mon expérience passée : celui du responsable de recherche, celui de l'hydraulicien et de l'aménageur, celui du responsable de grandes politiques publiques.

### Le responsable de recherche

Un travail énorme a été effectué, et sur une longue durée. Un pôle de compétence Sol-eau a été créé entre INRA, BRGM et Cemagref-IRSTEA. Un lien fort avec le lycée agricole d'Yvetot s'est installé.

Après l'intervention introductive de François Papy et dans une étude très fouillée, Philippe Martin a analysé « *Les effets de l'évolution de l'agriculture sur le ruissellement érosif* » et l'incidence actuelle et future des modifications de comportement des agriculteurs. Il nous a montré que mieux valait rechercher une gamme de solutions plutôt que la meilleure solution moyenne, que des marges de manœuvre existent à l'intérieur de chaque exploitation, que la coordination entre exploitations n'est pas toujours nécessaire, mais qu'elle peut apporter un plus ; un scénario avec diminution des herbages peut néanmoins aller de pair avec une réduction des ruissellements. Les outils pour ce faire existent : assolements infiltrants et techniques modifiées permettent un abaissement du tiers du ruissellement par rapport à la situation de départ.

Véronique Souchère nous a montré avec la « *Conception et utilisation du jeu de rôle pour faciliter la concertation* » que le chercheur pouvait aller très loin, puisque l'outil proposé permet de recréer un nouvel espace de dialogue local : les divers acteurs individuels et publics, grâce à ce modèle, peuvent se retrouver autour d'une table – ou d'un écran – pour échanger, avec des proximités et des convergences retrouvées. Elle nous a même montré qu'avec l'introduction d'une monnaie fictive, le RUIDOR, les joueurs pouvaient « battre monnaie »...

De nombreux autres travaux existent depuis longtemps sur ce thème ; je citerai Michel Sébillotte, Jean Boiffin, Dominique King, grâce à la mobilisation du département INRA des Sciences pour l'action et le développement (SAD) cher à François Papy ; ont aussi été réalisés d'autres travaux, comme des mémoires de fin d'études d'AgroParisTech par exemple.

La recherche nous permet donc : de savoir, de savoir ce que l'on peut faire, de connaître le coût de ce que l'on peut faire, et le niveau d'acceptabilité des dépenses.

Nous savons bien tous que la tâche de la recherche est un éternel travail de Sisyphe, que de nouvelles techniques culturales sont envisageables, entraînant d'autres recherches (comme les semis sans labours). De toute façon, l'accroissement des recherches sur de nouvelles pratiques agronomiques est une nécessité mondiale, comme l'a souligné notre confrère Jean Dunglas. Globalement, la recherche a travaillé depuis longtemps, beaucoup, en réunissant disciplines et institutions, en se coordonnant avec d'autres partenaires publics et je crois pouvoir résumer le sentiment collectif en disant qu'elle a en la matière fait remarquablement son travail, et qu'elle continue à le faire.

---

<sup>1</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, vice-président honoraire du CGAAER.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 10 avril.

## **L'hydraulicien et l'aménageur**

Devant un tel problème, les responsables publics se sont eux aussi mobilisés. Jean-François Ouvry nous a brossé un exposé complet de l' « *Historique de la gestion collective du ruissellement érosif en Pays de Caux* » depuis 30 ans.

Bernard Bourget, qui fut DRAF pendant 6 ans en Haute-Normandie dans la seconde moitié des années 90, m'a fait part de son expérience et de ses réflexions, comme d'ailleurs Guy Fradin, récemment encore Directeur de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Un préfet de région, Bruno Fontenaist, ancien Ingénieur des ponts et chaussées, s'est de par sa formation, intéressé à ce phénomène et s'est beaucoup impliqué avec le Conseil général de Seine-Maritime. Les dégâts causés par les crues sont considérables : entre 1997 et 1999, leur estimation est de 61 millions d'euros, pour 21 000 ha concernés, soit 3 000 €/ha sur 3 ans. On peut d'ailleurs regretter que les règles assurancielles soient telles que les compagnies d'assurance ne peuvent pas ou ne veulent pas consacrer une partie des indemnités versées à une amélioration de la situation !

Bassins de rétention, petits barrages et lacs collinaires (6 millions de m<sup>3</sup> de retenues au total) banquettes, bandes enherbées, fascines, haies, toutes sortes de travaux de petite ou moyenne hydraulique ont été financés et effectués. L'interconnexion des syndicats d'eau, utile, est moins facile que dans le sud de la France, l'abondance de la ressource ayant favorisé un certain individualisme dans le pays de Caux, et a donc été moins mise en œuvre qu'ailleurs. Globalement, bon nombre de mesures curatives ont été prises, même si plus et mieux est toujours possible. Mais tout ceci ne saurait remplacer des mesures préventives adéquates.

Des mesures drastiques ont été prises de longue date par la ville de Munich autour de ses captages ou plus récemment par la société Nestlé à Vittel dans un cas en imposant l'agriculture biologique, dans l'autre en prescrivant des cahiers des charges contraignants, une fois « réglée » la question du foncier. Les moyens limités des collectivités cachoises – malgré des densités élevées de population 100 à 150 habitants au km<sup>2</sup> – n'ont pas permis de prendre des mesures préventives énergiques analogues, d'où la persistance des difficultés au niveau de l'eau potable.

Globalement, les aménageurs et les hydrauliciens ont fait ce qu'ils ont pu, même si davantage pourrait toujours être imaginé, mais à un coût de plus en plus élevé, les mesures préventives type Munich ou Vittel posant des problèmes financiers et sociétaux difficiles à surmonter...

Les syndicats de bassins versants élargissent leurs compétences et fusionnent. D'autres outils auraient aussi pu être testés, au niveau gouvernance territoriale, comme les associations syndicales autorisées (ASA), qui ont montré leur pertinence en matière d'irrigation ou de drainage : elles pourraient se révéler fort utiles pour une gestion plus collective de l'érosion par les agriculteurs. Les zones soumises à contraintes environnementales (ZSCE), qui sont aussi des outils contraignants, peuvent également jouer ce rôle. Le principe pollueur-payeur est oublié, comme l'a souligné notre président, même si son application est dans ce cas moins évidente, le Code civil précisant que le fonds inférieur est tenu de recevoir les eaux du fonds supérieur... Mais on verra dans un instant que le véritable souci est à un tout autre niveau.

## **L'ancien responsable de politiques publiques**

La première remarque consiste à constater l'instabilité réglementaire en France : après la Relance agronomique, puis le Fonds de gestion de l'espace rural (FGER), sont venues les Mesures agro-environnementales (MAE), auxquelles ont succédé les Contrats territoriaux d'exploitation (CTE), abolis quelques années plus tard, et l'on parle maintenant de Groupements d'intérêt économique et écologique (GIEE). Un peu trop systématiquement peut-être, on abroge pour ré-inventer, la résultante risquant bien d'être un électro-encéphalogramme plat, l'attentisme ou l'effet d'aubaine restant dominants.

La deuxième remarque, de fond celle-là, concerne la Politique agricole commune (PAC). On a vu que le mouvement économique général depuis une trentaine d'années amène à une disparition des prairies permanentes au profit des cultures de rente (céréales, plants de pomme de terre notamment). Ce mouvement est important, profond et durable. En 1992, les mesures PAC prises en faveur du maïs ensilage sont venues accentuer encore le déséquilibre entre productions herbagères et grandes cultures : il aurait fallu favoriser l'herbe, on a accordé un surcroît d'aide au maïs. Au niveau de la PAC, pour des raisons historiques, l'essentiel des aides financières (1<sup>er</sup> pilier) est allé aux grandes cultures (grand Bassin parisien, Bretagne, etc.) au détriment du sud et de la montagne. Une régionalisation des aides, en France, ne ferait donc que prolonger les déséquilibres actuels compte tenu du fait qu'elle ne pourrait que geler les références historiques. On gardera donc le système national, mais en tendant vers une homogénéisation entre cultures

qui ne pourra être que graduelle, avec en ligne de mire l'horizon 2020, voire plus tard. C'est alors seulement que les aides directes à l'hectare pourraient être les mêmes, supprimant enfin l'avantage donné au maïs, alors qu'il faudrait le plus vite possible donner un avantage à l'herbe. Si l'on voulait rendre l'herbe « attrayante » pour un agriculteur, il faudrait probablement, si l'aide est de 200 €/ha pour les autres cultures, aller vers 250 €/ha pour la prairie. La Commission dit fort bien qu'il faut maintenir les surfaces en prairies au titre du verdissement de la PAC. Or les retournements vont continuer de plus belle : les mesures prévoyant l'interdiction de retourner les prairies permanentes seront sans effet, celles-ci étant le plus souvent déclarées comme prairies temporaires... De plus, en cas de changement d'exploitant, la contrainte est levée !

Reste le 2<sup>ème</sup> pilier, pour financer des actions telles que celles décrites par J.-F. Ouvry. Actuellement, les crédits du 2<sup>ème</sup> pilier ne représentent qu' 1/9 de ceux alloués au 1<sup>er</sup> pilier. Il est prévu d'augmenter significativement ce chiffre mais, pour l'instant, à chaque arbitrage sur les crédits à venir de la PAC, c'est le 2<sup>ème</sup> pilier qui fait l'objet d'ajustements à la baisse...

On voit bien que la source profonde des déséquilibres constatés sur le terrain depuis 30 ans, la hausse du prix des cultures de vente au détriment de l'herbe, risque de perdurer compte tenu de l'évolution démographique mondiale, et que la PAC risque de ne pas pouvoir faire plus que de supprimer à moyen terme certaines aides qui accroissaient encore le déséquilibre. C'est peu, et ce sera long !

### **Conclusion... de la conclusion !**

Une recherche qui fait remarquablement bien son travail, des aménageurs et des hydrauliciens qui font ce qui est en leur pouvoir dans des conditions financières difficiles, et plus à titre curatif que préventif : c'est très positif. En revanche, les tendances économiques vont pour l'instant dans le mauvais sens, la machine bureaucratique infernale continue à uniformiser, indépendamment du contexte territorial, et un certain pessimisme ne peut être écarté.

Et ce que l'on peut constater dans le Pays de Caux risque de s'étendre à l'Aisne, au Pas-de-Calais, à l'Alsace ou au Gers. Le changement climatique risque fort d'amplifier singulièrement le phénomène, à une échelle mondiale cette fois. Les exposés précédents nous ont appris beaucoup sur l'origine, les solutions et leurs limites actuelles. Il est essentiel de se donner des degrés de liberté suffisants pour que des politiques européennes essentielles retrouvent des marges et s'adaptent à la grande diversité des réalités territoriales. Un espoir néanmoins réside dans le fait que la large distribution des sols loessiques en Europe pourra faciliter la recherche d'une solution au niveau PAC.

Le 19<sup>e</sup> siècle avait su lutter contre l'érosion par les programmes de Restauration des terrains en montagne (RTM), le reboisement de l'Aigoual devant protéger le port de Bordeaux. Il serait inimaginable que le 21<sup>e</sup> ne sache pas faire preuve de la même efficacité pour un problème somme toute plus limité, et qui est partiellement la conséquence d'une politique européenne commune emblématique : la PAC.

## Séance inter-académique

Académie d'Agriculture de France - Académie vétérinaire de France

### L'ÉLEVAGE DE MONTAGNE – RÔLE ET PLACE DU VÉTÉRINAIRE

#### INTRODUCTION

par Michel **Thibier**<sup>1</sup>

Afin de mieux apprécier le statut actuel de l'élevage en montagne en ce début de 21<sup>e</sup> siècle, ce dont nous allons débattre aujourd'hui, il peut être intéressant de jeter un regard précis sur la situation d'un tel élevage et de la place du vétérinaire près de 50 ans en arrière. Cela permettra de mesurer ainsi le chemin parcouru et les obstacles franchis au cours de ce demi-siècle de hauts et de bas, de crises et de réussites, de périodes de pessimisme ou d'enthousiasme.

Plantons le décor : il était une fois en fin des années soixante un jeune vétérinaire frais émoulu des Écoles vétérinaires françaises arrivant dans un chef lieu de canton à une altitude de 650 m en Haute-Savoie.

- La clientèle est presque exclusivement bovine (5 000 têtes), de race Abondance pour la quasi-totalité du cheptel. Quelques chevaux et quelques troupeaux de chèvres, très peu d'ovins. Pas de clientèle canine. Un praticien et un aide - le jeune véto.
- L'hiver, les cols sont fermés, pas d'extension possible, le seul débouché se trouve en direction du chef lieu du département; deux communes sont des stations de sport d'hiver réputées (un très récent – alors champion du monde de ski alpin – est originaire d'une de ces communes, d'où l'exposition médiatique de cette commune touristique) et grand contraste entre le niveau économique de ces deux communes et les autres (sans touristes). Le paysage environnant est enchanteur.
- Nombreux patronymes identiques dans un même village. Signalétique routière très rudimentaire et visites en « Jeep » l'été sur des chemins non routiers, parfois poursuivies à pied avec le sac à dos contenant matériel obstétrical et autres.
- Habitat humain sans confort, chalets de bois, étables à proximité immédiate du logement humain. Trois à quatre résidences pour chaque famille de l'hivernage à l'alpage. Alpage de la St Jean à la St Michel pour la majorité des éleveurs. Rassemblement de troupeaux en alpage.
- Au plan zootechnique : petits troupeaux - 10 à 12 vaches laitières en moyenne par étable, 3 000 kg de lait par lactation en moyenne, insémination artificielle généralisée. Fabrication de fromage à la ferme, très peu de vente de lait. Programme d'amélioration génétique d'envergure grâce à la grande participation des éleveurs à leur Coopérative d'élevage et d'insémination artificielle. Gestion des inséminateurs intelligente malgré un nombre élevé de kilomètres par IA.
- Au plan sanitaire : dernier canton de France soumis à la prophylaxie collective obligatoire vis-à-vis de la tuberculose (réticence des éleveurs). Les dominantes pathologiques sont la Brucellose, quelques cas de coryza gangréneux, les pasteurelloses. La gynécologie comprend surtout des non délivrances et des métrites. Nombreuses mammites, septicémies du veau et boïteries l'été.
- Au plan social, les marchés jouent un rôle très important : trois marchés par semaine dans trois communes différentes sur lesquels se tient le vétérinaire à même de dialoguer avec les éleveurs,

---

<sup>1</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Président de l'Académie vétérinaire.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 17 avril 2013.

- leur procurer toutes sortes de conseils et délivrer les médicaments éventuels. Capital surtout en période d'alpage.
- Au plan économique, un exemple emblématique - il y a de cela 50 ans - : un territoire (le canton), un type génétique (la race Abondance) et un produit : le reblochon. Ceci conduit déjà à une excellente valorisation du lait. La multifonctionnalité se met en place et de nombreux éleveurs participent à la vie économique touristique surtout l'hiver mais aussi l'été.

Ainsi était l'ambiance de ce type d'élevage alpin il y a 50 ans : solidarité, ardeur au travail et vente d'un produit apprécié, en regard de petites exploitations, réparties en plusieurs endroits, dans un confort minimum et des infrastructures encore en devenir. Le vétérinaire est très bien intégré à la communauté, entretenant des relations régulières avec les éleveurs à l'occasion des marchés hebdomadaires.

Mélange à l'époque de confiance et d'interrogations : pour les uns, le produit – le reblochon - est un magnifique « support » de développement économique, « il n'y a rien à craindre de l'avenir, les éleveurs s'adapteront » et pour d'autres ; « les structures sont beaucoup trop petites, condamnation de l'élevage comme source unique de revenus, le maintien de l'élevage ne se fera que par la double activité ». Quant à l'activité vétérinaire : il faudra, pensait-on alors, « se diriger vers une activité mixte et développer la médecine des petits animaux même au pied des Aravis ».

Et en 2013 ? Comment, pendant ces cinquante années, s'est passée l'évolution de ces élevages et du rôle du vétérinaire ?

C'est ce à quoi vont tenter de répondre les conférenciers de cette après-midi :

- Le premier orateur sera Bruno **Martin** de l'INRA, de la station de Clermont-Ferrand, qui nous présentera un large panorama de l'élevage français de montagne en 2013 ;
- la seconde conférencière sera Marie **Dervilé**, enseignante-chercheuse à l'ENFA de Toulouse et qui traitera du sujet de sa thèse – et qu'elle connaît donc particulièrement bien – à savoir le rôle des AOC dans le maintien de l'élevage en montagne ;
- Jean-Pierre **Alzieu**, ancien vétérinaire libéral en zone de montagne puis directeur du laboratoire départemental vétérinaire de l'Ariège, a préparé en collaboration avec Jeanne **Brugère-Picoux** et Christophe **Brard**, praticien en Pyrénées-Atlantiques, une excellente synthèse sur les dominantes pathologiques des animaux élevés en zone montagnarde ;
- Enfin, Christophe **Roy**, vétérinaire praticien en Auvergne, nous fera part de son vécu quotidien de praticien en zone de moyenne montagne.

Après discussion et débats qui suivront ces présentations, Jeanne **Grosclaude** nous fera part de ses premières réflexions en guise de conclusion.

## PANORAMA DE L'ÉLEVAGE DE MONTAGNE

par Bruno **Martin**

En Europe, l'agriculture de montagne utilise 15% des surfaces agricoles et concerne 18% des exploitations. Elle diffère de l'agriculture de plaine dans la mesure où elle présente deux fois plus de prairies permanentes que de terres arables et est de ce fait principalement tournée vers l'élevage des ruminants. En France, 15,6 % des exploitations et 14,3% des surfaces agricoles sont situées en zone de montagne. La superficie des exploitations de montagne diffère peu de celles de plaine mais leur potentiel économique est plus faible, en lien avec la forte proportion de surfaces fourragères qui nourrissent respectivement 17, 23 et 48 % du cheptel national de vaches laitières, de vaches allaitantes et de brebis. L'analyse des évolutions structurelles et productives des exploitations de montagne révèle une dynamique plutôt positive : la SAU montagnarde a été remarquablement stable depuis 1988 et le nombre d'exploitations et d'actifs agricoles a diminué moins vite qu'en plaine. Ainsi, la marginalisation progressive de l'agriculture de montagne constatée jusque dans les années 70 a pu être globalement enrayerée grâce au dynamisme des acteurs montagnards et aux politiques de soutien mises en place par les pouvoirs publics. En plein essor du productivisme où les surfaces pastorales et les races rustiques de montagne étaient progressivement délaissées, quelques collectifs d'acteurs locaux, souvent visionnaires (comme dans les régions du Beaufortain ou de l'Aubrac pour ne citer qu'elles), ont réussi à promouvoir des alternatives au modèle productiviste dominant. Avec l'appui de programmes de recherche pluridisciplinaires et des pouvoirs publics, ces acteurs ont conçu des solutions techniques et organisationnelles exemplaires qui permettent une valorisation optimale des ressources biologiques, touristiques et culturelles locales et qui sont à l'origine de l'attractivité actuelle de ces massifs montagneux. Ces succès locaux ne doivent cependant pas occulter les fortes disparités qui perdurent au sein et entre les différents massifs montagneux, ni le nécessaire soutien des pouvoirs publics, qui ont mis en place, depuis 40 ans, différentes formes de soutiens spécifiques (ICHN) ou bénéficiant majoritairement à l'élevage de montagne (comme la prime à l'herbe, la prime à la vache allaitante). À l'heure actuelle, malgré ces soutiens, le revenu des agriculteurs-éleveurs reste nettement inférieur en montagne : il est deux fois plus faible en moyenne et inférieur de 33% pour les éleveurs de vaches laitières et 30% pour les éleveurs de vaches allaitantes. Le renforcement récent de ces disparités souligne l'importance pour l'avenir de l'élevage de montagne du maintien, d'une part des soutiens publics et d'autre part, des initiatives des acteurs montagnards pour valoriser au mieux leurs ressources locales, les qualités de leurs produits, de leur environnement, de leurs paysages et de leur culture et plus généralement de leur terroir.

*(Reçu le 11 avril 2013)*

---

<sup>1</sup> Inra-UMR 1213 Herbivores, 63122 Saint-Genès Champanelle.  
Courriel : [bruno.martin@clermont.inra.fr](mailto:bruno.martin@clermont.inra.fr)

## LE RÔLE DES AOC FROMAGÈRES DANS LE MAINTIEN DE L'ÉLEVAGE DE MONTAGNE

par Marie **Dervillé**<sup>1</sup>

La production de montagne occupe une place non négligeable dans le secteur laitier français : en 2009, elle représente 17 958 producteurs et 3,5 milliards de litres de lait soit 22% des producteurs et 15 % des volumes nationaux. La montagne regroupe aussi 40% des entreprises laitières et 20% des fabrications fromagères françaises en 2006. Enfin, elle joue un rôle sectoriel important avec une insertion marquée dans des filières de qualité spécifique : 18 des 29 Appellations d'origine protégée fromagères sont présentes en montagne.

Toutefois, les contraintes pédoclimatiques, la pente et l'éloignement engendrent des surcoûts de production et de collecte du lait pour les systèmes laitiers de montagne. Or, la suppression des quotas et donc la fin de l'ancrage des volumes à l'échelle des départements exposent encore plus directement ces systèmes à la concurrence des systèmes laitiers de plaine. Leur pérennité s'en trouve menacée. La différenciation des systèmes productifs et les démarches de segmentation des marchés (AOP plus particulièrement) peuvent contribuer à séparer les espaces de concurrence et favoriser l'ancrage de la production en montagne. Les filières de qualité ne valorisent cependant que 31% des droits à produire de montagne. En outre, toutes les filières AOP ne parviennent pas à générer une rente de qualité et à renforcer la compétitivité des systèmes productifs.

Pour analyser l'impact de la libéralisation des marchés laitiers sur les différents systèmes de production montagnards, un cadre économique d'analyse multi-niveaux et multi-acteurs du fonctionnement des marchés laitiers et de leur transformation est proposé. En combinant études de cas et analyse statistique, il permet d'explicitier le rôle des AOP dans le maintien de l'élevage de montagne. 43 territoires de montagne, regroupés en quatre principaux ensembles sont distingués et cartographiés. Ils se caractérisent par une capacité contrastée d'adaptation à l'après-quotas. Dans les montagnes « à AOP fortes », la réputation des produits et les dispositifs de coordination spécifiques atténuent l'impact de la libéralisation. Dans les zones « à potentiel AOP », l'enjeu d'adaptation repose sur l'activation des ressources spécifiques et sur leur réappropriation par les producteurs. Pour les montagnes génériques, les dispositifs de coordination pouvant permettre une différenciation des formes et des espaces de concurrence restent à construire. Enfin, dans les zones génériques peu denses, les possibilités de réponse collective sont compromises.

Ainsi, les AOP fromagères sont au cœur des stratégies post-quotas d'ancrage de la production pour une moitié des producteurs de montagne. Elles constituent en outre une source d'inspiration pour les autres territoires. Les innovations institutionnelles en matière de gestion de l'offre (qualité et volume) mises en œuvre dans les filières spécifiques peuvent en effet permettre de structurer l'action collective dans le cadre de la contractualisation et de soutenir la constitution d'organisations de producteurs sur une base territoriale. Toutefois, l'établissement de nouveaux dispositifs de coordination favorisant la différenciation et la stabilité des marchés demande du temps et des investissements matériels et immatériels conséquents. Il y a urgence pour les professionnels et pour l'acteur public à investir dans le développement de capacités d'innovation à l'échelle des territoires.

*(Reçu le 11 avril 2013)*

---

<sup>1</sup> Maître de conférences en Sciences économiques et de gestion, École nationale de formation agronomique, Toulouse.

## LES DOMINANTES PATHOLOGIQUES DE L'ÉLEVAGE EN MONTAGNE

par Jean-Pierre **Alzieu**<sup>1</sup>, Jeanne **Brugère-Picoux**<sup>2</sup>  
et Christophe **Brard**<sup>3</sup>

L'élevage en montagne est pratiqué dans deux zones de haute et moyenne montagne, les Massifs alpin et pyrénéen et une zone de basse et moyenne altitude, le Massif Central.

Les pâturages et parcours de montagne, (appelés aussi « estives ») présentent des avantages alimentaires par la disponibilité et la valeur fourragère des surfaces à pâturer et la possibilité de réduire, pendant l'été, le chargement des exploitations dans les vallées, d'autoriser une récolte accrue de fourrages et enfin de réaliser un vide sanitaire des locaux et des pâtures.

La contrepartie réside en un certain nombre d'inconvénients liés à l'étendue des estives (problèmes de surveillance des cheptels, de détection des pathologies, de dispositifs de contention parfois éloignés) et surtout associés aux troupeaux dits collectifs issus du regroupement d'animaux de cheptels différents.

Concernant ce point, objet de notre communication, les dominantes pathologiques sont d'abord et surtout des pathologies dites de groupe, principalement d'étiologie infectieuse.

Les dominantes pathologiques varient largement selon l'espèce concernée avec des facteurs différents de réceptivité et de sensibilité.

Ainsi peut-on reconnaître par ordre de fréquence et/ou d'importance décroissante :

- dans l'espèce bovine : les maladies respiratoires infectieuses, les boiteries, les troubles digestifs, la besnoitiose (selon les zones), la babésiose et le parasitisme interne ;
- dans l'espèce ovine : les plaies et leurs complications, les myiases (principalement dûes à *Wohlfartia magnifica* dans les Alpes et les Pyrénées), les boiteries, le polyparasitisme (avec la récurrence de la gale psoroptique) et les troubles respiratoires ;
- dans l'espèce équine : les plaies et traumatismes, les troubles respiratoires infectieux (gourme, rhinopneumonie) et, très accessoirement les boiteries et le parasitisme des jeunes.

Ces grandes tendances générales, doivent être modulées en fonction de nombreux facteurs liés au système d'élevage, en particulier avec la coexistence de jeunes de l'année avec les adultes.

Hormis pour certaines pathologies propres à l'estive (comme les myiases à *Wohlfartia magnifica*), les autres agents pathogènes sont le plus souvent déjà hébergés par les animaux avant la montée en estive. Le regroupement de cheptels différents et les conditions pédo-climatiques ne font qu'accroître et potentialiser le risque de pathologies : d'où l'importance de la prévention.

Il est impératif d'évoquer enfin les pathologies induites en certaines zones par les prédateurs comme le loup (Massif alpin) ou l'ours (Massif pyrénéen) avec leurs cortèges de morbidité (traumas, avortements) et de mortalité, devenues pour les éleveurs un facteur limitant de la transhumance.

(Reçu le 11 avril 2013)

<sup>1</sup> Docteur-Vétérinaire, Laboratoire départemental vétérinaire de l'Ariège.

<sup>2</sup> Professeur, Membre de l'Académie vétérinaire.

<sup>3</sup> Docteur-Vétérinaire.

## LA PLACE DU VÉTÉRINAIRE EN MILIEU DE MONTAGNE : SON ÉVOLUTION ET SON FUTUR

par Christophe Roy<sup>1</sup>

Les vétérinaires praticiens, bien qu'ayant la même profession, n'exercent pas tous le même métier : selon que l'on est vétérinaire à la ville ou à la campagne, selon que l'on soigne des animaux de rente ou des animaux de compagnie, la pratique de l'art vétérinaire diffère. Les vétérinaires ruraux eux-mêmes ne travaillent pas de la même façon selon leur domicile professionnel d'exercice. Ainsi, les zones de montagne, qui recouvrent près du tiers du territoire métropolitain, constituent une entité géographique toute particulière dans laquelle la pratique de la médecine et de la chirurgie des animaux est confrontée à certaines contraintes. Ces zones sont malheureusement victimes d'une désertification intense, qui touche aussi la population vétérinaire. Hommes et entreprises ont dû s'adapter en évoluant vers une mise en commun de moyens pour maintenir des services de proximité aussi performants qu'en ville. L'évolution démographique vétérinaire de ces régions va donc vers une diminution des effectifs, en particulier vers un désintérêt du statut d'associé(e) devenu trop peu séduisant aux yeux des jeunes diplômé(e)s. Pourtant, le métier y est passionnant : les systèmes de production en montagne sont parfois spécifiques, les rapports humains restent authentiques et les éleveurs sont encore souvent au service de l'animal plutôt que l'inverse. Les attentes de l'éleveur-producteur en zone de montagne sont, comme en plaine, celles d'un professionnel averti à la recherche d'une gestion raisonnée des risques. En montagne plus qu'ailleurs, le rôle joué par le vétérinaire de terrain est essentiel à la survie du modèle sanitaire français : de nombreux facteurs de risque (contacts avec la faune sauvage, transhumances, estives collectives) y sont réunis pour une émergence (ou réémergence) de maladies animales contagieuses. Pourtant, les soutiens, notamment de la part des pouvoirs publics, lui font souvent défaut et il doit faire face, en plus des contraintes liées à l'exercice en montagne, aux difficultés que rencontrent les autres confrères. Faut-il imaginer l'abandon complet par les vétérinaires de certaines zones difficiles d'accès ?... Peut-être, à moyen terme. Les vétérinaires, moins nombreux en montagne, s'organisent et se rencontrent pour rompre l'isolement professionnel : la concurrence n'est pas de mise, en général. Les relations éleveur-vétérinaire vont souvent au-delà du simple contrat de soin. Les animaux les rapprochent et le vétérinaire, inséré dans le tissu local, doit répondre à d'autres exigences. Ces liens privilégiés ajoutent une plus-value au quotidien du praticien, même s'ils sont parfois difficiles à vivre. La montagne est riche d'atouts qui devraient séduire, à l'heure où la qualité du lieu de vie devient précieuse pour le candidat à l'installation. Finalement, au-delà de l'exercice de sa profession, le choix de la montagne par le vétérinaire est aussi le choix du cœur.

*(Reçu le 11 avril 2013)*

---

<sup>1</sup> Clinique Vétérinaire des Mazets – 15400 Riom-es-Montagnes.  
Courriel : [roille@orange.fr](mailto:roille@orange.fr)

## CONCLUSION

par Jeanne Grosclaude<sup>1</sup>

Le thème de l'élevage en montagne est particulièrement bienvenu pour cette séance commune à l'Académie d'Agriculture et à l'Académie vétérinaire. En témoignent la participation des membres des deux académies et l'intérêt des questions de la salle. La contribution croisée entre académies démontre l'enrichissement réciproque que de telles séances apportent.

La valorisation par la publication des exposés dans une revue de l'INRA à large diffusion dans les milieux de l'élevage (numéro spécial de « Productions Animales ») n'en sera que plus précieuse, et nous en savons gré à René Baumont, rédacteur en chef de la Revue.

Nos remerciements vont aux intervenants, qui viennent de fort loin pour la plupart, des montagnes ou du pied des montagnes. Tous, confrères, chercheurs-observateurs ou acteurs directs, ont parfaitement décrit les spécificités de cet élevage, au plan économique comme au plan des pathologies. J'ajouterai le plaisir d'écouter de jeunes intervenants et intervenantes, aux côtés de leurs aînés.

Si les images font rêver, par leur appel au dépaysement ou à la ressouvenance de leur jeunesse pour certains, c'est une véritable stratégie de reconquête des alpages qui nous a été présentée, loin des rêveries sur les relations Homme/Nature, des idées reçues rousseauistes sur le pastoralisme et des tableaux paysagers peints sur bois.

En premier lieu, cet élevage survit et semble avoir mieux résisté à la crise et aux fluctuations des revenus que l'élevage intensif des plaines. Ses atouts en sont divers, selon les massifs, entre viande et lait. La transformation des produits à la ferme est une clef de sa réussite, avec une robustesse collective de l'activité calée sur la production laitière et les appellations d'origine contrôlée.

Mais c'est une survie frugale, exigeante en travail, dont les revenus, même s'ils sont stables, sont franchement inférieurs à la moyenne des revenus en plaine : deux fois plus faibles !

Ce système d'élevage n'est pas non plus protégé des appropriations foncières par des tiers. Des compétitions nouvelles pour l'accès aux estives apparaissent, avec des investisseurs aux capacités financières affirmées. Et la mitoyenneté avec d'autres activités est génératrice de tensions et de perturbations.

Si nous essayons une lecture selon la grille du « développement durable », comment caractériser ce système d'élevage aux plans environnemental, économique et social ?

- 1) Ce système d'élevage exploite une grande partie de l'année des ressources naturelles, sans préjudice porté à des utilisations concurrentes des territoires d'altitude : les espèces animales concernées ne connaissent que l'herbe dans leur régime alimentaire, et contribuent à l'entretien du paysage, assurant un réel service écologique.  
La dispersion des effluents biologiques, compte tenu des surfaces disponibles ne pose pas de problème. Quant aux émissions de gaz à effet de serre, ne relançons pas le débat !
- 2) Au plan sanitaire, l'alternance de phases de mutualisation des troupeaux d'animaux de tous âges et de confinements dans les bâtiments d'hivernage conduit à une mutualisation des pathologies, entre troupeaux, entre générations. Cela risque-t-il de devenir un facteur de fragilisation de ces systèmes avec une moindre intervention sanitaire, une moindre intervention vaccinale au regard de ces pathologies de groupe ?

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 17 avril 2013.

De même l'arrivée, ou le retour, de prédateurs ne va-t-elle pas soulever la question de la concurrence entre faune sauvage et espèces d'élevage ?

- 3) Au plan économique, ce système a su conjuguer une capacité d'innovation et la construction d'une réputation collective, base des AOC, qui valorise une bonne part de la production de montagne, mais en laisse aussi une fraction à la merci de la concurrence avec l'élevage de plaine. Le jeu collectif face aux industriels a rendu cette forme d'élevage compétitive depuis les années 1970, alors qu'il pouvait paraître condamné avant.
- 4) Aux plans humain et social le milieu de l'élevage de montagne a fait le choix de l'exploitation mutualisée des troupeaux, du développement ancien d'une habileté collective dans la transformation du lait. Il s'est également ouvert aux activités de tourisme et de valorisation des paysages. Il témoigne aussi d'une forte solidarité entre les éleveurs et les autres professionnels indispensables à l'élevage : merci pour le tableau dressé par Christophe Roy de la vraie vie du vétérinaire de montagne et de ses appuis multiformes aux éleveurs.

Cette séance a illustré les forces et les fragilités d'un système d'élevage combatif, ardu, apte à valoriser ses produits, appuyé sur une organisation sociale ancienne, mais ne cédant pas à la nostalgie d'une qualification « paysanne », terme qui ne fut prononcé par aucun des intervenants.

## SÉANCE LIBRE

### INTÉRÊTS ET LIMITES DU CONCEPT DE SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES APPLIQUÉ AUX SOLS

par Philippe C. Baveye<sup>1</sup>

À la fin des années 50, l'idée s'est fait jour d'associer une valeur monétaire aux différents services rendus par la nature, en vue de permettre à cette dernière d'être prise en compte de façon explicite dans les décisions économiques. Pendant les années 60 et 70, de nombreux projets de recherche et de protection de l'environnement, spécialement dans le cas de terrains marécageux et de forêts, se sont attachés à identifier les nombreux services de la nature, et pour ce faire ont développé des techniques d'enquête qui permettent de déterminer quel prix la population est prête à payer pour chaque service. Ces travaux ont assez rapidement rencontré des problèmes méthodologiques sérieux, notamment en ce qui concerne les services "culturels" ou esthétiques de la nature, pour lesquels la détermination d'un prix s'est rapidement avérée extrêmement difficile, voire impossible. Vers le milieu des années 70, après la publication de centaines d'articles et de rapports sur le sujet, l'impression de certains, résumée par Westman (1977), était que l'attribution d'un prix aux divers services de la nature restait un exercice difficile et hautement subjectif. Peut-être en conséquence de ce constat peu encourageant, le domaine n'a que peu progressé pendant les deux décennies qui ont suivi (Baveye *et al.*, 2013).

En 1997, après un sérieux coup de barre à droite et une emprise accrue de l'économie marchande sur l'ensemble de la vie politique aux États-Unis, un certain nombre de chercheurs américains, notamment à Stanford, ont "redécouvert" l'évaluation monétaire – ou monétarisation – des services écosystémiques (MES), et l'ont promue comme une stratégie idéale pour préserver la nature et la gérer de façon durable. En particulier, l'article controversé de Costanza et de ses collaborateurs dans la revue *Nature* a mis en relief la contribution financière énorme des écosystèmes naturels à l'économie mondiale. D'après Costanza *et al.* (1997), les services écosystémiques s'élevaient à l'époque *grosso modo* à 33 000 milliards de dollars, ce qui correspondait à l'époque à un peu moins du double de l'ensemble des produits nationaux bruts de tous les pays réunis. Ce chiffre a été critiqué par de nombreux économistes, et la méthode d'évaluation qui l'a produit a souvent été considérée comme simpliste à l'extrême. Néanmoins, le concept de MES a été adopté par de nombreux gouvernements de par le monde et par la plupart des organisations internationales pour intégrer la nature à l'économie marchande.

Dès 1997, plusieurs chercheurs (e.g. Daily, 1997) ont perçu l'intérêt qu'il pouvait y avoir à essayer d'énumérer et d'identifier clairement les services écosystémiques rendus par les sols, aussi bien dans un contexte agricole que dans la nature en général. Les agronomes et hydrologues connaissent bien certains de ces services (nutrition et support physique des plantes, rétention de l'eau de pluie, filtration de l'eau et recharge des aquifères, etc.), mais l'application pratique de MES encourage en principe la prise en compte d'autres services, comme le rôle des sols dans l'esthétique des paysages, ou même des services négatifs, puisque les sols peuvent jouer un rôle non négligeable dans la propagation de pathogènes potentiellement néfastes aux populations animales ou humaines. Même si l'énumération de ces services est un exercice utile et révélateur, il est rapidement apparu aux chercheurs travaillant dans le domaine que la monétarisation était loin d'être évidente, et les recherches ont largement stagné à ce niveau. En particulier, il est difficile de déterminer le prix d'un processus que l'on comprend mal ! Par exemple, on a démontré clairement ces dernières années que la flore microbienne des sols est d'une diversité extrême.

---

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

Laboratory of Soil and Water Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Jonsson Engineering Center, 110 8th street, Troy, New York 12180, USA.  
SIMBIOS Centre, Abertay University, Kydd Building, 40 Bell Street, Dundee DD1 1HG, Scotland.  
**C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 15 mai.**

Bien que l'on ait pu à ce jour cultiver et caractériser moins d'un pour cent des bactéries et champignons présents dans les sols, il est clair que, métaboliquement, beaucoup de ces organismes sont redondants. La raison fondamentale d'un tel niveau de redondance n'est pas comprise. Dans ces conditions, il est difficile d'évaluer la valeur monétaire des services procurés par la biodiversité des sols, ou d'associer un prix à cette biodiversité. De plus, la MES fait courir le risque d'une appropriation des sols par certains (individus ou secteur privé) qui ont les moyens d'acheter un ou plusieurs services monnayables, en négligeant les services écosystémiques qui n'ont pas de prix. Dans une large mesure, ceci semble être le cas en Afrique, où dans le cadre de ce que l'on appelle en anglais le "*land grab*" (accaparement des terres), de très grandes superficies de terres arables ont été achetées ou louées pour l'exploitation temporaire des nutriments et de l'eau qu'elles contiennent, au détriment des populations qui occupaient ces terres jusqu'à il y a peu, et qui ne les récupéreront que lorsque les terres, érodées et appauvries, auront perdu tout potentiel agricole.

Une analyse détaillée de la littérature sur l'application de l'évaluation monétaire des services écosystémiques aux sols montre que, insensiblement, les chercheurs s'intéressant au sujet s'attachent de moins en moins à la monétarisation des services des sols, mais focalisent leur attention sur le "capital naturel" que constituent les sols. Dans ce contexte (qui est vrai également pour d'autres écosystèmes, comme les marais ou les forêts), on peut se demander si l'évolution logique n'est pas de se désintéresser même de la monétarisation de ce capital et de voir les sols, au même titre par exemple qu'un monument historique ou un trésor de l'art mondial, comme un patrimoine (ou "patri/matrimoine" pour être moderne) ou mieux encore un "héritage naturel", qui (sans nier la propriété privée) appartienne fondamentalement à tout le monde, y compris aux générations futures. Dès lors, plutôt que de s'atteler à l'exercice futile consistant à attribuer aux sols une valeur financière, la vraie question est de trouver des outils économiques pour mettre un prix sur les interventions nécessaires au maintien de ce patri/matrimoine dans un état satisfaisant et durable.

### RÉFÉRENCES CITÉES

- (1) BAVEYE, P.C., BAVEYE, J., GOWDY, J., 2013. – Monetary Valuation of Ecosystem Services: It matters to get the timeline right. soumis à Ecological Economics.
- (2) COSTANZA R., d'ARGE R., de GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R.V., PARUELO J., RASKIN G.R., SUTTON P., van der BELT M., 1997. – The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253–260.
- (3) DAILY G.C., (ed.), 1997. –Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, DC.
- (4) WESTMAN W., 1977. –How much are nature's services worth? *Science*, **197**, 960–964.

## NOUVEAUX RAVAGEURS, NOUVEAUX DÉFIS

par Charles **Descoins**<sup>1</sup>

Dans sa séance du 8 avril 2009, Alain Roques (station INRA de zoologie forestière, Orléans) attirait notre attention sur les risques dus aux introductions d'invertébrés exotiques sur notre territoire, en particulier des insectes et des acariens.

Ces introductions, le plus souvent accidentelles, ne cessent d'augmenter au rythme d'environ 20 espèces par an depuis l'an 2000. Cette accélération est significativement liée à la mondialisation des échanges de denrées d'origine végétale : grains, plantes ornementales, plantes de pépinières, fleurs coupées et, récemment, arbres adultes. Heureusement, la plupart de ces espèces introduites ne s'implantent pas ou restent cantonnées dans des zones très limitées et passent inaperçues du grand public en dehors des professionnels. Mais quand elles interfèrent avec notre quotidien ou risquent de provoquer des dégâts menaçant une grande culture ou l'esthétique de nos parcs et jardins, l'opinion publique se mobilise et demande de prendre des mesures d'urgence.

Je traiterai rapidement deux exemples : le frelon asiatique et la chrysomèle des racines du maïs, laissant à mon collègue Didier Rochat le soin de vous parler de façon plus détaillée des deux ravageurs principaux de nos palmiers d'ornement : le rhynchophore rouge et le papillon palmivore.

**Le frelon asiatique** (*Vespa velutina*) a été introduit en France en 2004 à partir de conteneurs de poteries chinoise débarqués sur le port de Bordeaux. Il s'est rapidement installé dans le département du Lot-et-Garonne et a ensuite colonisé 39 départements du sud-ouest de la France. On estime qu'il progresse vers le nord à la vitesse de 100 km par an et on l'attend très prochainement en région parisienne. Agressif, plus petit que notre frelon endémique, il fait son nid en haut des arbres ou dans les appentis des habitations ou des exploitations agricoles. C'est un redoutable prédateur d'abeilles qui peut menacer la survie des colonies. Pour le moment les seuls moyens de lutte sont le piégeage des reines au printemps et la destruction des nids en été.

**La chrysomèle des racines du maïs** (*Diabrotica virgifera virgifera*), originaire des Etats-Unis, a été signalée en France en 2002 autour des aéroports d'Orly et de Roissy, transportée par des avions en provenance d'Europe de l'Est ou du nord de l'Italie où elle était déjà bien implantée. Une surveillance par piégeage sexuel des adultes, des traitements larvicides et aériens et des rotations maïs/blé ont permis son éradication en Ile-de-France mais on n'a pas pour autant gagné la bataille. En effet, avec le développement des transports routiers on s'est aperçu que l'insecte ne prenait plus l'avion mais la route et tombait des camions. Les transports routiers, de plus en plus nombreux entre la France et l'Allemagne, ont ainsi permis l'implantation de plusieurs foyers d'infestation en Alsace, zone de monoculture du maïs particulièrement sensible, ce qui a conduit le ministère de l'Agriculture à promulguer la lutte obligatoire contre cet insecte (arrêté du 4 janvier 2012, renforçant celui du 23 septembre 2008). On retrouve une situation analogue en région Rhône-Alpes due aux échanges avec l'Italie du Nord (plaine du Pô). Quelques foyers sporadiques ont également été observés dans des zones bordant des autoroutes à forte circulation.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 15 mai.

## NOUVEAUX RAVAGEURS, NOUVEAUX DÉFIS : CHARANÇON ROUGE ET PAPILLON PALMIVORE

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

Les palmiers sont détruits en masse en Europe par deux insectes introduits avec l'essor mal contrôlé du commerce des palmiers d'ornement : le charançon *Rhynchophorus ferrugineus* (Dryophthoridae) indomalais et le papillon *Paysandisia archon* (Castniidae) argentin. *P. archon* a été découvert en France en 2001 et *R. ferrugineus* en 2006. Le charançon, organisme de quarantaine dans l'UE depuis 2007, est établi sur la plupart des côtes méditerranéennes où ses populations explosent depuis 2005. Le papillon est répandu en Espagne, France et Italie. Les pertes dans l'UE sont estimées à 250 000 palmiers pour un coût de plus de 100 M€. En France, 50 000 palmiers ont été détruits par *P. archon*, et 2 000 ont été touchés par le charançon en 2012, valeur en progression exponentielle depuis 2006.

Les deux insectes dont les larves consomment le tissu vivant du stipe et des bases foliaires ont une vie confinée dans les palmiers. Le charançon détruit surtout le palmier des Canaries (*Phoenix canariensis*), le plus abondant dans l'UE et particulièrement apte à sa multiplication. *P. archon* tue surtout le *Trachycarpus fortunei* et le *Chamaerops humilis*, natif d'Europe. La détection précoce des symptômes est une clé de la gestion efficace des foyers mais elle est très laborieuse. La grande taille des palmiers génère une difficulté et un coût d'intervention qui sont des obstacles à la gestion des foyers. Une technique d'effeuillage-curage-traitement phytosanitaire permet de sauver une bonne proportion des *P. canariensis* patrimoniaux touchés. La lutte chimique par application externe n'est efficace que contre les adultes, un peu les nymphes et, chez le papillon, les œufs et chenilles néonates. Le défi majeur est d'atteindre les larves. Contre le charançon, l'option privilégiée est la micro-injection dans les stipes de produits systémiques rémanents. Cette approche est la seule qui puisse répondre aux impératifs d'efficacité et de sécurité environnementale pour traiter un nombre colossal de palmiers à un coût acceptable. L'usage de néonicotinoïdes est controversé, tant pour leur efficacité que leur risque vis-à-vis des auxiliaires. L'emploi d'une molécule de la famille des avermectines est préconisé. L'explosion des dommages en France plaide pour la validation et l'autorisation rapide de tels usages pour lesquels les autorités phytosanitaires sont prudentes dans un contexte peu favorable aux insecticides conventionnels.

L'emploi de nématodes entomopathogènes contre les deux ravageurs ainsi que de *Beauveria bassiana* contre le papillon offre une certaine efficacité. Mais cette approche biologique est contraignante, chère et d'efficacité trop variable pour un usage général. Le piégeage olfactif par phéromone d'agrégation associée à une odeur végétale est un autre outil très utile pour détecter le charançon et le détruire en masse. Il demande un renouvellement régulier de l'appât naturel pour une sensibilité optimale. Il faut faire aboutir les recherches qui visent à proposer une odeur de palmier artificielle afin d'améliorer la méthode et permettre une baisse significative des coûts de mise en œuvre à grande échelle. Les chercheurs espèrent enfin pouvoir caractériser un attractif pour le papillon, dont la femelle ne produit pas de phéromone sexuelle à l'instar des espèces nocturnes typiques. Le programme européen *Palm Protect* mobilise aujourd'hui huit pays pour explorer de nouvelles pistes et valider une gestion plus efficace de ces ravageurs qui altèrent fortement les paysages de nos côtes méridionales.

---

<sup>1</sup> Chargé de Recherche à l'INRA, Directeur Adjoint UMR1272 PISC, RD 10, 78026 Versailles cedex.  
C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 15 mai.

## ANALOGIES ENTRE LA RÉVOLUTION NÉOLITHIQUE ET L'EXPANSION SPATIALE DE L'HUMANITÉ

par Jean **Dunglas**<sup>1</sup>

On entend habituellement par révolution néolithique un changement radical des techniques et des manières de vivre des hommes entre les années – 10 000 et – 4 000.

Sur de nombreux points, les changements profonds qui ont affecté l'humanité depuis le début de la révolution scientifique au 16<sup>e</sup> siècle et qui se poursuivent actuellement par les premières étapes de l'exploration et de l'exploitation de l'espace présentent d'intéressantes similitudes avec des événements datant de plus de dix millénaires.

Le but de cet exposé est d'explorer les contours de ces ressemblances en regardant d'un peu plus près l'une des plus importantes, à savoir la maîtrise, le contrôle et l'exploitation d'écosystèmes et d'ensemble d'écosystèmes artificiels confinés et de petite dimension.

### **1/ Rappel des principaux événements de la période néolithique**

Ils sont bien connus mais il a paru utile d'en retracer brièvement le déroulement.

#### \* L'apparition de l'agriculture, de la sédentarisation, et des premières agglomérations

Durant le paléolithique, qui dure plus de cent millénaires, les hommes modernes (*Homo sapiens*) subsistaient grâce à la chasse, la pêche, la cueillette des parties végétales comestibles et de quelques ressources annexes. Les groupes, unitairement peu nombreux, étaient souvent nomades.

Il y a une douzaine de milliers d'années, certains groupes commencèrent à se sédentariser dans plusieurs régions favorables, en particulier dans la zone du Moyen Orient dite du "Croissant Fertile". Le changement climatique post glaciation a été probablement l'élément essentiel de cette étape. Le climat était propice et la zone hébergeait des céréales sauvages et des plantes comestibles. Elle était également parcourue par des mammifères herbivores faciles à chasser.

Ces ensembles humains ont commencé à construire des maisons regroupées en petits villages mais ne semblaient pas encore pratiquer l'agriculture.

La naissance de l'agriculture est expliquée classiquement par l'observation de la germination de quelques espèces de graminées produisant des épis à gros grains et de quelques légumineuses aux graines consommables (lentilles, pois). Le ramassage organisé, la sélection des meilleurs plants et le semis des graines choisies semblent avoir démarré il y a une douzaine de milliers d'années.

Dès le début, la nécessité de protéger les jeunes pousses des animaux et des adventices a dû pousser nos premiers "agriculteurs" à enclore les espaces cultivés et à arracher les plantes sauvages envahissantes. La fumure organique et les arrosages sont arrivés plus tard. Les nécessités du travail du sol et de la récolte les amenèrent à créer des outils spécialisés.

Après la domestication du chien, l'élevage proprement dit semble avoir commencé avec le mouton et la chèvre ce qui permettait d'avoir directement à disposition du « gibier » avec, en plus, du lait et de la laine. Les premiers troupeaux ont été nomades, permettant l'exploitation de zones peu propices aux plantes vivrières.

La domestication bovine daterait de – 8 000. Cet animal se révéla vite précieux par sa viande, son cuir, ses cornes et son lait. Un peu plus tard il servit d'animal de traction. Elevé en enclos, son fumier fut l'un des premiers éléments fertilisants.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Ingénieur général honoraire du GREF.  
**C.R.Acad. Agric. Fr.**, 2013, 99, n°3. Séance du 15 mai.

La poule domestique a été un peu plus tardive (-6 000) et a dû accompagner la vraie sédentarisation. L'espèce était chassée depuis longtemps ; la disponibilité en graines et l'aptitude de cet animal à consommer les déchets alimentaires a favorisé sa domestication.

L'élevage du porc, animal qui se prête mal à la transhumance, date de la même époque.

Bien qu'une partie de l'élevage soit resté indépendant (nomadisme), agriculture et élevage se sont rapidement révélés complémentaires, en particulier par la possibilité de stocker la nourriture et l'apport de fumure. Ils se caractérisent par la création et l'entretien de petits écosystèmes protégés et contrôlés par l'homme et partiellement isolés du reste de la biosphère. Même les troupeaux nomades qui parcourent avec leurs gardiens les espaces libres sont protégés contre les prédateurs, nourris avec les réserves par temps de disette et sélectionnés en fonction des besoins de leurs pasteurs. Toutefois, les champs restent ouverts à la plus grande partie de la faune et de la flore et les troupeaux sont toujours en contact avec la faune sauvage avec toutes les possibilités de croisements et d'hybridations.

L'apparition de ce mode de vie qui sous-entend un ensemble complexe de nouvelles techniques et amorce l'artificialisation du milieu environnant a eu pour effet immédiat de réduire drastiquement la surface nécessaire pour nourrir chaque être humain. Il a apporté une nouvelle liberté aux individus qui n'étaient plus occupés, à plein temps, à se procurer leur subsistance. Il en est résulté la naissance de villages de plus en plus gros, la spécialisation des métiers, l'apparition de l'artisanat, puis l'établissement des vraies villes avec toute leur organisation. C'est ainsi qu'est apparu Sumer, groupement de "villes-États" en Mésopotamie.

#### \* La naissance de la métallurgie

Durant tout le paléolithique les seuls matériaux étaient la pierre taillée, le bois, les os, la corne ainsi que diverses fibres végétales et animales. Au début du néolithique la pierre polie a remplacé progressivement la pierre taillée, donnant des outils plus variés et efficaces.

Les premiers métaux utilisés ont été l'or, l'argent et le cuivre trouvés à l'état natif. Ils étaient travaillés par martelage et utilisés comme ornements et bijoux. Le cuivre dont le point de fusion dépasse 1000° C est difficile à fondre avec des foyers primitifs. Les premiers objets utilitaires en cuivre restaient petits (poignards, aiguilles...). L'artisanat du cuivre a subsisté longtemps en parallèle avec l'industrie lithique, car ce métal manquait de dureté.

La production du cuivre à partir du minerai semble avoir commencé vers – 5000. Les minerais chauffés en présence du carbone du bois, libèrent le métal en fusion.

Assez rapidement, vers – 4 000, les premiers métallurgistes se sont aperçus qu'en chauffant ensemble le minerai de cuivre (malachite) avec un autre roche contenant de l'étain (cassitérite), ils obtenaient une coulée d'un métal différent, de couleur brune, le bronze. Celui-ci a deux qualités : il fond à plus basse température que le cuivre et il est beaucoup plus dur. Il devint rapidement le métal utilisé dans toutes les applications, outils, armes, éléments de structure, ornementation.

L'âge dit "du bronze" consacre le remplacement progressif de la pierre par ce métal suffisamment dur, facile à mouler et à travailler.

#### \* L'apparition de nouveaux moyens de transport

Il s'agit de l'invention de la roue et de la traction animale ainsi que de l'apparition de la pirogue puis de son évolution en bateaux capables de naviguer en mer.

Les premières traces de l'utilisation de la roue et du chariot se retrouvent à Sumer et en Pologne à des dates proches de – 3500. Il est tout à fait possible que l'invention ait eu lieu auparavant. Les civilisations précolombiennes ne connaissaient pas la roue. La roue a été précédée par l'utilisation de rouleaux (rondins glissés sous les charges) qui ont continué à être utilisés pour le transport de blocs très lourds (gros monolithes, bateaux).

La traction animale utilisant, au début, des bovins, est apparue avec leur domestication et l'invention de la roue. La conquête des continents s'en est trouvée grandement facilitée.

Le radeau a sans doute été le premier moyen de locomotion sur l'eau ; les premières traces remontent à – 10 000 mais l'invention est probablement beaucoup plus ancienne. Le peuplement de la Nouvelle-Guinée date de – 40 000 et n'a pas pu se réaliser par d'autres moyens. Comme l'a démontré Thor Heyerdahl en 1947 avec le Kon-Tiki, il est possible de faire de longues traversées au moyen d'un simple radeau de rondins.

Les premières traces de pirogues monoxyles datent de – 10 000. Les pirogues en évoluant, donnèrent naissance à des bateaux de plus en plus gros. Certaines pirogues des habitants d'îles du Pacifique peuvent transporter 50 passagers. La navigation à voile avec des barques relativement importantes est attestée chez les Égyptiens vers – 2500.

La navigation maritime a été l'élément déterminant de l'expansion humaine sur l'ensemble de la planète.

\* Enfin le Néolithique a vu l'apparition de l'écriture et de la numération à base 12 et 60 chez les Sumériens avec une première forme du zéro.

## **2/ De la révolution scientifique à la naissance de l'expansion spatiale**

À partir du 16<sup>e</sup> siècle, les deux révolutions scientifique et technologique qui se sont alimentées l'une l'autre ont abouti à un accroissement de connaissance et de puissance qui n'avait jamais été encore observé dans l'histoire. Deux facteurs ont joué un rôle clé dans cette transformation : l'efficacité de la "méthode scientifique" (Bacon, Descartes...) et la prise de conscience par les pouvoirs politiques que la Science et le savoir-faire technique étaient des éléments de puissance inégalés. Ces progrès ont été précédés et accompagnés par un développement sans précédent de l'outil mathématique dont l'une des conséquences a été la naissance de l'informatique et l'accroissement gigantesque des capacités de traitement de l'information.

La maîtrise des agroécosystèmes a lentement progressé durant l'antiquité et jusqu'au Moyen-Âge. Durant cette période, l'invention puis la généralisation du collier d'épaule associé à l'utilisation de chevaux de grande taille, ferrés et lourds a complètement transformé la traction animale. L'apparition de la charrue à roue et à versoir également hippo-tractée a commencé à changer en profondeur l'agriculture. Avec la révolution scientifique, les progrès en agronomie, liés pour une grande part à ceux de la biologie, de la chimie, des techniques de sélection, des pathologies végétales et animales et des pharmacies correspondantes, des moyens de lutte contre les ravageurs et les adventices, de la science du sol et de sa microbiologie ont artificialisé d'une façon considérable les agroécosystèmes. L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés ont encore accentué cette tendance.

Le contrôle des conditions physiques a commencé avec l'irrigation apparue à l'époque de Sumer. L'invention des serres au 16<sup>e</sup> siècle et leur développement considérable au 19<sup>e</sup> siècle, grâce aux matériaux bon marché fournis par l'industrie a vu l'apparition des écosystèmes confinés et de plus en plus contrôlés (atmosphère, lumière, eau ...), puis automatisés et, maintenant, robotisés. Parallèlement est apparue la culture des algues monocellulaires en milieu totalement clos.

Les deux grandes guerres du 20<sup>e</sup> siècle ont été menées et gagnées par la force technologique issue de la connaissance scientifique. Elles ont amené à un développement extrêmement rapide de la navigation aérienne et durant la Seconde au commencement de la propulsion par fusée d'engins de grande dimension. La conquête de l'espace a été initiée par les travaux de deux ingénieurs d'un talent exceptionnel, Werner Von Braun en Allemagne nazie et Sergei Korolev dans l'ex-URSS dont les travaux ont été menés dans des buts militaires d'abord, politiques ensuite.

La guerre froide, entre les années cinquante et quatre-vingt-dix, a alimenté une course furieuse au prestige et à la puissance qui a abouti, soixante ans plus tard à un palmarès de réalisations assez extraordinaires :

- des milliers de satellites autour de la Terre, une ceinture de plus de cent satellites géostationnaires de télécommunication et de météorologie et de multiples systèmes de satellites de surveillance et de télédétection sur orbite basse ou moyenne,
- plusieurs réseaux de satellites de géolocalisation,
- une station spatiale internationale, de 110 m de long, d'une masse de plus de 400 tonnes sur orbite à 380 km d'altitude et abritant en continu de 4 à 7 spationautes,

- l'exploration de la Lune par six expéditions habitées et des dizaines de sondes robotisées,
- l'exploration du Soleil et de pratiquement toutes les planètes du Système solaire par des sondes automatiques, Mars ayant été particulièrement étudiée, ainsi que de divers astéroïdes et comètes.
- la mise sur orbite de générations successives de télescopes spatiaux pour étudier le ciel profond et qui ont permis à l'astronomie de faire des progrès inimaginables auparavant.

### 3/ L'humanité devant sa nouvelle frontière

\* L'exploitation de l'espace proche est déjà une réalité économique incontournable mais reste limitée par les coûts de lancement.

Pour beaucoup de nos concitoyens, l'activité spatiale reste très coûteuse, (en gros, 10 000\$ par kg transporté en orbite basse, 40 à 80 000 \$ pour l'orbite géostationnaire et l'espace interplanétaire) et devrait donc être réservée à des utilisations spécifiques telles que : télédétection, météorologie, géolocalisation, télécommunication, astronomie.

En réalité les coûts de lancement ont très fortement diminué depuis cinquante ans du fait de la standardisation et de la fabrication en série des lanceurs consommables. Parallèlement, le perfectionnement des techniques y a contribué, en particulier avec l'objectif des lanceurs réutilisables, l'idéal du futur étant l'avion spatial mono-étage.

Sur orbite terrestre et au-delà, les progrès seront très importants dans les décennies à venir. Les moteurs chimiques consomment trop de propergols pour des performances qui restent limitées. Indispensables pour atteindre l'orbite terrestre, ils seront relayés dans l'espace par des moteurs beaucoup plus performants.

Les moteurs magnétoplasmiques éjectent à très grande vitesse des plasmas accélérés par des champs électromagnétiques. Des prototypes performants (VASIMR) sont en cours d'essais.

Les moteurs ioniques éjectent des atomes ionisés fortement accélérés par des champs électriques. Plus faciles à construire et plus légers que les précédents, ils ont toutefois des poussées beaucoup plus faibles. Ils sont couramment utilisés depuis plusieurs années.

Un autre type de moteur qui utilise la fusion thermonucléaire est en cours d'études.

L'avenir de ces moteurs tient, pour une bonne part, à la possibilité de "spatialiser" les générateurs nucléaires de taille réduite déjà utilisés sur les navires et capables de fournir quelques dizaines à quelques centaines de mégawatts électriques, puissances pratiquement impossibles à obtenir avec des générateurs solaires sur des vaisseaux.

Avec ces moteurs, les masses transportées et les vitesses atteintes seront multipliées par des facteurs de 10 à 100, rendant beaucoup plus aisés les voyages dans tout le système solaire.

\* Les bénéfices à tirer de la maîtrise de l'espace du système solaire

Au plan matériel, et en première analyse, on en voit trois.

\*\*Aspects sécuritaires

La Terre est régulièrement percutée par des grosses météorites, plus rarement (heureusement) par des astéroïdes ou des comètes.

On estime que l'extinction crétacé/tertiaire (K/T) il y a 65 millions d'années, qui a, en particulier, éliminé les dinosaures, a été provoquée, pour partie ou en totalité, par l'impact d'un objet d'une dizaine de km de diamètre.

En 1908, une grosse météorite a explosé au-dessus de la taïga sibérienne, dans la zone dite "Tunguska" et a détruit plus de 2000 km<sup>2</sup> de forêt. Plus récemment, le 17 février dernier, une météorite d'une quinzaine de m de diamètre a explosé à 20 km d'altitude à proximité de la ville de Tcheliabinsk dans l'Oural. Quoique 30 à

50 fois moins puissant que le précédent cet impact a fait néanmoins plus de 1200 blessés et a endommagé de nombreux immeubles.

Dans un avenir plus ou moins proche, de dangereuses collisions sont évidemment à craindre.

L'humanité a déjà les connaissances nécessaires pour développer les moyens de repérer, suivre, détourner et éventuellement détruire les impacteurs potentiels. Il est impossible de les improviser en quelques mois ou années. Il importe donc de créer un système de détection, d'alerte et d'intervention partiellement ou totalement basé dans l'espace.

#### \*\* Aspects économiques

Les astéroïdes contiennent, en quantités extrêmement importantes (illimitées à l'échelle humaine) des métaux essentiels à l'industrie. Certains d'entre eux sont des blocs pratiquement purs de fer et de nickel ; d'autres sont riches en métaux rares sur la Terre ; d'autres encore contiennent de la glace d'eau et de nombreux composés carbonés qui se révéleront indispensables pour développer une industrie dans l'espace.

Les coûts actuels de mise en orbite sont trop élevés pour une exploitation rentable. Dans l'avenir, au fur et à mesure du développement des installations implantées sur les astéroïdes, les coûts devraient être considérablement diminués.

Le tourisme spatial représente enfin une activité susceptible de se développer rapidement.

#### \*\* Aspects scientifiques

Les progrès à en attendre sont considérables et sans limite dans beaucoup de domaines.

### **4/ Bien plus qu'une nouvelle frontière, une nécessité vitale.**

Compte tenu de ces enjeux économiques et de sécurité, l'humanité peut et doit continuer à avancer au-delà de sa planète natale.

Ceci, est d'autant plus évident que, malgré les coûts apparemment très élevés des opérations, l'investissement total actuel dans les activités spatiales est ridiculement faible vis-à-vis des PIB, des budgets des États, des dépenses militaires, sans parler du montant mondial des fraudes de toutes sortes. Le budget 2012 de la NASA a été de l'ordre de 18 milliards de \$, auxquels il faut ajouter environ 8 milliards pour les utilisations militaires de l'espace. Comparés à cette somme, le budget total fédéral des USA de 2012 a été de 3796 milliards de \$ (dont 525 milliards de \$ de dépenses militaires), pour un PIB de 16 394 milliards de \$. Les américains dépensent 5 fois plus pour les produits cosmétiques que pour l'espace qui ne représente de 7/1000 du budget fédéral. Tant en valeurs absolues que relatives, les autres nations engagées dans l'aventure spatiale investissent encore beaucoup moins.

#### Pour l'instant, l'humanité ne se ruine pas vraiment pour aller regarder plus loin que la Terre.

Mais il faut voir, aujourd'hui, la réalité en face. La situation actuelle du monde ne pousse pas à l'optimisme au regard de l'avenir à moyen et long terme. Avec bientôt 10 milliards d'individus, des surfaces de terres cultivées qui ne peuvent plus beaucoup s'étendre, une biosphère dont l'exploitation pèse de plus en plus sur son fonctionnement propre, un système industriel qui utilise des ressources forcément limitées à terme, un ensemble humain qui désire à la fois plus de bien-être et de liberté, des nations poussées et souvent déchirées par des idéologies issues de rêves passésistes ou de souvenirs de grandeurs historiques, et en même temps dotées d'armements de plus en plus destructeurs, on peut légitimement craindre ce dont demain sera fait.

La course à la productivité poussant à la robotisation privera de nombreux individus de leur activité sans leur offrir d'autres alternatives, ce qui accroîtra encore les tensions. Les perspectives d'allongement de la durée de la vie, réservées à quelques-uns ou même généralisées, risquent de créer des fractures sociétales difficilement surmontables.

Au total, les crises sociales, économiques, environnementales, de sécurité, sur-amplifiées par l'inflation de l'information, poussent au pessimisme et au catastrophisme, ce qui d'ailleurs est favorable à de nombreux intérêts à court terme.

Les remèdes qui sont proposés au plus haut niveau, dans les États comme dans les organes et agences des Nations Unies ne paraissent guère convaincants. Les essais de gouvernance mondiale sur des points limités n'aboutissent pas ou sont détournés par des conflits d'intérêts ou des refus absolus de groupes ou de nations. L'idée même du développement durable habilement présentée comme l'idée miracle, puis imposée, et qui a acquis une bonne image auprès des opinions publiques, se révèle à l'analyse n'être qu'un oxymore.

Comment, en effet, peut-on imaginer un développement continu, sur une surface confinée, avec des ressources limitées avec, en parallèle, un capital de savoir et une capacité à réaliser qui s'accroît constamment?

Comment garder une biosphère active, diversifiée et en évolution, avec une planète qui se recouvre progressivement de champs, de jardins, de forêts d'agrément, d'aménagements de toutes sortes, de monuments historiques, de musées et de cimetières? Le recyclage ne sera jamais total, les dépollutions ne seront jamais complètes. Cela peut-il tenir plusieurs siècles, plusieurs millénaires ? A l'évidence non. Cela est-il compatible avec les besoins de nouveauté, de création, de liberté, qui renaissent à chaque génération ? Cela semble bien difficile. Les hommes seront-ils condamnés à s'évader ou tenter de s'accomplir dans les drogues ou les mondes virtuels ? C'est une perspective plutôt cauchemardesque.

Si la seule manière de se réaliser, pour les plus entreprenants, est d'aller chercher ce dont ils estiment avoir besoin chez le voisin, ou d'essayer de le soumettre à l'idéologie dans laquelle ils ont baigné depuis leur naissance, le risque d'explosion générale est évident, Pour éviter des désordres définitivement destructeurs, on ne voit guère qu'un totalitarisme mondial aussi absolu que brutal, et les modèles de société susceptibles de perdurer dans ces conditions ne sont guère attrayants. Divers auteurs en ont exploré les contours : Huxley dans "Le meilleur des mondes", Orwell dans "1984", Harrison dans "Soleil vert"...

Qui a envie d'essayer ?

Sauf à revenir à l'état d'équilibre "biosphérique" de nos ancêtres du paléolithique, ce que d'aucuns souhaitent parfois, même publiquement, l'exploration, la conquête, l'exploitation de l'Espace autour puis au-delà de la Terre et, plus tard, beaucoup plus loin, est probablement l'une des voies majeures qui permettront d'assurer l'avenir de l'humanité.

Mais, sur cette conclusion, il faut être clair. Il ne s'agit certainement pas d'envisager, encore moins de promettre, pour les deux ou trois prochains siècles, une migration massive de l'humanité hors de la Terre. La seule planète proche que l'on peut espérer pouvoir "Terraformer" est Mars et cette perspective n'est évidemment pas pour demain. L'Espace est d'abord un investissement fondamental pour l'avenir, dans les domaines de la sécurité, de l'économie, de la science et de la technologie, points développés ci-dessus. L'Espace est aussi et surtout un formidable potentiel de créativité, une réponse au désir d'accomplissement, d'aventure et de renouveau qui renaît à chaque génération et au besoin de liberté et de rêve, même si les peuples le vivent par procuration au travers des exploits de leurs astronautes.

## **5/ Poursuivre et accélérer l'exploitation de l'Espace**

Deux routes sont possibles. Elles ne sont d'ailleurs pas exclusives mais complémentaires et ont été exposées clairement dans un article récent de Xavier Pasco.

La première, qualifiée d'opportuniste, consiste à investir dans des projets bien focalisés à buts politiques (y compris de sécurité ou militaires), scientifiques, économiques, à rendement rapide en profitant des retombées éventuelles. C'est essentiellement ce qui a été fait jusqu'à présent, par exemple en matière de météorologie, de télécommunications et de géolocalisation. Les grandes structures économiques n'en sont pas modifiées et on peut anticiper les orientations qui en résultent.

La seconde, volontariste et beaucoup plus structurante, consiste à voir dans l'occupation et l'exploitation de l'Espace une des principales réponses aux problèmes de l'humanité.

Les programmes, très importants, car il faut changer l'échelle des investissements, débouchent sur des résultats massifs avec une forte probabilité de ruptures fondamentales en matière technologique, industrielle et même écologique et agroalimentaire comme on le verra plus loin. Au point **3/** les principaux domaines d'action en ont été développés.

Il est évident que ces transformations conduiront à une évolution profonde des sociétés dans le domaine des sciences ainsi que des techniques de communication ce qui aura des effets considérables pour tout ce qui concerne la culture en général mais aussi les croyances. L'image que l'humanité a d'elle-même, dans un référentiel commun, a déjà beaucoup évolué avec les connaissances nouvelles sur la Terre dans son système stellaire propre et dans l'univers. Elle changera beaucoup quand l'Espace voisin, puis de plus en plus lointain, sera à portée de sa main.

## **6/ Un processus envisageable**

Très approximativement, on peut esquisser quatre phases successives mais susceptibles de se chevaucher en s'étalant sur des décennies et même plus d'un siècle.

### \* Phase exploratoire (stade 6.1)

Il s'agira d'abord de poursuivre l'exploration de divers astéroïdes, de la Lune, et de Mars.

Les buts seront essentiellement scientifiques, éventuellement industriels (premières approches d'une prospection de l'hélium 3 sur la Lune et des ressources minérales des astéroïdes), et de défense (possibilité d'installation de stations de repérage lointain d'astéroïdes dangereux, essais de destruction ou de changement d'orbites d'astéroïdes).

Dans un deuxième temps, on se proposera de survoler Jupiter, peut-être Saturne, éventuellement de se poser sur certains de leurs satellites puis, de survoler Vénus et Mercure. Les durées seront plus longues et les conditions d'exposition de ces missions (rayonnement solaire, rayonnement cosmiques, ceintures de particules) nécessiteront des moyens de protection beaucoup plus élaborés.

Suivant la durée de la mission, les besoins biologiques pourront être assurés par l'extrapolation du savoir-faire actuel et l'utilisation d'écosystèmes les plus simples possibles.

### \* Phase de stations d'études, de prospection et de surveillance (stade 6.2)

Il s'agira essentiellement d'installations d'importance limitée sur la Lune, Mars, et quelques astéroïdes présentant un intérêt particulier. Elles serviront de base pour étendre l'exploration, pour établir des observatoires astronomiques ainsi que des stations de surveillance et d'alerte des astéroïdes potentiellement dangereux. La prospection minière systématique pourra commencer ainsi qu'un début d'exploitation industrielle. Les équipes seront plus nombreuses. Les temps de séjour pourront aller jusqu'à 10 ans.

Ces stations devront être très fortement robotisées. La relative proximité de la Terre permettra des rotations (médicales ou d'entretien) assez fréquentes.

### \* Phase d'exploitation de l'Espace (stade 6.3)

Elle pourra prendre les deux formes : industrielle et touristique. Il y aura aussi des bases dévolues à la défense (vaisseaux de destruction, de capture ou de détournement d'astéroïdes).

#### *\*\* Exploitation industrielle.*

Plusieurs axes pourraient être suivis :

- exploitation de matières premières, essentiellement métaux et éléments dont certains astéroïdes sont riches et transformation de ces matières premières,
- production d'énergie électrique dans l'espace circumterrestre et transfert sur la Terre par faisceau microondes.

#### *\*\* Exploitation touristique.*

Dans un premier temps, la destination sera l'espace circumterrestre proche. A plus long terme, la Lune et Mars pourraient abriter des centres de loisirs. L'imagination peut se donner libre cours quant à leur organisation. Au-delà du siècle, le système solaire contient suffisamment de merveilles pour attirer la curiosité de milliers de personnes.

\* Iles de l'espace et explorations au-delà du système solaire (stade 6.4)

Ce sont les Iles de O'Neill et les vaisseaux d'exploration interstellaire. Ils ont été abondamment décrits. Une esquisse très aboutie d'île spatiale, APOGEIOS, a été réalisée récemment par P. Marx et O. Boisard. Le lien matériel avec la Terre est largement distendu et, dans le cas des voyages vers d'autres systèmes, rompu. Dans le cas des îles, on peut encore reconstruire les écosystèmes avec du matériel biologique neuf et vierge. Lors d'un voyage vers un autre système, cela n'est plus possible.

## 7/ L'homme et ses écosystèmes dans l'Espace

A chaque fois qu'ils quitteront la Terre, les spationautes ne partiront pas seuls. Ils emmèneront avec eux leurs microbiotes et les écosystèmes nécessaires à leur vie.

\* Les besoins de base de l'homme dans l'espace

Ils sont bien connus. Il faut fournir de l'oxygène, de l'eau et de la nourriture et recycler les déchets (annexe 3). L'eau peut être recyclée par des procédés physico-chimiques simples si l'on dispose d'énergie en quantité suffisante. Dans les vols actuels, le CO<sub>2</sub> est fixé chimiquement, mais le poids devient vite excessif. Il peut aussi être séparé physiquement et rejeté, mais on perd l'oxygène et le carbone. La voie royale est évidemment la photosynthèse par des algues monocellulaires ou des végétaux supérieurs.

La matière organique des déchets est séparable sans difficulté et peut être oxydée soit directement chimiquement, soit dans un bioréacteur ou dans le sol artificiel d'une serre. Finalement cela redonne du CO<sub>2</sub>, de l'eau et de l'azote ainsi que des composés minéraux récupérables. Elle peut également être traitée par voie anaérobie.

Actuellement, dans la station spatiale internationale (ISS) comme lors d'un transfert lunaire, les déchets organiques sont rejetés avec de l'eau, ce qui est une perte acceptable. A grande distance de la Terre et pour des séjours plus longs, le recyclage biologique des déchets est très attractif. Pour des voyages de plus d'une année, c'est la seule solution.

\* Emmener ses écosystèmes : une obligation incontournable.

Ce ne seront pas quelques individus qui iront plus ou moins loin dans l'espace, mais des groupes humains accompagnés et environnés par leurs écosystèmes.

\*\* *Une première réalité, l'homme est déjà un écosystème en lui-même*

Chaque homme est un ensemble indissociable des bactéries qu'il porte sur lui et dans ses organes : son microbiote. Ces bactéries sont situées surtout dans l'intestin mais aussi dans la bouche, sur la peau, et à divers autres emplacements. La flore intestinale est absolument nécessaire au maintien d'une bonne santé.

\*\* *Les écosystèmes d'accompagnement les plus réduits*

Ils ont fait l'objet de nombreuses études. Ils comportent une série de compartiments dans lesquels les déchets sont successivement oxydés, dégradés, nitrifiés, puis servent de base à une transformation photosynthétique qui produit de l'oxygène et des nutriments. Les organismes photosynthétiseurs sont des algues monocellulaires (p. ex. du type Spiruline) et des végétaux supérieurs. A cette étape il faut disposer d'énergie lumineuse.

\*\* *Les serres spatiales simplifiées*

Pour les réaliser et les faire fonctionner de façon efficace, les points suivants sont essentiels :

- sélection de végétaux robustes et productifs qui permettent des apports nutritifs équilibrés puis constitution de réserves de semences et de plantules,
- au début, recours aux méthodes de culture aéro et hydroponiques puis à des sols artificiels. Le contrôle des bactéries du milieu racinaire est indispensable,
- contrôle des pathologies végétales. Ne seront utilisables que des végétaux indemnes de tout pathogène. Il en sera de même des sols artificiels,
- contrôle de l'eau et de la chimie des nutriments végétaux,
- les végétaux ont besoin d'eau, d'azote, de potassium, et de divers composés minéraux dont une part sera recyclée, une réserve étant, de toute façon nécessaire. Le milieu local pourra suivant les cas être une source utilisable,
- contrôle de l'atmosphère (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapeur d'eau, cycle de l'azote).

Les systèmes photosynthétiques devront être doublés par un équipement physicochimique pour le contrôle, la régulation et le secours. L'eau est disponible sur Mars et certains astéroïdes. Avec de l'énergie, on peut extraire de l'oxygène partout. Le cycle de l'azote pose un problème particulier.

Le bouclage avec le bioréacteur qui traitera les déchets organiques de l'équipage pourra se faire, là aussi, mais au prix d'un contrôle strict :

- Contrôles de l'illumination et de la température,
- protection contre les rayonnements ionisants. Le problème est important car il y a des risques vis-à-vis de la pérennité des cultures. L'utilisation de la réserve d'eau comme bouclier et l'enfouissement sont des solutions. Dans l'espace, on pourra utiliser des champs magnétiques (bobinages supraconducteurs),
- Compensation des pertes, limites du recyclage.

Certaines pertes pourront être compensées sur l'astre colonisé. Mais si on reste dans l'espace il faudra se munir de réserves suffisantes ou importer les éléments déficitaires. En principe un recyclage quasi-total des déchets (organiques et minéraux) est possible dans des bioréacteurs. En pratique, il ne sera jamais complet :

- nécessité d'une certaine intensité de la gravité,
- dans l'espace, une mise en rotation de la serre sera nécessaire pour recréer la gravité,
- fourniture en énergie.

Dans tous les cas, tous ces systèmes auront besoin d'une quantité importante d'énergie. Les puissances nécessaires se compteront en mégawatts. Des générateurs nucléaires compacts seront de toute façon nécessaires et, au-delà de la ceinture d'astéroïdes, les générateurs photovoltaïques seuls seront insuffisants.

#### *\*\* Les petites biosphères dans une zone relativement proche de la Terre*

Les biosphères "minimales" seront de "serres" abritant un nombre plus important d'espèces végétales et quelques espèces animales (insectes pollinisateurs, animaux producteurs de protéines).

Le système fonctionnant en isolement, les difficultés viendront, pour une part importante, des équilibres interspécifiques ainsi que du contrôle et de la stabilisation des microorganismes symbiotiques et de ceux des sols. Pour les animaux les mêmes précautions seront à prendre que pour les membres de l'équipage humain, ce qui n'est pas forcément simple. Il faudra également tenir compte des substances toxiques émises par les végétaux et certains microorganismes.

Certains des problèmes à résoudre, qui sont considérables, sont apparus durant l'expérience dite "Biosphère 2" mise en œuvre aux Etats Unis, il y a une vingtaine d'années, sur fonds privés (annexe 3).

"Biosphère 2" était une enceinte complètement étanche couvrant environ 1,3 hectares et offrant un volume d'environ 200 000 m<sup>3</sup> construite au début des années 1990. Huit biomes, regroupant plusieurs dizaines d'écosystèmes différents, continentaux, aquatiques et marins, avec divers types de sols, y ont été installés. Les deux expériences principales, menées jusqu'en 1995, ont mis en lumière des difficultés importantes et continues d'équilibre atmosphérique et d'équilibre écologique avec de fortes fluctuations des taux d'oxygène et de CO<sub>2</sub>. Ont été mis en cause des mauvais réglages de l'illumination et la perte totale du contrôle de l'activité microbienne des sols et des fumures entraînant une métabolisation beaucoup trop

rapide de l'humus. Il a fallu réguler la composition de l'atmosphère par des moyens physicochimiques massifs. Par ailleurs, malgré une construction réputée complètement étanche, il y a eu multiplication d'insectes indésirables.

La gestion de "Biosphère 2" a été reprise en 1995 par l'Université de Columbia, mais, avec le coût croissant de l'entretien, l'Université s'en est délogée. C'est l'Université d'Arizona qui a repris cette gestion, avec une aide d'Edward Bass, le milliardaire qui en avait été à l'origine.

Trois conclusions essentielles peuvent être dégagées de ces expériences :

- le recyclage des déchets organiques est réalisable par mécanismes naturels,
- la production d'aliments variés en quantité suffisante est possible,
- il est impératif et vital de contrôler la microbiologie en particulier celle des sols.

Les bases de cette expérience étaient plus idéologiques que scientifiques. Elle a montré que la mise en place d'un groupe stable d'écosystèmes naturels, par simple empilement, même avec une ingénierie performante en appui, était un pari quasiment impossible à gagner. Les spécialistes en écologie scientifique le savaient très bien, dès le début, raison pour laquelle la NASA n'avait pas voulu s'engager dans l'affaire.

#### *\*\* Les vraies biosphères indépendantes ou quasi indépendantes*

Avec la recherche de l'indépendance totale ou quasi-totale et de longue à très longue durée, la complexité du problème augmente vertigineusement.

Il ne semble pas y avoir, *a priori*, d'obstacle de principe à établir un méga système complètement isolé, suffisamment important et stable, avec un nombre limité d'espèces végétales et animales, assurant, sur le long terme, le recyclage des déchets, l'absorption du CO<sub>2</sub> et la production d'oxygène, la production de nourriture en quantité et en qualité et offrant un espace récréatif au groupe humain qu'il supporte.

Toutefois, les problèmes biologiques et écologiques sont d'une ampleur considérable. Toutes les contraintes et difficultés déjà citées s'ajoutent et se retrouvent, avec beaucoup plus de complexité. Il n'y a probablement pas d'impossibilité à concevoir de telles écosphères et à les construire pour durer plusieurs années et même plusieurs décennies.

Envisager des durées beaucoup plus longues, va au-delà des capacités actuelles. La littérature sur le sujet des écosystèmes isolés se limite essentiellement au cas des îles, qui restent évidemment incluses dans la biosphère terrestre. Dans ce cadre, beaucoup de travaux ont déjà été faits sur les capacités de résistance de tels groupes d'écosystèmes.

Mais le cas du confinement dans un espace limité, totalement isolé, tout en restant durable n'a, semble-t-il, que peu ou pas été abordé.

Il s'agit, là, d'un problème fondamental de stabilité et de pérennité. Au sein de la biosphère terrestre, la redondance est énorme. Elle se superpose à la capacité d'adaptation génétique des espèces. Dans un ensemble de taille réduite, ce phénomène ne joue pas. La seule solution consiste à maintenir artificiellement la constance du biotope. Il faut parallèlement disposer d'une réserve génétique suffisante capable de remplacer l'écosystème défaillant.

## **8/ Le parallèle entre la révolution néolithique et l'expansion spatiale**

Il y a de fortes analogies et même une similitude sur cinq points principaux.

### 8.1) Les petits écosystèmes contrôlés

C'est peut-être l'aspect le plus important. – Au Néolithique, apparaissent les premiers agroécosystèmes, avec un contrôle biologique déjà assuré et un début de contrôle physique d'abord par clôtures et, plus tard, par l'irrigation.

On assiste également à une extension régionale (et progressivement globale) des espèces domestiquées, avec tous les risques qui en découlent. C'est le début de l'indépendance alimentaire par rapport à la production naturelle de la biosphère. Avec l'agriculture viennent les premiers outils. – Au début de l'expansion spatiale, on crée des mini-écosystèmes simples, isolés complètement contrôlés aux plans biologique et physico-chimique ; à terme on recherchera des mini-systèmes auto-stables. Il en résultera une expansion au-delà de la planète de diverses espèces issues de la biosphère terrestre avec d'ailleurs des risques d'ensemencement

(essentiellement bactériens) de certaines zones non terrestres. Progressivement apparaît la possibilité d'une indépendance complète d'une certaine quantité de production alimentaire par rapport au biotope terrestre. Cette capacité de production agroalimentaire complètement déconnectée du milieu environnant, couvrant peu de surface, apparaît fascinante et peut se révéler extrêmement utile, dans l'avenir, sur la Terre.

#### 8.2) Naissance des villes et des structures sociales associées

Au Néolithique, la sédentarisation se généralise, les premières agglomérations se créent et les métiers spécialisés apparaissent. – au 21<sup>e</sup> siècle apparaissent les premières implantations hors de la Terre et de nouveaux métiers : robotique avancée, assemblage en apesanteur.

#### 8.3) Exploitation et utilisation de nouveaux matériaux et de nouveaux outils

Le Néolithique voit la naissance de la métallurgie avec le cuivre, puis le bronze et de tous les outils que ces métaux rendent possibles. Avec l'exploitation des richesses minérales des astéroïdes, c'est la disponibilité en abondance de métaux rares sur la Terre. C'est aussi une ressource massive et indéfinie de métaux courants comme le fer ou le nickel, permettant la naissance d'une métallurgie et d'une industrie métallurgique au-delà de la Terre.

#### 8.4) Naissance de nouveaux moyens de transport

Au Néolithique, la roue a facilité considérablement l'expansion humaine sur les continents ; les bateaux ont permis l'essaimage à l'échelle du globe. Au 20<sup>e</sup> siècle, l'aviation a révolutionné le transport planétaire des individus. Ses progrès ont conduit à la navigation spatiale, au moins dans un premier temps dans le système solaire.

#### 8.5) Nouveaux moyens de transmission de l'information

Au Néolithique l'écriture et la numération apparaissent. Aux 20<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> siècles c'est la révolution du numérique, de l'informatique et du virtuel.

Les analogies sont frappantes et le parallèle est fascinant. Le Néolithique a été le théâtre d'un changement complet de la structure de l'occupation humaine de la Terre. L'expansion de l'humanité dans l'Espace réserve probablement des modifications au moins aussi considérables de la société humaine.

Marx a dit "*L'histoire ne repasse pas les plats*". Toutefois, le fond de la nature humaine ne changeant guère, les mêmes causes ont quelques chances de produire des effets ayant des ressemblances, à la différence d'échelle près, évidemment.

Ces considérations paraissent de nature à susciter une analyse historique certainement fructueuse.

## Annexe 1

### Des moteurs pour aller plus vite, plus loin et à moindre coût

#### 1/ Décoller et atteindre l'orbite terrestre plus efficacement

Dans tous les cas, les impératifs environnementaux et la nécessité d'avoir de fortes poussées au départ, imposent le recours aux combustibles chimiques classiques. La navette spatiale américaine, entièrement propulsée par moteur fusée et malgré des performances remarquables s'est révélée pourtant trop coûteuse. L'idéal serait d'arriver à l'avion spatial capable de décoller d'une piste standard puis de se mettre sur orbite. Plusieurs concepts d'avions spatiaux sont en développement. L'un des plus connus est le "Skylon", concept britannique construit autour de son moteur "Sabre" capable de fonctionner au décollage et jusqu'à 30 km en turbo-stato atmosphérique et au-dessus en moteur fusée. Actuellement le prototype du moteur est en cours d'essai au sol.

Il y a beaucoup d'autres recherches dans ce domaine hautement stratégique. La baisse du coût de la mise sur orbite va se poursuivre.

## 2/ Des moteurs beaucoup plus performants pour l'espace

L'augmentation de rendement des moteurs fusées passe obligatoirement par l'augmentation de la vitesse d'éjection qui ne dépasse pas 4,5 km/s pour les meilleurs combustibles chimiques (hydrogène-oxygène). Une solution élégante consiste à accélérer la matière éjectée par des moyens électromagnétiques.

Les moteurs magnétoplasmiques éjectent à très grande vitesse des plasmas accélérés par des moyens électromagnétiques. Un bon exemple est le moteur "Vasimr". De l'hélium est chauffé par induction à 30 000°, ionisé, puis accéléré par des champs électromagnétiques et éjecté. Un prototype est en cours d'essais aux États-Unis. Les poussées obtenues sont encore faibles (500 newtons) mais le rendement par rapport aux moteurs classiques peut être multiplié jusqu'à 30 à 100 fois. Le potentiel d'augmentation de poussée est important.

Les moteurs ioniques éjectent des atomes de xénon ionisés fortement accélérés par des champs électriques. Alimentés par des panneaux solaires ils sont déjà d'un usage courant sur des sondes planétaires. Plus faciles à construire et plus légers que les précédents, ils ont toutefois des poussées beaucoup plus faibles.

Un autre type de moteur utilisant la fusion thermonucléaire pulsée est à l'étude. Il fournirait des poussées beaucoup plus fortes mais avec un rendement un peu moins bon. Les difficultés technologiques sont importantes.

## 3/ Des moyens économiques pour exporter des matériaux depuis la Lune ou des astéroïdes

La catapulte électromagnétique (*rail gun*) représente une solution particulièrement intéressante. A noter que ce genre d'installation pourrait servir de moteur pour modifier sensiblement l'orbite d'objets n'ayant pas une masse trop importante.

## Annexe 2

### Dangers et richesses des astéroïdes

#### 1/ Le danger

C'est la menace des impacts. Au-delà du risque de destruction planétaire du type de celui de la fin du crétacé, quelques impacts récents ont eu des effets locaux marqués.

##### 1.1) Le Meteor Crater

Ce cratère, de 1220 m de diamètre, est situé en Arizona (USA) au Nord-Est de Phoenix. Il remonterait à 24 000 ans. Il a été créé par l'impact d'une sidérite (météorite ferreuse assez dense) d'un diamètre de 30 à 40 m qui a dû dégager une énergie de l'ordre de 5 à  $10 \times 10^{16}$  joules équivalente à une explosion thermonucléaire de 10 à 20 Mégatonnes.

**1.2) Le cratère de Kōfels** est situé dans le Tyrol autrichien à 60 km au sud-ouest d'Innsbruck près de la vallée de l'Otztal. Il a 5 km de diamètre mais est difficile à identifier. Il est le résultat de l'impact d'un objet de 200 à 250 m de diamètre qui a dû dégager une énergie de l'ordre de 5 à  $8 \times 10^{18}$  joules (soit une explosion thermonucléaire de 200 MT). La catastrophe date de 8 500 ans et a certainement eu des effets régionaux importants.

**1.3) L'explosion de la Tunguska**, du 30 juin 1908, en Sibérie centrale. Le phénomène s'est produit au-dessus d'une zone déserte, boisée et marécageuse de la taïga, à 60 km au nord de la petite ville de Vanavara, à 800 km au nord-ouest du Lac Baïkal.

L'explosion apparemment multiple, engendra une lueur aveuglante et une sorte de "fontaine de feu" qui furent perçues jusqu'à plus de 600 km ainsi qu'un bruit très sourd.

L'onde sismique fut ressentie et enregistrée à Irkoutsk à près de 900 km et fut également enregistrée en Allemagne. À Vanavara, les bâtiments endommagés et les récoltes subirent des dégâts. Pourtant il ne semble pas que les autorités aient eu connaissance de victimes.

La forêt sibérienne fut complètement dévastée sur une zone circulaire de 2200 km<sup>2</sup> environ, les arbres arrachés et dépouillés de leurs feuilles étant couchés suivant des directions rayonnantes autour du centre de l'explosion. Dans la partie centrale de la zone le phénomène a créé une dépression de quelques km<sup>2</sup> qui s'est progressivement transformée en un lac et un marécage.

L'explosion a eu lieu à une altitude relativement basse : 10 km. L'énergie dégagée se situe autour de 12 MT. La trajectoire était rasante, ce qui explique le freinage et l'explosion atmosphérique. On admet que la masse de l'objet était de l'ordre de 500 000 t, pour un diamètre de l'ordre de 60 m. La vitesse d'entrée dans l'atmosphère aurait été de 30 km/s.

La catastrophe de la Tunguska est très intéressante car elle a été suivie par de nombreux témoins et a fait l'objet d'études très sérieuses. Par ailleurs elle a dégagé une énergie importante, qui aurait pu détruire une grande ville. La période de retour d'un impact de cette ampleur est de l'ordre de 100 à 300 ans.

**1.4) L'impact de Sikhote-Alin** s'est produit le 12 février 1947 à 10h 38 dans une région boisée de la Sibérie orientale. L'objet était une sidérite dont la masse devait être de l'ordre d'un millier de tonnes, pour un diamètre de 6 à 7 m qui a pénétré dans l'atmosphère terrestre avec une vitesse de l'ordre de 15 km/s avant d'exploser. Au sol il y a eu plus de cent petits cratères de 0,5 à 26 m de diamètre sur une zone de 2 km<sup>2</sup>. Au centre de la zone d'impact, les arbres étaient déchiquetés et mitraillés par les éclats.

**1.5) L'impact de Bodaibo** Un autre objet a percuté la Terre, plus récemment, toujours en Sibérie orientale, le 24 septembre 2002 à 16h48, dans une zone totalement inhabitée. Il s'agit d'un météorite de plus d'une dizaine de mètres de diamètre. L'énergie dégagée était d'environ 200 kt soit 10 fois la puissance de la bombe d'Hiroshima. Il y a eu formation d'un cratère et plusieurs km<sup>2</sup> de forêt ont été détruits.

**1.6) L'impact le plus récent** est celui qui est survenu en Russie, près de Tcheliabinsk dans le sud de l'Oural. La météorite, d'une quinzaine de mètres de diamètre est arrivée suivant une trajectoire rasante et a explosé en trois fois à une vingtaine de km d'altitude. Les dégâts dans la ville ont été essentiellement provoqués par l'onde de choc supersonique dans l'atmosphère. Les 1200 blessés recensés ont été frappés par des chutes de matériaux et les débris de verre des immeubles endommagés ou partiellement détruits.

**1.7) Les impacts planétaires ne sont pas rares.** En juillet 1994, 25 ans très exactement après le premier débarquement lunaire, la comète SL-9 s'est disloquée puis est entrée en collision avec la planète Jupiter, engendrant une douzaine de monstrueuses explosions qui ont pu être très bien observées. La comète C:2013 A-1, récemment détectée, passera dans une zone proche de Mars, à moins de 100 000 km, le 19 octobre 2014, avec toutefois une probabilité d'impact très faible.

Il est absolument certain que, dans le futur, un astéroïde plus ou moins gros sera sur une trajectoire de collision avec la Terre. Il faut évidemment développer les méthodes de détection, de destruction et de déviation afin de prévoir ce risque suffisamment tôt et de l'écarter. L'humanité a dès maintenant le savoir-faire scientifique pour y parvenir. Il serait absurde et criminel de ne pas y travailler. Mais il reste beaucoup à faire pour être prêt.

## 2/ La richesse des astéroïdes

### \* Les métaux

\*\* *le fer et le nickel.* On estime que 10% des météorites sont des sidérites formées essentiellement de fer et de nickel. Elles proviennent d'astéroïdes suffisamment gros pour avoir un noyau métallique. Ces astéroïdes ont été par la suite cassés en morceaux plus petits par des collisions. Les teneurs en nickel varient de 6 à 16%.

### \*\* *Les métaux rares*

Un certain nombre de métaux rares se trouvent liés en quantité importantes au fer des sidérites.

– Le platine et la famille du platine : ruthénium, rhodium, palladium, osmium, iridium, rhénium. Ces métaux sont des catalyseurs très puissants indispensables dans diverses applications (pots catalytiques, piles à combustibles, industrie chimique). Ils ont des propriétés intéressantes : inertie chimique, point de fusion élevé, résistance mécanique.

– Le lanthane et la famille des lanthanides, en particulier le néodyme, indispensables dans l'industrie électrique et électronique (aimants de forte puissance, composants pour les accumulateurs). L'intérêt économique pour ces métaux est tel que des compagnies privées ont déjà établi des accords et des projets pour les exploiter.

Ces ressources minières considérables pourront être progressivement exploitées grâce à des procédés industriels nouveaux fonctionnant dans l'espace ou sur les gros astéroïdes.

Les conditions spatiales offrent quelques avantages particulièrement intéressants : pesanteur faible ou nulle donc structures très simplifiées, facilités pour se débarrasser des déchets, énergie solaire facile à capter sous forme thermique (au niveau de l'orbite de la Terre, 1300 mégawatts avec un miroir de 1km<sup>2</sup>, ou électrique, 200 mégawatts avec 1km<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques). Elles impliquent un développement très poussé de méthodes de fabrication robotisées.

*\*\*Des éléments et composés légers*

Certains astéroïdes qui sont d'anciens noyaux cométaires, contiennent des quantités importantes de composés légers sous forme gelée : eau, gaz carbonique, méthane et même diverses molécules organiques exploitables ce qui éviterait de les faire venir de la Terre.

\* Des ressources énergétiques

Une autre ressource minière pourrait présenter de l'intérêt : l'exploitation de l'hélium 3 (combustible de choix pour la fusion thermonucléaire) qui est présent, en quantité importante, à la surface de la Lune, piégé dans les grains du régolithe.

Parallèlement, l'exploitation directe du rayonnement solaire en orbite terrestre, par voie photoélectrique, et le renvoi de l'énergie vers le sol par faisceau microondes de puissance est une perspective déjà étudiée depuis plusieurs décennies (P. Glaser, 1968). Les avantages sont considérables : source inépuisable sans production de déchets, excellents rendements à l'émission et à la réception, technique parfaitement maîtrisée sur Terre, fonctionnement indépendant des conditions météorologiques.

### Annexe 3

#### Les écosystèmes permettant la survie dans l'espace

##### 1) Des systèmes de survie, de traitement et de recyclage de plus en plus importants et élaborés

Au-delà de la Lune et peut-être dès les premiers voyages vers Mars, les vaisseaux d'exploration devront être équipés de réacteurs nucléaires capables de produire une forte puissance électrique pour alimenter à la fois la propulsion et les systèmes annexes.

Les stades de références ci-dessous correspondent à ceux décrits en 6 dans le texte.

**Au stade 6.1**, l'utilisation d'écosystèmes très simples pourrait suffire.

**Au stade 6.2**, le recyclage biologique total des déchets et un niveau de production végétale relativement important deviennent indispensables. La production de nourriture à partir d'algues monocellulaires, de levures et de végétaux supérieurs cultivés en serre assurera une part plus ou moins importante des besoins des équipages. La protection contre le rayonnement solaire (UV et surtout particules du vent solaire) ainsi que cosmique nécessitera probablement l'enfouissement ou la protection des installations qui devront être éclairées artificiellement. Dans l'espace la protection pourra probablement être assurée par la création d'un champ magnétique suffisamment vaste et intense.

Les écosystèmes devront rester très simples, strictement contrôlés donc fortement contraints et renforcés par des systèmes de secours physico chimiques.

**Au stade 6.3**, les écosystèmes associés devront être beaucoup plus importants, mais aussi plus complexes. A côté des végétaux, la présence d'animaux sera certainement nécessaire à la fois pour des raisons alimentaires et psychologiques. Les aspects médicaux mais aussi vétérinaires deviennent prépondérants. Le point commun à ces trois premières phases est le lien maintenu avec la planète mère. Le flux d'équipements, de pièces détachées et de matières premières non disponibles localement est assuré. Les écosystèmes peuvent être réalimentés en espèces et variétés vierges ou nouvelles. Les cas médicaux graves peuvent être rapatriés.

**Au stade 6.4**, le lien avec la Terre sera très affaibli et même rompu. Les écosystèmes devront être extrêmement robustes, ce qui ne signifie pas qu'ils devront être compliqués. Ils seront massifs et prendront forcément une place considérable ; ils devront faire l'objet d'une surveillance et d'un contrôle très stricts.

Le problème des pertes et fuites prendra beaucoup d'importance. Il faudra compenser les pertes d'eau, de CO<sub>2</sub>, d'oxygène et d'azote. Le CO<sub>2</sub> ne devra surtout plus être considéré comme un polluant mais comme un élément fondamental de la vie végétale et du cycle du carbone.

Dans le Système solaire, ces pertes sont compensables. Entre les étoiles il faudra tout emporter.

## 2) Rappel des besoins de l'homme dans l'espace

### *2.1 Besoins de base.*

Il faut par personne, dans l'espace, fournir chaque jour 0,8 kg d'oxygène, 23,4 kg d'eau et 0,7 kg (en sec) de nourriture. Il faut parallèlement traiter ou recycler 1kg de CO<sub>2</sub>, 23,7 l d'eau, et 0,2 kg (en sec) de matières solides (provenant des urines, fèces, eaux de lavage) composées pour 2/3 de substances organiques et pour 1/3 d'éléments minéraux.

### *2.2 Le microbiote*

La flore intestinale devra être strictement contrôlée, en continu, pour les spationautes au long cours. L'alimentation et les probiotiques y jouent un rôle essentiel. Une bonne flore buccale est un élément protecteur important. La flore de la peau est à l'origine des odeurs corporelles ainsi que des salissures sur les vêtements. Son contrôle strict sera tout aussi indispensable.

La vie en commun en milieu isolé d'un groupe d'êtres humains entraînera des modifications de ces microbiotes et pourrait amener des états pathogènes inacceptables.

Cette vision "écosystémique" de l'homme qui recouvre totalement l'aspect médical a déjà été étudiée sous un angle purement clinique dans le cadre des séjours prolongés dans l'ISS.

### *2.3 Les écosystèmes les plus simples*

Ils sont constitués d'une série de modules ayant chacun une fonction biochimique précise :

- \* un module d'oxydation liquéfacteur, qui transforme les déchets en eau, dioxyde de carbone, acides gras volatils et ammoniacque,
- \* un module photo hétérotrophe, qui transforme les acides gras volatils et une partie de l'ammoniacque en biomasse consommable,
- \* un module nitrificateur, qui permet au besoin de transformer une partie de l'ammoniacque en nitrate,
- \* le module photoautotrophe, qui reproduit la nourriture et l'oxygène à partir de dioxyde de carbone, d'eau et de minéraux,
- \* des modules supplémentaires abritant des serres pour plantes supérieures permettant d'équilibrer la ration alimentaire ainsi que des bioréacteurs contenant des micro-organisme photosynthétiques (*Spirulina*) pour la régénération rapide de l'atmosphère et la production de nutriments. Cette étape photosynthétique, de même que l'étape photohétérotrophe, nécessite d'avoir recours à de l'énergie lumineuse, solaire ou artificielle.

### *2.4 Les serres spatiales*

#### \* Choix des végétaux

Il faudra des espèces robustes, productives, peu sensibles aux stress, permettant des apports nutritifs aussi larges que possible : céréales (blé, riz, maïs, sorgho) et protéagineux (soja, lin, colza), ainsi que des légumineuses (haricots, lentilles) et des pommes de terre. Faudra-t-il produire des semences ? Pour les séjours courts, il sera probablement plus sûr et plus économique d'en emporter une réserve. Une quantité minimale de graines et de plantules vierges est nécessaire pour permettre un redémarrage en cas de catastrophe.

#### \* Support racinaire

Au début, les cultures aéro et hydroponiques pures ou à sol artificiel simplifié seront probablement les seules à pouvoir être utilisées car elles permettent un contrôle complet de la flore bactérienne du support.

Dans un premier temps il sera possible de recueillir les débris végétaux non utilisés et de les recycler dans des bioréacteurs analogues à ceux traitant les déchets de l'équipage.

Dans des installations fixes et plus grandes (Lune, Mars, astéroïdes, stations) il faudra des "serres" avec sol artificiel comportant un pourcentage de substances végétales décomposées avec une population microbienne sélectionnée, étroitement contrôlée au départ mais surtout, suivie avec beaucoup d'attention par la suite.

\* Contrôle biologique

Un contrôle biologique strict doit permettre de développer un ensemble de végétaux indemnes de parasites, champignons et bactéries. On sait maintenant produire des souches totalement sans virus. Le sol (artificiel) ou les milieux hydroponiques devront, de leur côté être entièrement vierges de toute contamination.

\* Contrôle de l'eau et de la chimie des nutriments végétaux et de l'atmosphère

Les végétaux ont besoin d'azote, de potassium, et de divers minéraux, Une part pourra être recyclée, mais, au-delà de la charge de départ, il faudra disposer d'une réserve. Pour les installations fixes on pourra sans doute en extraire du milieu local. L'azote qui fonctionne en partie en phase gazeuse sera sujet à des pertes et devra être suivi en continu.

On peut emmener l'azote commodément sous forme de nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) qui est immédiatement utilisable par les végétaux. Un cycle biologique complet est envisageable, mais au prix d'une forte complication, en utilisant des légumineuses à bactéries symbiotiques fixatrices. Il serait sans doute difficile à réguler et nécessiterait de toute façon une serre d'assez grande dimension.

Un double système biologique du cycle carbone oxygène par bioréacteur à spirulines (ou autres algues monocellulaires) et par serre à plantes supérieures est souhaitable.

Le tout devra être sur-contrôlé par une régulation physico chimique permettant d'injecter, si nécessaire, de l'oxygène et de soustraire du  $\text{CO}_2$ . Les réserves d'oxygène devront permettre de survivre aux incidents et pannes. Avec de l'énergie en quantité suffisante, l'oxygène peut être extrait des roches lunaires (ou des astéroïdes) et de l'eau. Les pertes en eau pourront être aisément comblées sur Mars ou certains astéroïdes. Dans l'espace, il faudra en emmener une quantité suffisante mais cette eau pourra servir de bouclier antiradiation.

\* Contrôle de l'illumination et de la température

Le rythme de l'illumination et son intensité sont essentiels. L'intensité et la durée des alternances dépendent du niveau de développement des plantes et doivent être corrélées avec la régulation de la température. Qu'elle soit naturelle (par le soleil) ou artificielle, l'illumination importe dans la serre une certaine quantité de chaleur qu'il faut évacuer.

\* Sensibilité aux rayonnements

Ce problème n'est pas simple. Bien que moins sensibles en moyenne que les animaux et surtout les vertébrés supérieurs, les végétaux ne peuvent pas supporter impunément, sur le long terme, les poussées de rayonnement provenant des éruptions solaires et du rayonnement cosmique (essentiellement des protons fortement accélérés). La protection de la serre par la réserve d'eau, dans l'espace, ou par un enfouissement à la surface d'un astre sera nécessaire, mais représente un élément évident de complication, surtout si l'on désire une illumination naturelle par le Soleil.

Dans l'espace, la déviation des particules par des champs magnétiques suffisamment puissants sera peut-être la meilleure solution (recours à des bobines supraconductrices).

\* Compensation des pertes

Si l'on reste à demeure dans l'espace, les pertes ne peuvent être compensées que par des réserves ; il faut évidemment tout faire pour les minimiser. Sur la Lune et les astéroïdes, avec de l'énergie en quantité suffisante, il y a possibilité de compenser les pertes en oxygène, en minéraux (pas tous) et peut être en eau. Sur Mars, la plupart des éléments indispensables sont présents et récupérables.

\* Limites du recyclage et bouclage avec les bioréacteurs détruisant les déchets

En principe un recyclage quasi-total des déchets est possible. En pratique, le rendement ne sera jamais de 1. Pour des voyages et séjours de courte et moyenne durée, il y a un optimum à trouver entre la masse des équipements de recyclage et la masse des réserves. Par ailleurs il s'avérera probablement nécessaire d'isoler complètement les sols des serres de la population microbienne des bioréacteurs et même des microbiotes de

l'équipage et des animaux embarqués. La stérilisation des déchets organiques traités avant incorporation dans ces sols sera sans doute indispensable.

\* Nécessité d'une certaine intensité de la gravité

Pour avoir un développement normal des végétaux et un fonctionnement correct des bioréacteurs une intensité minimale de pesanteur est nécessaire à la fois pour des raisons biologiques et des raisons physiques (séparation des phases). Dans l'espace, une mise en rotation de la serre sera indispensable pour créer l'accélération désirée. Elle sera également nécessaire pour le maintien en bonnes conditions de l'équipage.

\* Fourniture en énergie.

Dans tous les cas, tous ces systèmes auront besoin d'une quantité importante d'énergie. Dans l'espace, il faudra concevoir les générateurs du vaisseau en conséquence. Sur la Lune ou sur Mars, l'idéal serait de disposer de plusieurs générateurs nucléaires compacts (deux au minimum) et de panneaux solaires. On sait d'ores et déjà construire des réacteurs de petite taille très puissants et fiables (sous-marins). Les générateurs de puissance actuels utilisent des turbines à vapeur et des alternateurs donc des appareils mécaniques. Il faudra les concevoir quasiment sans entretien sur au moins une décennie ce qui n'est pas hors de portée. Dans l'espace, la question du radiateur pour la source froide n'est pas triviale.

### 3) Les petites biosphères dans une zone relativement proche de la Terre

*\* Les biosphères "minimales".*

On les imaginera comme des "serres" suffisamment grandes pour abriter plusieurs centaines d'espèces végétales et quelques espèces animales (insectes pollinisateurs, animaux d'agrément et producteurs d'aliments). Le problème à résoudre se complique beaucoup car, au fur et à mesure que la taille et le nombre d'espèces augmente, l'ensemble tend à fonctionner comme un vrai écosystème terrestre sans avoir la faculté d'équilibrage et de régénération possible sur Terre. Le principal obstacle vient de la difficulté à maîtriser l'activité des microorganismes des sols. En ce qui concerne les animaux (en particulier si l'on veut une production minimale de produits tels que viande, lait œufs, etc.), et pour chaque groupe d'une espèce déterminée, les mêmes précautions seront à prendre que pour les membres de l'équipage humain. Rappelons qu'en ce qui concerne les ruminants, et de nombreux rongeurs comme le lapin, la flore du tractus digestif joue un rôle fondamental dans la digestion de la cellulose. Les caprins sont des animaux intéressants par leur faible masse, leur productivité et leur rusticité. Mais contrôler le fonctionnement de la flore digestive d'un élevage de chèvres ou de lapins ne sera pas forcément une activité aisée. Les difficultés à surmonter, qui sont considérables, ont été bien mises en évidence par l'expérience "Biosphere 2" aux États-Unis, il y a une vingtaine d'années.

*\* L'expérience Biosphère 2*

Il s'agit d'un site expérimental construit pour reproduire un système écologique artificiel clos. Elle a été construite entre 1987 et 1989 par un riche mécène, John Allen, dans le désert de l'Arizona. Cette structure avait pour but de tenter de recréer un écosystème viable à l'intérieur d'une très grande enceinte fermée. Il avait, entre autres objectifs, d'évaluer la faisabilité de mini-biosphères analogues lors de la colonisation spatiale.

La mise de fonds nécessaire, évaluée à 200.000.000 \$, a été entièrement privée (mécénat de E. Boss).



Deux expériences, respectivement de 2 ans et de 6 mois ont été menées dans l'enceinte avec des groupes de 8 scientifiques entre 1991 et 1994.

En 1995, la gestion de Biosphère 2 a été confiée à l'Université de Columbia. Depuis 1996, plus de 1200 étudiants ont passé un an dans ce centre (2003). Le site dispose d'un hôtel et d'un centre de conférences. Mais maintenant, du fait du coût croissant de la maintenance et des difficultés scientifiques, l'Université s'en est délogée. A ce jour, la zone a été reprise par l'Université d'Arizona et remise en état de fonctionner grâce à un don de son créateur par le biais de la Philecology Foundation.

L'installation couvre un peu moins de 2 hectares et occupe un volume d'environ 200 000 m<sup>3</sup>. Huit biomes différents, continentaux, aquatiques et marins, avec divers types de sols, y ont été installés. Une machinerie complexe et importante assurait pour chaque écosystème un environnement climatique convenable. L'étanchéité a été réalisée de façon remarquable (10% de fuites atmosphériques par an).

L'autarcie alimentaire des chercheurs a été assurée par des cultures vivrières (80 espèces) en particulier le riz, le soja, la banane et la pomme de terre. L'élevage a été représenté par des chèvres et des poulets. La production autonome a couvert 80% des besoins alimentaires.

Les deux expériences ont été mises en difficulté par des problèmes d'équilibre atmosphérique et d'équilibre écologique, le tout aggravé par des problèmes psychologiques entre membres de l'équipe. La teneur en oxygène a baissé à certains moments de façon alarmante et les taux de CO<sub>2</sub> ont fluctué de façon rapide et importante. La photosynthèse semble avoir été insuffisante, peut-être parce qu'il y a eu de longues périodes avec des éclairages apparemment trop faibles. Par ailleurs, les sols (naturels) de la serre, en particulier ceux de la forêt tropicale contenaient trop d'humus et leur flore microbienne n'avait évidemment pas été contrôlée. Le carbone de l'humus a été métabolisé plus vite que prévu ce qui a consommé de l'oxygène et dégagé du CO<sub>2</sub>. Il a fallu injecter de l'oxygène en cours d'expérience. Par ailleurs, à certains moments, des dispositifs absorbants de CO<sub>2</sub> ont dû être introduits dans l'enceinte.

Ces fluctuations de la composition de l'air ont entraîné la mort d'une partie de la faune (essentiellement des vertébrés). En parallèle, divers insectes nuisibles en particulier des fourmis et des blattes ont réussi à s'introduire dans la serre et à se multiplier en abondance.

### *Que penser de Biosphère 2 ?*

L'expérience a été lancée dès le début par un groupe plus orienté par des principes idéologiques que par la rigueur scientifique. Le *credo* qu'un ensemble suffisamment important d'écosystèmes naturels, déjà complexes en eux-mêmes, trouverait automatiquement son équilibre n'était pas une garantie de succès.

L'ensemble était composé de beaucoup trop d'éléments non contrôlés. Il était certain, dès le départ, que le système serait instable et risquerait de diverger.

Toutefois, malgré cet échec, l'expérience a apporté beaucoup d'enseignements :

- il est plus facile de maintenir l'équilibre atmosphérique avec des systèmes très simples combinant des végétaux supérieurs et des algues monocellulaires ; le recyclage naturel complet des déchets organiques humains et animaux est réalisable ; la production d'aliments variés en quantité suffisante est possible ; il est impératif et vital de contrôler la microbiologie en particulier celle des sols ; il ne faut introduire qu'une quantité très limitée d'espèces animales et ne pas chercher, dans un premier temps à réaliser des équilibres proies/prédateurs ; un système ou plusieurs systèmes d'ingénierie physico-chimique de secours doit être prêt à prendre le relai en cas de mauvais fonctionnement de la serre.

#### 4) Les vraies mini-biosphères indépendantes ou quasi-indépendantes

Si l'on recherche l'indépendance totale ou quasi-totale et de longue à très longue durée, la difficulté du problème augmente vertigineusement. Certes, il ne semble pas y avoir, *a priori*, d'obstacle de principe à établir un mégasystème écologique suffisamment important et stable, comportant un nombre limité d'espèces végétales et animales, visant à assurer sur le long terme le recyclage des déchets, l'équilibre CO<sub>2</sub>/oxygène, la production de nourriture et à offrir en même temps un milieu récréatif. Toutefois, le problème biologique et écologique est considérable, gigantesque même. Toutes les contraintes et difficultés que nous avons vues s'ajoutent et se retrouvent, avec plusieurs degrés de complexité en plus.

Il apparaît nécessaire, de toute façon, et à toutes les étapes de :

- disposer de beaucoup d'énergie,
- assurer une gravité suffisante,
- se protéger des rayonnements ionisants du Soleil et du ciel profond,
- rendre biologiquement indépendants les bioréacteurs traitant les déchets et les sols des serres, par des stérilisations intermédiaires,
- disposer d'une réserve suffisante de matières premières,
- disposer d'une réserve génétique végétale et animale suffisante,
- disposer d'un système de réparation et d'entretien d'une efficacité quasi-totale,
- avoir un système de contrôle de l'ingénierie et de la biologie d'une efficacité également quasi-totale.

Il n'apparaît pas impossible de concevoir de telles petits écosphères et de les construire pour durer sur des périodes de plusieurs années à plusieurs décennies. Envisager des durées plus longues voire indéfinies va au-delà des capacités de prévisions actuelles. La littérature sur ce sujet proprement dit est très maigre et reste générale.

Établir de tels ensembles écologiques est un problème très difficile qui ne pourra être résolu que par un effort considérable de recherche, dont la solution s'élaborera progressivement, étapes par étapes. Ce travail demandera beaucoup de temps, des moyens financiers et intellectuels très importants et surtout de nombreuses expérimentations.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BOTTERO J., sep 1997. – *Mésopotamie : L'écriture, La Raison et les Dieux*, Folio/histoire, 560p.
- (2) DEMOULE J.P., mar. 2010. – *La Révolution Néolithique dans le Monde*, éditions CNRS alpha, collectif Inrap/Universcience, 488 p.
- (3) DUPAS A., avril 2010. – *La Nouvelle Conquête Spatiale*, Odile Jacob, 338 p.
- (4) DUPAS A., mars 2011. – *Demain nous vivrons tous dans l'espace*, Robert Laffont, 180 p.
- (5) DUNGLAS J., fév. 2005. – *Risques liés aux impacts de météorites, d'astéroïdes et de comètes*, rapport interne AFPCN et Min. de l'Environnement.
- (6) DUNGLAS J., mai 2007. – *L'homme et ses écosystèmes dans l'Espace*, Atelier Futur de l'Espace - Prospective 2100.
- (7) DUNGLAS J., oct. 2005. – *Typologie des aléas et connaissance scientifique de la vulnérabilité*, Annales des Mines – Responsabilité et Environnement, Les Catastrophes naturelles, n° 40, pp. 91-101.
- (8) ECL/ESA, 2001. – *Les Ecosystèmes clos artificiels, maintien en vie du cosmonaute dans l'Espace*, <http://ecls.esa.int/ecls/attachments/MELISSA-Phase5/education/ecosystemes.pdf>
- (9) GLASER P., 1997. – *Solar Power Satellites : A Space Energy System for Earth*, Wiley-Praxis Series in Space Science and Technology, dec., 694 p.
- (10) HARRISSON H., juin 1988. – *Soleil Vert, (Make Room ! Make Room ed. orig. 1966)*, Pocket n° 5295, 192 p.
- (11) HUXLEY A., oct. 2002. – *Le Meilleur des mondes (Brave New World, ed. orig. 1931)* ed. Pocket n° 1438, 284 p.
- (12) KRAMER S. N., oct. 1993. – *L'Histoire commence à Sumer*, Flammarion Champs, 316 p.
- (13) LEBEAU A., 1986. – *L'Espace en héritage*, Odile Jacob, 441 p.
- (14) LONG K.F., nov. 2011. – *Deep Space Propulsion : A Roadmap to Interstellar Flight*, Springer, , 388 p.
- (15) LUMINET J. P., oct. 2012. – *Astéroïdes : La Terre en Danger*, Le Cherche-Midi, 262 p.
- (16) MALLOVE E. & MATLOFF G. *The Starflight Handbook*, Wiley Science Editions, 1989, 274 p.
- (17) MARX P., 2011. – *Un jour nous partirons*, Espace Objectif Futur, Aérofrance Rev. des Pionniers de l'Avenir, n° 119, pp. 40-43.
- (18) MARX P., 26-28 mai 2009. – *Conception d'un vaisseau interstellaire*, colloque CNES/ESA Space Transportation to New Frontier, Abbaye des Vaux de Cernay.
- (19) MARX P. & BOISARD O., 2011. – *APOGEIOS, Un Concept de ville spatiale*, Archipel, 2011, [http://www.e-archipel.net/Apogeiios\\_1.html](http://www.e-archipel.net/Apogeiios_1.html)
- (20) MILLER F. P., oct.2010. – *Colonisation des astéroïdes : astéroïdes, exploitation minière des astéroïdes, colonisation de l'espace, Système solaire*, Alphascript Publishing, 96 p.
- (21) PASCO X., 4<sup>e</sup> trim. 2011. – *Opportunisme ou volontarisme*, Espace Objectif Futur, Aérofrance Rev. des Pionniers de l'Avenir, n° 119, pp. 20-24.
- (22) REACTION ENGINES Ltd, *Space Access / Skylon Spaceplane–Technical*, [http://www.reactionengines.co.uk/space\\_access.html](http://www.reactionengines.co.uk/space_access.html)
- (23) WIKIPEDIA, *VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket)*.
- (24) <http://fr.wikipedia.org/wiki/VASIMR>
- (25) WHEELER R., may 2006. – *Horticulture on Mars - The 2006 David Robinson Memorial Lecture*, Kildalton Agricultural and Horticultural College, Pittown Ireland.
- (26) WHEELER R., 2011. – *Plants for Life Support : From Myers to Mars*, NASA Surface Systems Office, mail Code NE-S, Kennedy Space Center, FL, 32899 USA.

## DISCUSSION

**B. Saugier**<sup>1</sup>. – Ma remarque concerne la possibilité de créer sur Mars une atmosphère respirable d'ici quelques millénaires, en profitant des réserves d'eau (glace) du sous-sol, comme cela a été envisagé dans plusieurs publications.

Ma question concerne la conquête de l'espace qui est actuellement un peu au point mort en ce qui concerne les vols habités. Le grand moment a été le programme Apollo qui était stimulé par la guerre froide entre les USA et l'URSS. Qu'est-ce qui pourrait bien relancer cette conquête, à part la curiosité des chercheurs?

**J. Dunlas**. – 1) La "Terraformation" de Mars est un sujet qui a fait réfléchir de nombreux auteurs. En principe, rien de ce que nous savons en physique, chimie, astronomie planétaire, n'interdit de l'envisager. Le principal obstacle est l'énormité des moyens à mettre en œuvre. Il y a largement assez de glace d'eau et de CO<sub>2</sub> dans les calottes polaires et d'eau dans le permafrost des sols ainsi probablement que dans des nappes profondes pour recréer une atmosphère suffisamment dense capable de retenir la chaleur à la surface. L'idée est de faire fondre les calottes polaires au moyen de grands miroirs en orbite, concentrant les rayons solaires. Cette étape serait suivie par l'implantation de végétaux adaptés pour transformer le CO<sub>2</sub> en oxygène par photosynthèse. Un autre obstacle est éthique : l'humanité du futur se reconnaîtra-t-elle le droit de modifier complètement l'environnement d'une autre planète pour y installer des éléments de sa propre biosphère ?

2) L'effondrement économique de l'ex-URSS et la politique de restrictions budgétaires des États-Unis ont fortement ralenti la progression des vols habités qui restent cantonnés actuellement à l'exploitation de la station spatiale internationale.

Les motivations essentielles restent la volonté de puissance, les bénéfices économiques et la recherche scientifique. Une forte poussée de la Chine pourrait motiver les dirigeants américains, s'ils se sentaient menacés dans leur avance ou leur sécurité ; l'Europe, qui a le savoir-faire technique, se complaisant malheureusement dans sa torpeur et se contentant de jouer les seconds rangs.

Une grave chute de météorite dans une zone peuplée aurait probablement un fort effet accélérateur.

L'exploration humaine d'astéroïdes proches, qui devrait démarrer d'ici 5 à 10 ans, pourrait également laisser entrevoir des bénéfices économiques suffisamment importants pour entraîner de gros investisseurs privés à s'engager dans des projets d'exploitation.

Même dans le domaine de la recherche scientifique, les robots ne peuvent pas tout faire. Opposer hommes et robots n'a pas de sens. Sauf dans des zones inhospitalières et dangereuses, l'exploration ne peut se faire complètement qu'avec une présence humaine proche. Cela étant, les robots seront indispensables partout. Le robot est le prolongement incontournable de l'esprit de l'homme et de sa main.

**F. Blondon**<sup>2</sup>. – Nous avons réalisé au Phytotron de Gif des études sur la productivité d'écosystèmes artificiels confinés mais je vous en parlerai en particulier. Pour l'expansion spatiale de l'humanité, la maîtrise, le contrôle et l'exploitation d'écosystèmes artificiels confinés sont certes indispensables mais il y a aussi, à long terme, la transformation de l'homme.

Qu'en pensez-vous?

**J. Dunlas**. – 1) A mon avis, la conception et la gestion d'écosystèmes confinés et contraints représentent des voies d'avenir très prometteuses pour l'humanité. Strictement indispensables pour l'expansion spatiale, elles offrent par ailleurs des solutions particulièrement intéressantes pour l'agriculture terrestre à la fois dans le domaine des rendements, de la gestion de l'eau mais aussi de la protection de l'environnement.

2) Il est clair que la conquête de l'espace finira par modifier l'homme et ses sociétés.

---

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

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire du CNRS, Institut des Sciences végétales, 91198 Gif-sur-Yvette.

Au plan personnel, la fusion homme robot (dont on voit les premières approches avec les pilotes de drones ou avec les techniciens de la NASA qui contrôlent leurs robots martiens) devient telle que l'homme finit par intégrer la vision des caméras embarquées comme ses propres yeux et les équipements de mobilité et de préhension comme des ailes, des jambes et des mains.

De nombreux progrès sont à attendre de la gestion optimale du microbiote humain dans des circonstances nouvelles.

Au plan de la société, la conquête de l'espace est un formidable appel vers le grand large qui va susciter bien des ambitions, des vocations et un élan de confiance renouvelé vers l'avenir.

Le fait de voir la Terre comme elle est, isolée dans l'espace et si merveilleusement adaptée à ce que nous sommes a, depuis plusieurs décennies, déjà complètement changé l'idée que se fait l'humanité de sa planète et de ses responsabilités.

La nécessaire collaboration entre nations pour un objectif commun exaltant est un autre élément très positif.

**C. Maréchal<sup>3</sup>.** – Ayant constaté dans une commission environnement de la ville de St-Cloud le manque d'information des élus et des présidents d'associations de défense de l'environnement, je pense qu'il serait nécessaire de faire un effort de communication et pourquoi pas un avis de l'Académie sur la surveillance par le public de ces espèces invasives.

**D. Rochat.** – Oui vous avez raison. La communication est souvent manquante ou incomplète. Et on diffuse fréquemment des informations contradictoires. La difficulté est de disposer d'éléments objectifs et opérationnels pour pouvoir délivrer un message univoque et pratique, à la fois pour la détection active de ces espèces par le citoyen et pour leur gestion selon les règles de l'art et dans le respect de la réglementation afin d'empêcher leur expansion.

**Y. Baratte<sup>4</sup>.** – Et la lutte par des virus ?

**D. Rochat.** – De manière générale et à ma connaissance, s'il y a eu beaucoup de travaux sur les Baculovirus et d'applications contre les scarabées des palmiers du genre *Oryctes*, il n'y a pas de virus connu actif contre le Charançon rouge du palmier. Contre cette espèce, la recherche et les applications se concentrent sur les nématodes et les champignons entomopathogènes.

---

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien Directeur des relations extérieures de l'Union des industries de la fertilisation.

<sup>4</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien Directeur de la ferme expérimentale de l'Institut Pasteur.

## APPORTS DE L'OBSERVATION SPATIALE DU CYCLE DE L'EAU CONTINENTAL POUR DES ÉTUDES CLIMATIQUES

### INTRODUCTION

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

Si à l'échelle globale, le couplage du bilan radiatif (atmosphère-espace) avec les bilans d'énergie et de masse de l'atmosphère en liaison avec les bilans des interfaces océans et continents, donne des éléments de réponses consistants, seuls les modèles de circulation générale (GCM) peuvent traduire au mieux des connaissances récentes, les grandes variations climatiques du globe, et peuvent aussi tenter d'établir des prédictions futures au niveau des échelles relatives aux grandes régions. L'incertitude, en particulier en ce qui concerne le cycle de l'eau à ce niveau, reste grande. Aussi il semble très important de prendre connaissance de ce que les observations spatiales apportent comme informations engrangées depuis déjà trente ans. Le suivi spatio-temporel de nombreux éléments de ce cycle, associé à des progrès de fiabilité, de sensibilité, mais aussi de calibration, d'inter comparaison des instruments, sans oublier les progrès des modèles d'interprétations de ces données qui sont de plus en plus performants, conduisent à une évolution rapide de ces différentes données disponibles ainsi que de leurs qualités. Ces données sont devenues indispensables pour interpréter les tendances, régionales ou mêmes plus locales, dans leur évolution actuelle. Ces données d'observations informent d'une réalité qui permet de revoir et probablement d'améliorer à terme les schémas au sein des modèles de circulation générale. Cette recherche constante d'une vérité terrain, adaptée aux échelles spatio-temporelles des modèles climatiques, est devenue le maillon indispensable des avancées et pronostics futurs de bonne fiabilité. Cette séance permettra d'aborder les précipitations, données de base pour analyser le cycle de l'eau. Puis, compte tenu de ces apports, une analyse des différents compartiments (atmosphère, océan, continent et différentes échelles de bassin) sera présentée en fonction des moyens disponibles et illustrée par des exemples. Enfin une question sensible sera abordée, celle du sahel et de son évolution vers, non pas une désertification, traditionnellement annoncée, mais bien plutôt tout au moins actuellement vers un certain reverdissement.

---

<sup>1</sup> INRA.

## **L'ESTIMATION DES PRÉCIPITATIONS DEPUIS L'ESPACE : LE COMMENCEMENT DE L'ÈRE GPM**

par Rémy **Roca**<sup>1</sup>

Les précipitations à la surface de la Terre proviennent de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Le réchauffement climatique est appelé à bouleverser la distribution d'humidité de l'atmosphère et par conséquent les précipitations. Autant à l'échelle globale, la théorie de l'équilibre radiatif-convectif nous permet de former des scénarios crédibles pour la planète, autant les évolutions futures régionales du cycle de l'eau restent très méconnues. Dans un contexte scientifique très dynamique sur ces questions, il apparaît opportun de faire l'état des lieux concernant nos possibilités d'observations de la pluie pour contraindre les diverses réflexions en cours. L'accent est mis sur l'observation depuis l'espace, par télédétection, qui a été témoin au cours des deux dernières décennies, d'avancées significatives et offre dorénavant une riche source d'information quantitative du passé climatique récent. L'objet de cette communication est de présenter rapidement les techniques et les instruments mis en œuvre dans cette communauté pour se concentrer ensuite sur l'évaluation quantitative des estimations satellitaires des précipitations. On mettra l'accent sur les régions tropicales, lieux d'activités intenses du cycle de l'eau afin d'illustrer notre propos. Enfin, nous dédierons un moment à évoquer les missions spatiales prévues pour le futur proche ainsi que les développements anticipés à l'échelle de la planète entière dans le cadre de la constellation internationale *Global Precipitation Measurements*.

Comme chacun a pu l'expérimenter, la pluie montre une très forte variabilité, à la fois dans l'espace et dans le temps, qui rend sa mesure précise délicate quel que soit le système d'observations envisagé. De plus, à l'échelle instantanée, le processus nuageux où se produit la condensation dans l'atmosphère est très indirectement relié à l'intensité de la pluie à la surface de la terre. Le paradigme de la mesure de la pluie est de s'affranchir, ou tant que faire se peut, de ces deux contraintes physiques. Pendant longtemps, l'observation spatiale se résumait à l'imagerie infrarouge et visible à bord des satellites géostationnaires. Ces données fréquentes et bien résolues, qui n'informent que sur les caractéristiques du sommet des nuages, ont permis les premiers balbutiements de l'estimation des précipitations par satellite mais ces informations restaient très qualitatives. Les observations par des radiomètres dans la partie micro-ondes du spectre électromagnétique, à bord des satellites défilant en orbite basse, et plus récemment des radars spatiaux pour l'analyse des précipitations (missions TRMM, CloudSat, GPM-core) ont permis de bien mieux caractériser les hydrométéores au sein de la colonne nuageuse, au détriment de l'échantillonnage. Les méthodes de combinaison ou de fusion de ces différentes données ont beaucoup progressé ces dernières années et nous permettent d'entrer dans l'ère de la constellation GPM où des radars à précipitation calibrent les estimations d'une flottille de radiomètres micro-ondes, données finalement fusionnées avec l'imagerie géostationnaire pour estimer les précipitations quantitativement. Nous illustrerons cette philosophie à l'aide des développements menés en France par l'équipe scientifique Méga – tropiques, en préparation à l'exploitation imminente de cette mission spatiale dédiée au cycle de l'eau et de l'énergie tropicale.

De par leur nature, les comparaisons entre les divers systèmes de mesures de précipitations (satellite, radar sol, réseau de pluviomètres) sont rendues difficiles. Il est par conséquent nécessaire de mettre en œuvre des méthodologies particulières et adaptées pour mener à bien les évaluations croisées de diverses estimations disponibles. De même, il est important de formuler une évaluation qui dépende de l'application envisagée. Ainsi une analyse météorologique ou hydrologique ou bien des rendements agricoles devra se concentrer sur des aspects différents de l'évaluation. Nous présenterons une rapide revue de l'état de ces développements, encore une fois en nous appuyant sur l'expérience de l'équipe Méga - tropiques et en maintenant notre tropisme tropical. Cet effort nous permettra de montrer les progrès significatifs obtenus par les algorithmes récents sur l'estimation quantitative des pluies dans ces régions.

La dernière partie de notre intervention sera tournée vers le futur immédiat et à moyen terme de l'observation spatiale des précipitations avec la montée en puissance de la constellation GPM et de ses conséquences sur notre capacité à caractériser les précipitations globales.

*(Reçu le 18 avril 2013)*

---

<sup>1</sup> OMP/LEGOS, 14, av. Edouard Belin - 31400 TOULOUSE.

<http://www.legos.obs-mip.fr/roca> et <http://megha-tropiques.ipsl.polytechnique.fr>

## CONTRIBUTIONS DES APPROCHES MULTI-SATELLITES À L'ÉTUDE DU CYCLE DE L'EAU.

par Philippe Maisongrande<sup>11</sup>

Agriculture, inondations, navigation, aux enjeux directs et assez évidents liés au cycle de l'eau s'ajoutent, bien entendu, les enjeux climatiques lorsque l'on parle par exemple de la hausse du niveau de la mer, de la fonte des glaciers ou de désertification. Outre l'impact transverse du changement climatique, la notion de « cycle » sous-entend une connexion entre ces différents sujets qui sont pourtant souvent traités de manière relativement indépendante. Le relatif cloisonnement de ces études tient à la complexité des systèmes étudiés mais il arrive aussi, comme dans le cas du cycle de l'eau, que les échelles temporelles et géographiques des phénomènes étudiés soient si variées qu'elles représentent un frein à la transversalité au sein de la thématique. Bien que contribuant parfois aussi au cloisonnement des disciplines, l'observation satellitaire demeure un outil précieux pour interconnecter les phénomènes et leurs échelles.

En orbite, à des centaines voire à des milliers de kilomètres de la Terre, les satellites disposent d'un recul qui leur confère une répétitivité et un champ géographique sans équivalent dans l'histoire des observations scientifiques. Depuis 20 à 30 ans, selon les domaines, l'observation de la Terre bénéficie de missions satellitaires chacune dédiée à une variable spécifique comme par exemple le niveau des océans, l'albédo ou l'enneigement. La richesse informative du suivi temporel de ces variables par satellite place les chercheurs en situation de nouvelles découvertes, effet accentué pour peu que soient associées des informations de natures différentes et complémentaires.

En effet, de même que la stéréoscopie donne immédiatement accès à la perception 3D d'un paysage en conjuguant deux observations optiques simultanées sous deux angles différents, un objet thématique comme le cycle de l'eau peut bénéficier du regard croisé de satellites dédiés à diverses variables observables depuis l'espace. Les complémentarités mises en jeu dans ces approches sont de plusieurs types. Dans le cadre d'une modélisation du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant il est possible d'intégrer des informations satellitaires de différentes natures, certaines comme l'occupation des surfaces, l'humidité du sol, ou l'indice foliaire de la végétation sont utiles à la modélisation des flux d'eau, d'autres comme le niveau des réservoirs de surface ou la masse d'eau totale du sol (obtenue par gravimétrie) sont directement relatives aux stocks. Aux avantages de cette complémentarité stocks/flux s'ajoute celui de la continuité des observations sur de longues périodes, continuité qui, une fois les problèmes techniques surmontés (géométrie, étalonnage, corrections des artefacts propres à chaque type de mesure), permet de bâtir des longues séries d'observations cohérentes et fiables, indispensables à l'étude des phénomènes de sensibilité au changement climatique.

Sous l'angle donc de l'observation multi-satellitaire de la Terre depuis l'échelle globale jusqu'à celle du paysage, cet exposé propose de visiter les principaux compartiments du cycle de l'eau (océans, atmosphère, aquifères, grands bassins versants, régions) avec, pour chaque échelle, des avantages et des limitations spécifiques. Selon les variables géophysiques concernées nous verrons également de quelles manières certaines des futures missions satellitaires (assorties de centres de traitement et de distribution appropriés) pourront contribuer à une meilleure connaissance des stocks et des flux d'eau dans le but notamment d'une meilleure gestion de la ressource hydrique dans le contexte démographique et climatique du 21<sup>e</sup> siècle.

*(Reçu le 18 avril 2013)*

---

<sup>1</sup> CNES, Chercheur au LEGOS, Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie spatiales- Toulouse.

## **SAHEL ENTRE DÉSERTIFICATION ET REVERDISSEMENT : LE POINT SUR UNE CONTROVERSE**

par Cécile **Dardel**<sup>1</sup>

Le Sahel est une région de transition éco-climatique qui s'étend entre le Sahara au nord et les savanes humides soudaniennes au sud et qui a connu et connaît encore d'importantes fluctuations pluviométriques ponctuées par des épisodes de sécheresse intense. Cette forte variabilité climatique a des impacts importants sur les ressources naturelles et sur les populations qui vivent dans la zone. Dans un passé récent, le Sahel a connu deux sécheresses successives très fortes en 1971-72 et 1983-84. Ces sécheresses ont fait suite à une période plus favorable en termes de pluviométrie (1950-1970). Depuis des décennies, la désertification du Sahel est un concept qui fait régulièrement débat. Cependant, avec l'arrivée des observations spatiales dès les années 1970, qui ont permis un suivi global et régulier de la végétation, de nouvelles études ont mis en évidence un reverdissement de la bande sahélienne. Ce reverdissement est défini comme l'augmentation d'un indice de végétation dérivé de l'observation satellitaire, qui est un indicateur de la productivité végétale. De nos jours, un retour à des précipitations plus abondantes semble intervenir. Quelles ont été les conséquences des sécheresses des dernières décennies sur les écosystèmes sahéliens ? Y-a-t-il eu reverdissement ? Et si oui, peut-on mettre en évidence des changements dans le fonctionnement des écosystèmes ?

Nous disposons aujourd'hui de 30 ans de mesures de télédétection à l'échelle globale avec les données GIMMS-3g issues des capteurs météorologiques NOAA-AVHRR. L'indice de végétation normalisé (NDVI), calculé à partir des réflectances mesurées dans le rouge et le proche infra-rouge est basé sur les propriétés optiques de la végétation : la végétation verte étant caractérisée par un fort taux d'absorption dans le visible et une forte réflectance dans la partie infrarouge du spectre lumineux. L'étude des tendances du NDVI sur l'ensemble de la région sahélienne entre 1981 et 2011 a confirmé les tendances au reverdissement préalablement observées par différentes équipes de recherche. Seules deux régions présentent des tendances négatives : l'ouest du Niger et le centre du Soudan.

L'analyse conjointe de ces longues séries de télédétection et d'observations sur le terrain au nord-Mali et au Niger a permis de confirmer les tendances observées par télédétection. Au Mali, nous avons pu mettre en évidence la forte résilience de la végétation herbacée sur les grandes surfaces sableuses, qui explique donc la tendance au reverdissement majoritairement observée depuis l'espace. En revanche, une augmentation des processus d'érosion a pu être observée sur les sols superficiels conduisant à une diminution des surfaces végétalisées et, corrélativement, à une augmentation du ruissellement. Sur ces zones, moins étendues et très peu végétalisées, le satellite ne détecte pas de tendance significative. L'érosion se double d'une concentration et d'une accélération du ruissellement, ce qui explique la tendance observée à l'augmentation de la productivité végétale dans les bas-fonds argileux, et de la quantité d'eau dans les mares. Dans le sud-ouest du Niger, région agro-pastorale où la pression anthropique est plus forte, la tendance à la diminution de la productivité végétale observée depuis l'espace et sur le terrain n'est pas expliquée par les précipitations. Le paysage est plus complexe et est caractérisé par des mosaïques de surfaces cultivées, de jachères et de parcours pastoraux. L'occupation des sols est très dynamique. Plusieurs facteurs pourraient ainsi expliquer la diminution de la production herbacée et des cultures, comme l'augmentation des surfaces mises en culture depuis les années 50, les changements dans l'occupation des sols, la diminution du temps de jachère, une augmentation de la pression de pâture pendant la saison des pluies, ou encore une diminution de la fertilité des sols.

En résumé, l'analyse des archives de télédétection de 1981 à 2011 met en évidence un reverdissement significatif observé sur la majeure partie de la bande sahélienne. La végétation sahélienne présente donc une forte résilience à des événements climatiques extrêmes comme la sécheresse des années 80. Localement, des tendances à la dégradation peuvent également être observées, ainsi que des changements dans le fonctionnement des agro-écosystèmes.

*(Reçu le 18 avril 2013)*

---

<sup>1</sup> Doctorante CNES (Centre national d'études spatiales) au Laboratoire GET (Géosciences Environnement Toulouse)

## APPORTS DE L'OBSERVATION SPATIALE DU CYCLE DE L'EAU CONTINENTAL POUR DES ÉTUDES CLIMATIQUES

### CONCLUSIONS

par Alain **Perrier**<sup>1</sup>

Est-il encore besoin de le rappeler, les modélisations des changements climatiques sont au cœur de la plupart des études de prospectives de nos sociétés, du niveau régional au niveau global. Au cœur de ces changements climatiques et, en complète interaction avec les changements globaux, le cycle de l'eau et les énergies mises en jeu en sont le nœud gordien. La séance d'aujourd'hui a montré combien l'eau disponible pour l'évaporation est toujours très variable au niveau des surfaces continentales, selon les apports de pluie, de neige ou glace, apports induits par la physique de l'atmosphère (à la fois les mouvements et les transports de masse, d'eau et d'énergie). Finalement au niveau des continents, l'eau est partiellement stockée en glace (banquise et glaciers) et surtout dans les sols pour être pompée par les écosystèmes et rejetée dans l'atmosphère, le surplus étant transféré par l'hydrologie vers nappes et océans.

L'effort considérable d'analyse des incertitudes des modèles, qui est trop souvent limité à des comparaisons entre les modèles, doit absolument se poursuivre avec pertinence, comme on vient d'en voir des exemples, en vue d'assurer des validations expérimentales dont beaucoup dépendent de mesures plus ou moins sophistiquées de télédétection satellitaire que les hautes technologies du spatial permettent de développer.

Cet effort de mesures, de calibrations, d'élaborations de grandeurs appropriées aux validations est en constante progression et il représente la principale démarche expérimentale d'accompagnement dont les données permettent seules d'établir la validité des apports des sciences environnementales (océaniques, atmosphériques, et de la biosphère continentale). Dans le cas des diverses composantes du cycle de l'eau et de leurs modélisations, il est crucial de mesurer le maximum d'entrées nécessaires aux modèles mis en œuvre (assimilation de données) et de valider les principales variables d'état en évolution au sein de ces modèles. Il est nécessaire d'obtenir des mesures pour les principales sorties dominantes (stockes, flux, états) ce qui est au centre de cette séance. Enfin, je l'ai rappelé avec le rôle des écosystèmes terrestres, il y a aussi un cycle de l'eau non purement physique mais en interaction avec les développements des systèmes biologiques, en particulier les écosystèmes sous forte contraintes sociétales depuis quelques millénaires.

Malgré la difficulté de ces explorations expérimentales, surtout à l'échelle globale, nous avons pu découvrir, grâce aux conférenciers de ce jour, quelques exemples d'analyse complexe (celle de la pluie flux majeur ; celle des glaces, du niveau des océans, de l'humidité des sols, des bilans hydrologiques, et enfin la couverture végétale et ses fluctuations). Chacun de ces exemples mixait des mesures différentes et complémentaires, mais surtout récurrentes et souvent interprétées par des modèles de traitement, d'interprétation et d'analyse cohérente pour obtenir des résultats utiles aux validations et surtout des séries de données exploitables.

Ces bases de données sont indispensables aux analyses climatiques qui se fondent sur des grandeurs éminemment variables à toutes les échelles de temps (horaires, journalières, saisonnières, interannuelles) et d'espace (local au global).

Grâce à ces exposés et à leurs divers domaines d'application, il est apparu clairement que la télédétection satellitaire répond tout particulièrement bien, de nos jours, aux trois conditions essentielles pour ces études environnementales sur le cycle de l'eau :

(1) Récurrence temporelle et longue série de données ; (2) vision à distance permettant une couverture globale, tout en ayant la possibilité de faire des « zooms » particuliers, voire des sondages au sein de gros orages ou de cyclones; (3) possibilité de combiner, de façon spatiotemporelle, diverses mesures satellitaires qu'elles soient sur un seul satellite ou, le plus souvent, sur plusieurs.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur émérite AgroParisTech.  
**C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3.** Séance du 22 mai.

Ces nouveaux regards croisés, portés de l'espace sur la biosphère, quantifient de multiples grandeurs et paramètres caractéristiques des interfaces terrestres que sont l'atmosphère ou les surfaces de la biosphère tant océaniques que continentales. Ils permettent de décrire, selon les zones géographiques considérées, des dynamiques temporelles intra et inter annuelles réalistes, car elles résultent de mesures qui intègrent naturellement toutes les contraintes spatiotemporelles terrestres, d'origine biotique et abiotique, et dans une certaine mesure, également, leur action cumulative dans le temps. Ainsi, toutes les activités humaines à grande échelle, dont les rejets atmosphériques (gaz à effet de serre, aérosols, particules, énergie), sont aussi explorées et mesurées grâce à la télédétection satellitaire : par exemple les passages de la forêt à l'agriculture, mais aussi les évolutions d'une steppe, dues au pastoralisme non maîtrisé, qui passe à une steppe de plus en plus clairsemée et à une désertification progressive de la zone, ce qui induit des climats de plus en plus difficiles pour l'écosystème. On peut également suivre le développement de l'irrigation sur de grandes régions à forte densité humaine, et les conséquences thermiques et hydriques de l'imperméabilisation des sols par l'habitat, l'industrialisation et les voies de communication. Toutes ces évolutions sont des facteurs d'impact des changements globaux et des effets climatiques plus ou moins importants et leur observation par télédétection spatiale, en particulier, aide à jeter un nouveau regard sur les interprétations habituelles et repose des questions (ce fut le cas de l'intervention de Cécile Dardel : **Sahel, entre désertification et reverdissement : le point sur une controverse**).

Je crois qu'on peut retenir des trois exposés, les points suivants :

**1) Pour les modèles de climat et pour une analyse réelle des évolutions de la surface de la planète, les collections de données archivées qui couvrent à la fois le long terme (actuellement quelques décennies) et toute la surface du globe, représentent une source inestimable d'analyse et de renouvellement scientifique.**

Le suivi spatiotemporel, d'éléments du cycle de l'eau toujours plus nombreux, offrent un lot de données mesurées à la fois indispensable et de meilleure qualité. Les progrès dans la fiabilité, la sensibilité, mais aussi la calibration et la comparaison des instruments en sont les raisons, sans oublier parmi elles, le rôle du progrès des connaissances dans l'élaboration de modèles de correction et d'interprétation de ces données qui deviennent de plus en plus performants. La communauté scientifique bénéficie des différentes données disponibles sur des durées croissantes (décennies) et elles sont devenues indispensables pour interpréter les tendances, régionales ou même plus locales. Ce sont elles qui informent d'une réalité qui pousse le chercheur à ré-analyser les divergences avec les sorties de ses modèles afin d'en améliorer à terme les représentations des modèles de circulation générale (introduction de nouveaux processus, de nouvelles interrelations, de meilleures schématisations, etc.).

**2) Cette recherche constante d'une vérité terrain, adaptée aux échelles spatiotemporelles des modèles climatiques, est devenue le maillon indispensable des avancées pour une meilleure fiabilité des pronostics futurs.**

**3) Malgré cette complémentarité de l'observation satellitaire face aux modèles et à leur évolution, ces derniers ne permettent d'apporter que des résultats de type « scénarios probables », avec très certainement demain, de meilleures estimations sur les fourchettes d'incertitudes ; mais ils ne pourront pas apporter de sitôt de véritables prédictions encadrée d'une incertitude chiffrée, mais seulement des tendances probables.**

Ceci pour deux raisons :

- d'une part, malgré les efforts continus de la recherche, trop de processus mis en jeu ne sont encore que grossièrement schématisés ou même pas du tout instruits ; ceux considérés sont souvent accolés aux autres par méconnaissance de la multiplicité des interactions entre eux, ce qui fausse sur le long terme les évolutions induites ;
- d'autre part cette complexité des interdépendances, en particulier avec les processus biologiques, s'accroît beaucoup, on le sait, avec la diversité des réactions biologiques possibles, avec leur constante de temps souvent modulable, avec leur capacité d'adaptation souvent assez rapide, s'opposant en ceci aux processus physiques relativement intangibles.

Mais plus importants, encore, deviennent les éléments et processus induits ou perturbés par l'évolution de nos sociétés dont les aspects moteurs dans ces domaines sont encore plus mouvants.

Les conséquences de ces deux points laissent un fort degré d'incertitude dans le devenir recherché des changements globaux, de leur prévision comme dans leurs répercussions environnementales. Il suffit de constater la tendance drastique de l'explosion démographique qui finalement, contrairement à toutes les prévisions de croissance, tend subitement à s'infléchir très nettement de nos jours. Les campagnes se sont désertifiées au profit des villes avec l'explosion des mégapoles actuelles, mais le mouvement s'inverse en partie et conduit à des espaces ville-campagne intégrés à un même territoire ; mais jusqu'où ira ce mouvement ? Les villes écologiques vertes et à énergie positive changeraient beaucoup les perturbations actuelles et le coût des énergies : l'évolution se poursuivra jusqu'où ? De même, l'inflation du développement des biens, tant alimentaires qu'industriels, point focal dominant actuel des sources de modifications environnementales, peut aussi s'infléchir dans un proche avenir en se convertissant en développement d'espaces jardinés et paysagés, en espaces de loisirs et en biens intellectuels et patrimoniaux, ou encore en développement de connaissances et de relations humaines ! De même, pourquoi ne pas se focaliser à terme vers une entreprise humaine collective, celle de la conquête de l'espace, ce que notre confrère Jean Dunglas a présenté il y a juste une semaine ? Alors, comment faire dans ces conditions de vraies prédictions globales et climatiques ?

Pour l'instant, comme vous l'avez constaté je pense, la télédétection reste, en dehors de ces types d'incertitudes liées à la biosphère anthropisée, le moyen d'observation, de diagnostic des états de la surface de la terre et permet de traduire la tendance de l'évolution actuelle des grandeurs mesurées ou élaborées. Ce sont des mesures quantitatives fort utiles pour aider à des choix, des orientations temporaires et des modélisations, dont celle du cycle de l'eau, facteur dominant, qui induit la première réelle menace pour un proche avenir, celle de l'élévation du niveau des océans pouvant toucher jusqu'à un quart des populations mondiales.

Voilà le sens de la séance d'aujourd'hui sur les apports de la télédétection. Je vous remercie de votre participation ; je tiens aussi à remercier très sincèrement les intervenants au nom de vous tous et de notre Académie.

## PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES (PPAM) ÉTAT DES LIEUX, ENJEUX ET PERSPECTIVES

### INTRODUCTION

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

Cette séance a été proposée suite à la réflexion de la première section sur le thème « Évolution et diversification des systèmes de culture » ; la filière des Plantes à Parfum, aromatiques et médicinales a été retenue comme un exemple de diversification des cultures, l'une des priorités du programme de travail de l'Académie d'Agriculture.

Cette filière est peu connue ; elle a fait l'objet de deux séances à l'Académie d'Agriculture en novembre 1984 (1). Il était certainement intéressant de présenter son évolution depuis bientôt 30 années, ses résultats et perspectives dans le cadre d'enjeux qui ont beaucoup évolué, particulièrement au cours de la dernière décennie. Cette filière concerne à la fois agriculteurs et industriels ; pilotée par l'aval, l'articulation entre industriels et agriculteurs est donc essentielle.

La séance a été organisée autour de trois exposés et deux courtes contributions-témoignages :

- Nadine **Leduc**, agricultrice en Côte-d'Or, présidente de l'Institut ITEIPMAI (institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales et aromatiques) présentera la filière PPAM : une filière végétale en développement – c'est suffisamment rare pour que ce fait soit souligné - filière aux nombreuses espèces et à l'interface avec la santé humaine, végétale et animale. Mme Leduc présentera, au cours de son exposé, la structure de son exploitation et soulignera les besoins de ce type d'exploitation pour se développer, dans le contexte d'un territoire de moyenne montagne.

- Jean-Pierre **Bouverat-Bernier** directeur technique de l'ITEIPMAI, présentera les atouts et les contraintes de la filière en matière de production et de transformation. La création de nouvelles variétés performantes est l'activité phare de l'Institut - des variétés qui sont très rapidement adoptées par les agriculteurs et les industriels. La filière est réputée pour la qualité de la matière première ainsi que pour la qualité des extraits exploités par les industriels. Nous nous interrogerons sur l'intérêt que peuvent présenter ces plantes et leur diversité pour des services écosystémiques, par exemple en matière de contrôles biologiques des bioagresseurs, ceci à l'égard d'autres filières végétales voire animales.

- Alban **Muller**, industriel dont l'entreprise a une envergure internationale, président d'Alban Muller International (AMI) au sein de la Cosmetic Valley en Eure-et-Loir, sera le premier témoin. M. Muller abordera l'importance de la qualité des matières premières pour l'industriel, les critères indispensables pour des extraits végétaux irréprochables, avec, notamment, la prise en compte des nouvelles exigences en matière de sécurité, efficacité et environnement. M. Muller présentera aussi sa vision des contraintes et atouts de la production française.

- Daniel **Joulain**, expert-consultant, précédemment directeur de recherche au sein de l'entreprise Robertet, l'un des leaders mondiaux des matières premières aromatiques naturelles à Grasse (Alpes-Maritimes), sera le second témoin. Spécialiste des huiles essentielles et des produits naturels analogues ou dérivés, M. Joulain abordera les nouvelles perspectives de valorisation des huiles essentielles – en particulier

---

<sup>1</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.  
**C.R.Acad. Agric. Fr.**, 2013, 99, n°3. Séance du 29 mai.

la possibilité que certaines de ces huiles soient des biopesticides pour la protection des cultures: perspectives d'emploi, contraintes et limites – ; une opportunité pour la production française de plantes aromatiques ?

- Frédéric **Bourgaud**, professeur et directeur du laboratoire Agronomie et Environnement – UMR 1121, Université de Lorraine et INRA Nancy-Colmar - traitera des questions et travaux de recherche nécessaires au développement des PPAM ; son exposé sera centré sur un exemple de recherches cognitives avec applications industrielles pour la production et la valorisation de métabolites secondaires d'intérêt. Nous découvrirons ce que sont « les plantes à traire » et les conséquences de ces innovations pour le futur de la filière.

La conclusion de la séance sera tirée par Christian **Huyghe**, directeur scientifique adjoint du secteur « Agriculture » à l'INRA, président du Conseil scientifique de l'ACTA et correspondant de l'Académie d'Agriculture de France.

### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- (1) Plantes à parfum, aromatiques et médicinales. C.R. Acad. Agric. Fr., 1984, **70**, n° 10 (numéro spécial), séances des 7 et 14 novembre 1984, p.1211-1308.

## **LA FILIÈRE DES PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES, SES SPÉCIFICITÉS DANS LE CONTEXTE AGRICOLE ET HORTICOLE FRANÇAIS**

par Nadine **Leduc**<sup>1</sup>

*La présentation vise à dresser le panorama de la filière des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM) en donnant un aperçu de la complexité de cette filière.*

### **Une filière complexe, aux secteurs très diversifiés**

- Les PPAM font partie des cultures spécialisées : une centaine d'espèces sont cultivées sur 38 000 ha.
- L'activité de cueillette est présente sur le territoire français (massifs et parcs régionaux).
- 4 500 exploitants spécialisés sont concernés par les PPAM (3/4 font cette production en diversification par rapport à d'autres ateliers de production agricole).
- La filière PPAM est hétérogène :
  - 80 % des surfaces sont occupées par 2-3 espèces : lavande-lavandin et pavot œillette,
  - les 20 % restant sont multi-espèces et représentent 50 % du chiffre d'affaires à la production.

Les transformations sont multiples au niveau de la production, elles vont de la plante fraîche, surgelée, déshydratée, aux extractions, huiles essentielles et extraits divers.

Les productions en PPAM françaises sont destinées à être transformées, par l'industrie pharmaceutique, la cosmétique, la parfumerie, l'agroalimentaire.

### **Une répartition territoriale des PPAM très contrastée**

La filière est structurée en trois grandes familles : plantes aromatiques, plantes médicinales, plantes à parfum. Il s'agit d'une répartition arbitraire car les plantes de la cosmétique ou des compléments alimentaires peuvent se retrouver dans le secteur du parfum, de l'aromatique ou du médicinal. Cette répartition permet néanmoins d'organiser les stratégies des trois grandes familles de production.

Ces productions sont à peu près présentes sur l'ensemble du territoire (cf. graphique 1) : au nord d'une ligne allant de la Charente-Maritime aux Ardennes se trouvent les plantes médicinales et une partie des plantes aromatiques. Au sud de cette ligne se trouvent les plantes à parfum et la seconde partie des plantes aromatiques.

Les plantes à parfum sont principalement concentrées sur la région Rhône-Alpes et surtout en Provence-Alpes-Côte d'Azur. En Côte d'Or, il s'agit des cassissiers pour la récolte de bourgeons de cassis.

Dans le sud, les trois espèces majeures, lavande/lavandin et sauge sclarée, sont cultivées sur 20 000 ha. Ce secteur est très exportateur.

Les plantes aromatiques et les plantes médicinales représentent environ 100 espèces : 20 pour les aromatiques (sur 2 500 ha) et 80 pour les médicinales (15 000 ha dont 80 % de pavot œillette). Ces deux secteurs sont très importateurs.

---

<sup>1</sup> Agricultrice, Présidente de l'ITEIPMAI – Institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales et aromatiques.

Le secteur des plantes médicinales est le secteur le plus en développement : en 25 ans, les surfaces de plantes aromatiques et médicinales sont passées de 6 000 à 17 000 ha avec un chiffre d'affaires de 55 M€ à la production, contre 35 M€ pour les plantes à parfum.

La production biologique dans le secteur des PPAM est aussi 5 fois supérieure à la moyenne nationale (15 % des surfaces - environ 1 500 producteurs soit 7 % des agriculteurs français en agriculture biologique) avec une concentration importante des producteurs sur la région Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur.

### **Une filière PPAM innovante et qui se développe**

La filière PPAM est essentiellement pilotée par l'aval. Au chiffre d'affaires à la production, de 90 M€ (chiffre qui a doublé en 30 ans avec une accélération sur les 10 dernières années) correspond un chiffre d'affaires industriel évalué à 4 milliards d'€, avec 30 000 emplois concernés.

Au-delà des champs de valorisation classique (parfumerie, industrie pharmaceutique), de nouveaux marchés s'ouvrent dans les secteurs des compléments alimentaires (antioxydants), de la nutrition animale, de la protection des cultures...

### **Diversité des espèces, des marchés mais aussi des exploitations agricoles avec des spécificités régionales**

#### ***Les Plantes à parfum :***

- trois espèces (lavande, lavandin et sauge sclarée) sont cultivées sur 20 000 ha par environ 2 000 producteurs, principalement concentrés dans deux régions, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes.
- 20 % des exploitations agricoles font 80 % de la production des huiles essentielles de lavande-lavandin. Les autres producteurs sont répartis sur les montagnes sèches.
- Les productions se font en rotation avec de grandes cultures ou sur de petites exploitations spécialisées
- Ces plantes ont des enjeux territoriaux importants : au-delà de la production d'huile essentielle, est à considérer toute l'activité qui tourne autour en termes d'image, de tourisme, de la production du miel de lavande (qui, à lui seul, génère un chiffre d'affaires équivalent au produit des huiles essentielles de lavande-lavandin).
- Le secteur est principalement organisé en coopératives avec une dimension très régionale.

#### ***Les Plantes aromatiques :***

- Une quinzaine d'espèces avec deux destinations principales : les plantes déshydratées (« Herbes de Provence ») et les herbes aromatiques surgelées. Ces plantes sont cultivées sur des exploitations très spécialisées mais aussi en polyculture (élevage, légumes, grandes cultures, viticulture).
- La production est principalement organisée en coopératives. La plus forte concentration de cultures se trouve dans les régions Ile-de-France, Bretagne avec 1 800 ha d'herbes aromatiques pour l'industrie, dans les régions Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur pour les aromates déshydratés.

### ***Les Plantes médicinales :***

Il s'agit du secteur le plus diversifié en nombre d'espèces et de répartition des cultures sur le territoire avec deux destinations principales : la molécule pour l'industrie pharmaceutique, la plante ou partie de plante pour la phytothérapie, la cosmétique, l'alimentation animale, les compléments alimentaires.

Contrairement aux deux secteurs précédents, celui des plantes médicinales est essentiellement organisé autour de sociétés privées. La région Centre, les Landes accueillent principalement les plantes industrielles en rotation avec les grandes cultures. Les Pays-de-Loire restent le berceau de la plante médicinale à forte valeur ajoutée, plutôt sur des exploitations très spécialisées. D'autres régions (Ardennes, Bourgogne, Auvergne, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon...) produisent des plantes médicinales dans des schémas de diversification à production très spécifique.

### ***Les Plantes de cueillette :***

Une centaine de plantes (pour environ 10 M€ de chiffre d'affaires) sont cueillies en France pour les besoins des industries pharmaceutiques, de la parfumerie et de l'industrie aromatique. L'impact des cueillettes sur l'environnement est surveillé. Le milieu naturel est aussi un réservoir important pour le développement des cultures. La cueillette reste une source très appréciable dans le développement de la filière PPAM.

## **Une exploitation PPAM et ses besoins**

### ***Présentation de l'exploitation agricole de Nadine LEDUC :***

Créée il y a 18 ans en territoire défavorisé (Morvan – zone de montagne), la “Ferme du Patuet” est une exploitation très spécialisée et en agriculture biologique. Les surfaces en production sont de 12 ha et la cueillette à l'état sauvage est pratiquée. Au total, une dizaine d'espèces sont travaillées. Ce secteur des PPAM permet de s'installer hors cadre familial, de mettre en place des agriculteurs qui n'ont pas forcément un potentiel en foncier. Cela permet aussi de maintenir une activité et la présence de familles dans des territoires défavorisés.

### ***Les besoins :***

De performances techniques pour rester compétitif : hormis les aides à l'installation, il n'y a pas d'aides à la production.

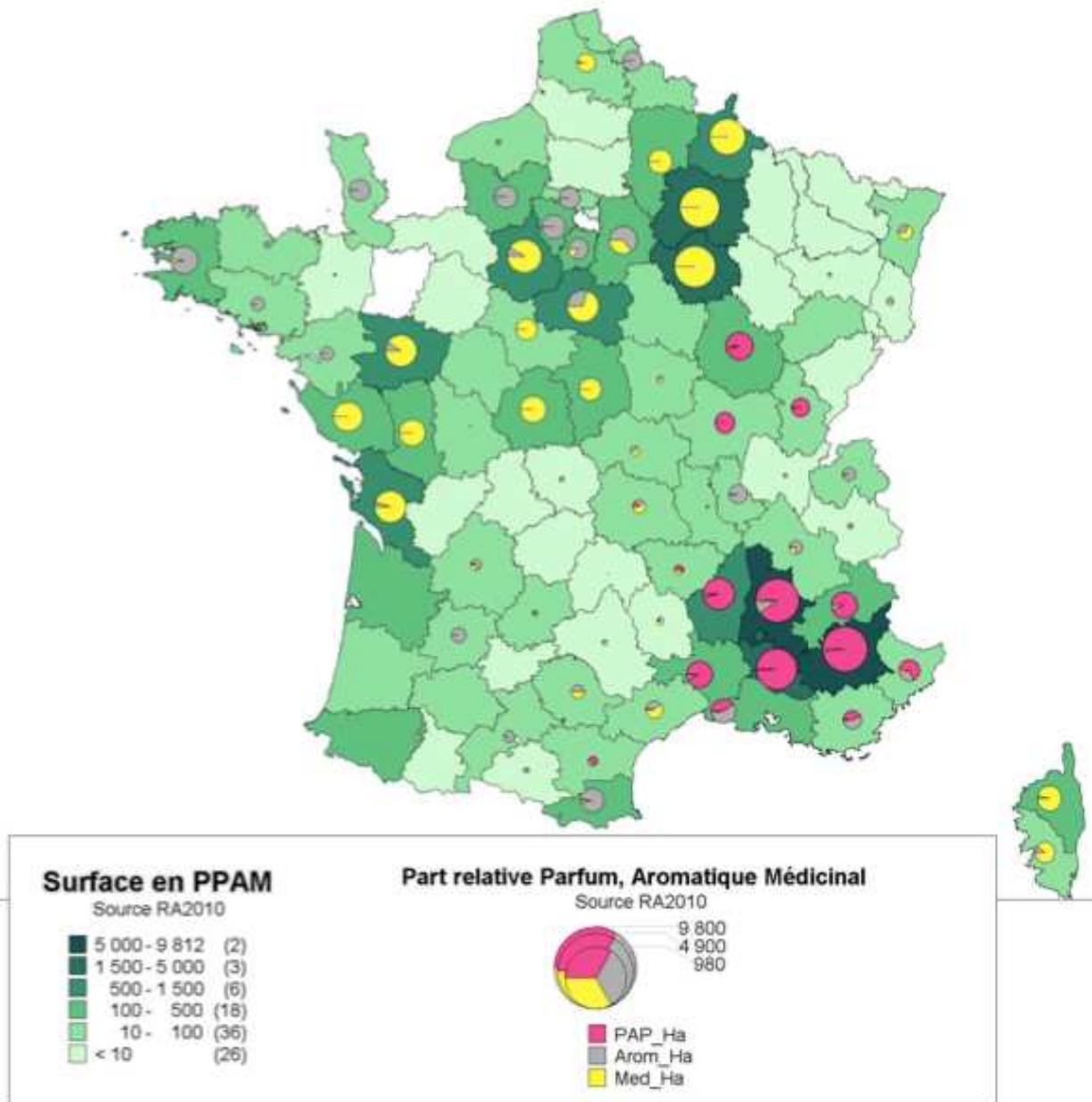
Pouvoir être informé et se préparer aux marchés de demain pour garder un temps d'avance.

Disposer de matériel végétal et d'itinéraires techniques qui donneront de la performance, pour être compétitif par rapport aux pays du pourtour méditerranéen, certains pays de l'Europe de l'Est et d'Europe centrale et aussi les pays d'Asie.

Pouvoir avoir accès à une expertise indépendante de nos clients qui permet à l'exploitant d'avoir de la pertinence lors de la négociation.

Disposer d'informations pour aider à la stratégie de l'exploitation.

Adapter l'exploitation aux évolutions réglementaires qui est très forte.



Graphique 1 :  
Répartition géographique de la production française des plantes à parfum, aromatiques et médicinales.  
Source FranceAgriMer

(Reçu le 16 juin 2013)

## LES ATOUTS ET LES CONTRAINTES DE LA PRODUCTION ET DE LA TRANSFORMATION DES PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES

par Jean-Pierre **Bouverat-Bernier**<sup>1</sup>

La présentation est structurée en quatre volets :

- rappel de quelques éléments de contexte de la production des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM),
- conséquences de ce contexte sur les activités de recherche appliquée aux PPAM,
- la création variétale, levier important de la compétitivité et du développement des productions,
- les perspectives de nouvelle valorisation des PPAM.

### Éléments de contexte de la production des PPAM :

Les plantes à parfum, aromatiques et médicinales ont la particularité d'être cultivées pour certains de leurs **métabolites secondaires** : morphine du pavot œillette, digoxine de la digitale laineuse, huiles essentielles de lavande, composés aromatiques des plantes condimentaires...

Elles font l'objet, dans leur grande majorité (tableau 1), d'une **extraction** de ces métabolites secondaires d'intérêt. Les extraits, plus ou moins purifiés, sont ensuite valorisés dans différentes industries : pharmacie, parfumerie, cosmétique, alimentaire, etc. avec des exigences de qualité pouvant être variables d'un secteur d'utilisation à l'autre.

Ces productions sont confrontées à une **concurrence** internationale très vive, les cours de plantes rendues dans les ports français étant par exemple souvent inférieurs au simple coût de l'énergie pour sécher lesdites plantes.

### Conséquences de ce contexte sur les activités de recherche appliquée aux PPAM

Dans ces conditions, comment la production et la transformation des PPAM sont-elles possibles en France ?

Les marges de manœuvre sur les **coûts de production** se sont réduites au fur et à mesure que les travaux d'optimisation ont délivré leurs résultats : entretien des cultures, mécanisation des récoltes et de la transformation. Deux postes de travail font encore l'objet de travaux : l'entretien des cultures et les opérations de post-récolte.

Avec les évolutions réglementaires sur l'emploi des produits phytopharmaceutiques, et également le besoin de mettre en œuvre des méthodes alternatives de **protection des cultures**, le programme de l'Institut et de ses organismes adossés fait encore une part belle à ce volet d'optimisation.

La **consommation d'énergie** en post-récolte constitue un autre point d'amélioration : réduction des consommations énergétiques lors du séchage des plantes (optimisation du processus de séchage, recherche de nouvelles sources d'énergie), réduction lors des processus d'extraction (optimisation de la distillation des huiles essentielles par exemple). Ces volets de travail sont pris en charge par le Crieppam<sup>2</sup>, un des organismes adossés à l'Iteipmai.

---

<sup>1</sup> Directeur technique de l'ITEIPMAI, Institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales et aromatiques.

<sup>2</sup> Crieppam : Centre régionalisé interprofessionnel d'expérimentation en plantes à parfum, aromatiques et médicinales.

Si des progrès restent accessibles en termes de coût de production-transformation, l'amélioration des **teneurs en principes actifs**, ou en principes recherchés, est, sans conteste, le **levier majeur de la compétitivité** des productions françaises. Ces teneurs sont le résultat de l'activité de différents facteurs : génétiques, physiologiques, environnementaux.

Sur le plan génétique, l'étude de populations d'origines variées fait apparaître une **forte variabilité** des teneurs en principes actifs entre et à l'intérieur des populations.

Les conditions de milieu, l'âge physiologique des plantes jouent également un rôle important sur les teneurs en principes actifs : les teneurs suivent souvent une **courbe en cloche** avec un maximum de teneurs en été. Cette évolution globale peut être affectée par des variations ponctuelles liées à l'énergie reçue par la plante au cours de la période précédant la récolte (5-15 j).

Les interactions entre facteurs sont faibles : l'étude de collections de clones d'une espèce placés dans des conditions de production très différentes peut faire apparaître des écarts de teneurs de 1 à 2, mais la hiérarchie des génotypes est souvent assez bien conservée.

## **La création variétale, levier important de la compétitivité et du développement des productions**

La **forte variabilité du caractère** "teneur en principes recherchés" trouve une illustration avec l'évaluation des teneurs en huile essentielle des feuilles de thym, réalisée par le Cnpmai<sup>3</sup> autre organisme adossé à l'Iteipmai (graphique 1) : une dispersion des teneurs en huile essentielle de 1 à 10 %, avec une moyenne à 4 % et un coefficient moyen de variation de près de 60 %, constitue un atout important pour le sélectionneur.

**L'héritabilité** des caractères de teneur en principes actifs est généralement assez bonne (nature « additive » des caractères). Le graphique 2 illustre cette notion d'héritabilité des teneurs en huile essentielle de la lavande (travaux iteipmai, 1999-2000) : les teneurs des lignées maternelles sont corrélées avec les teneurs des plantes mères qui leur ont donné naissance.

Forte variabilité génétique, bonne héritabilité des caractères justifient la mise en place de programmes d'amélioration génétique et de création variétales sur les PPAM : pour quels résultats ?

La digitale laineuse, productrice de composés cardiotoniques, a fait l'objet de travaux de création variétale à l'Iteipmai pendant près de 20 ans : dès le premier cycle de sélection, les teneurs en digoxine des feuilles ont été doublées (graphique 3). Des cycles successifs de sélection ont été entrepris (sélection récurrente) : des accroissements de teneurs de 15 % par cycle ont largement justifié l'intérêt d'un tel programme pour le commanditaire, un laboratoire pharmaceutique.

Si de tels accroissements de teneurs ne sont pas toujours accessibles, il est très souvent possible d'améliorer les teneurs en principes actifs de 50 à 100 %, en un cycle ou deux de sélection, ce qui constitue un avantage concurrentiel tout à fait important pour la production française.

Sur la sauge sclarée, productrice d'un composé, le sclaréol, utilisé en parfumerie (l'Ambrox, obtenu par hémisynthèse du sclaréol, a remplacé en grande partie l'ambre gris du cachalot), les résultats industriels d'extraction des pailles de la variété Scalia (obtention Iteipmai) sont en moyenne, sur trois années de production et l'ensemble des cultures, de + 40 % de teneurs en sclaréol par rapport aux variétés traditionnelles cultivées (graphique 4).

Ces bons résultats ont conduit l'Iteipmai, avec le soutien des deux organismes adossés, Cnpmai et Crieppam, à engager des programmes de création variétale sur une quinzaine d'espèces végétales (tableau 2). Le même type de travail de création variétale est mené sous contrat avec l'industrie pharmaceutique et l'industrie cosmétique.

Les nouvelles possibilités technologiques utilisables en amélioration des plantes ont conduit également l'Iteipmai, avec son partenaire de l'horticulture ornementale, l'Astredhor, à évaluer la faisabilité de la toute nouvelle **sélection génomique**, appliquée à la production de parfum de la rose et de la lavande (programme GéoParfum, réalisable uniquement avec le soutien de la recherche publique).

La **création variétale** constitue ainsi l'**axe majeur** de travail de l'Iteipmai : il s'agit de l'outil le plus efficace pour améliorer les teneurs en principes actifs. Les schémas de sélection sont adaptés, sur le plan

<sup>3</sup> Conservatoire national des Plantes à Parfum médicinales, aromatiques et industrielles.

économique, à ces productions (schéma devant permettre une sortie variétale en 3-5 ans pour une espèce annuelle, 6-8 ans pour une espèce bisannuelle).

Les deux autres volets prioritaires de travail sont la protection des cultures et la recherche de nouvelles valorisations industrielles des PPAM.

Ce programme, resserré en termes d'espèces et de thématiques travaillées au vu de la situation de la production (cf. intervention de Nadine Leduc), est issu d'une méthode de programmation quinquennale : les adhérents de l'Iteipmai (et de ses organismes adossés) sont interrogés sur leurs difficultés de développement. Leurs propositions sont ensuite évaluées et hiérarchisées par les instances professionnelles *ad hoc*, pour n'en retenir en général qu'une sur trois. Le Conseil d'orientation scientifique et technique (Cost) de l'Iteipmai insufflé, quant à lui, une dimension prospective sur les nouveaux besoins (nouvelles utilisations potentielles des PPAM) et les grands enjeux de l'agriculture (adaptation aux changements climatiques, au contexte énergétique, aux demandes sociétales).

L'ensemble des programmes du Réseau PPAM (Iteipmai, Cnpmai, Crieppam) ainsi élaboré fait appel au soutien de la recherche d'amont (INRA, universités). Ce soutien est à construire pour chacune des opérations du programme, les PPAM étant de ce point de vue des « espèces orphelines ». Les partenariats se construisent également avec les organismes du développement agricole et d'autres instituts de recherche appliquée, notamment pour travailler sur les perspectives d'emploi des PPAM et de leurs extraits dans différents secteurs agricoles.

Deux contributions récentes peuvent utilement compléter cette présentation :

- l'état des lieux des résultats et projets de l'Iteipmai (1), publié en 2012 lors de la procédure d'habilitation de l'Iteipmai auprès du Ministère de l'Agriculture,
- un point d'étape concernant le dépérissement de la lavande et du lavandin (2), publié en 2012 dans le cadre des Carrefours de l'innovation agronomique ; cet article illustre bien la façon dont l'Iteipmai et/ou ses organismes adossés peuvent solliciter la recherche publique sur des enjeux agronomiques et territoriaux très importants.

### **Les perspectives de nouvelle valorisation des PPAM**

En effet, à côté des secteurs utilisateurs "classiques" des PPAM (pharmacie, parfumerie, cosmétique, alimentaire), de **nouvelles perspectives d'emploi** se sont ouvertes dans le domaine des compléments alimentaires (valorisation des antioxydants naturels) et de l'alimentation animale (substitution aux antibiotiques utilisés comme facteurs de croissance jusqu'en 2006, réduction de l'éruclation de méthane par les gros bovins, et donc des gaz à effet de serre, par incorporation dans la ration de plantes à saponines).

D'autres possibilités de valorisation des PPAM sont à l'étude : produits naturels en protection des cultures (programme GreenProtect), désinfectants naturels.

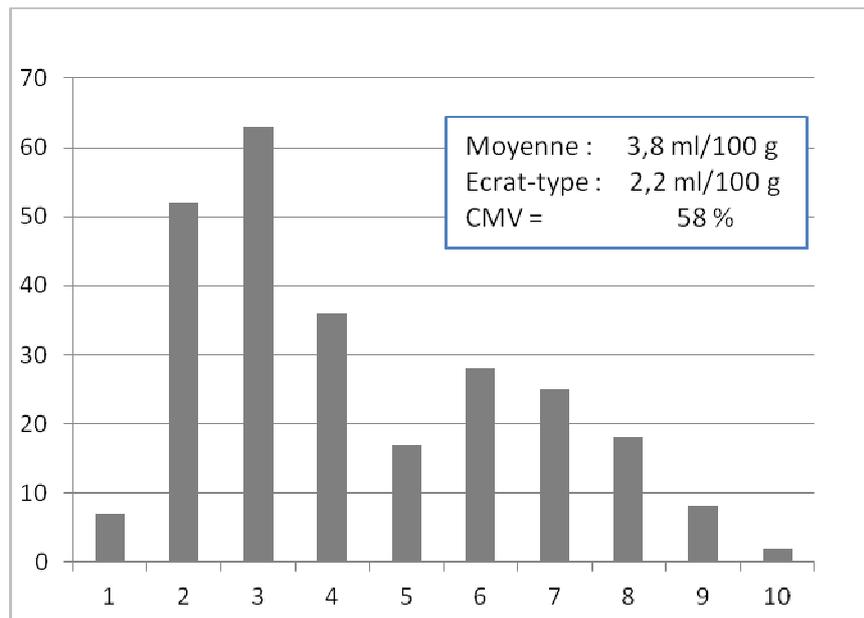
Dernière réflexion que l'Iteipmai va mener, avec l'appui de son Cost et de partenaires de la recherche publique et d'autres filières végétales : les PPAM n'auraient-elles pas la possibilité de rendre des **services écosystémiques** ? La diversité des espèces, leurs caractéristiques hétérogènes, laissent à penser qu'une valorisation (sans récolte commerciale de la PPAM) est possible : plantes couvrantes pour les interrangs de plantes pérennes (piloselle), plantes relais, mellifères...

### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

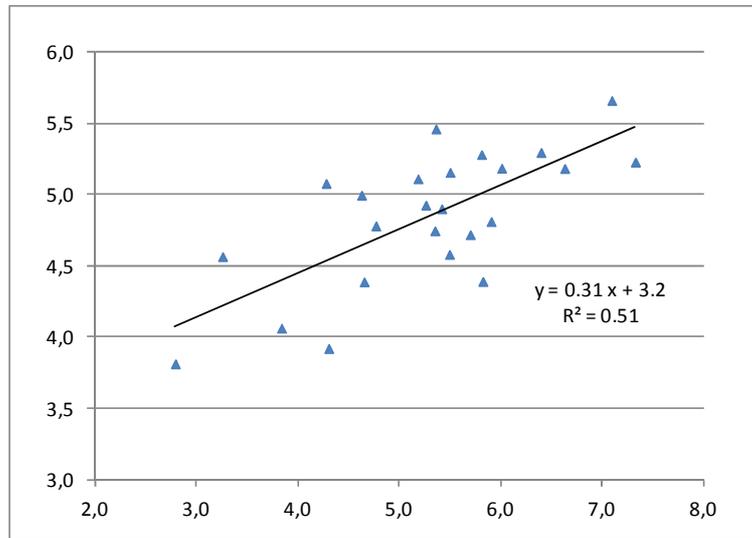
- (1) ITEIPMAI, 2012 – Qualification ; dossier de candidature – 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> parties, p. 1 à 74.
- (2) CHAISSE E. *et al.*, 2012. - Amélioration des stratégies de lutte contre le dépérissement de la lavande et du lavandin. Innovations Agronomiques 25, 179-192.

**Tableau 1 :**  
Surfaces de culture de plantes à parfum, aromatiques et médicinales  
Surfaces destinées à l'extraction végétale  
(Source ITEIPMAI)

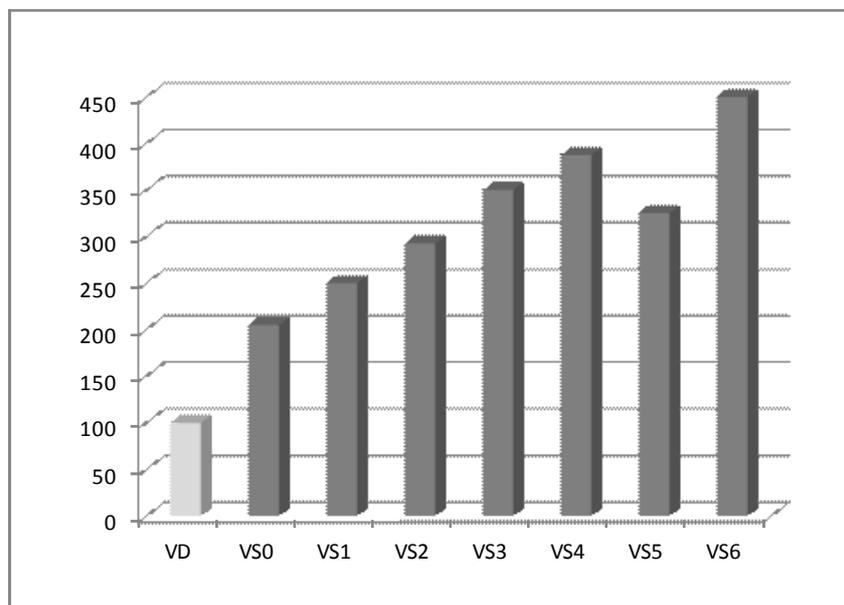
	Surfaces totales (ha)	Surfaces pour extraits (ha)
Plantes à parfum	20 000	20 000
Plantes aromatiques	2 500	500
Plantes médicinales	15 500	14 000
<b>Total</b>	<b>38 000</b>	<b>34 500</b>



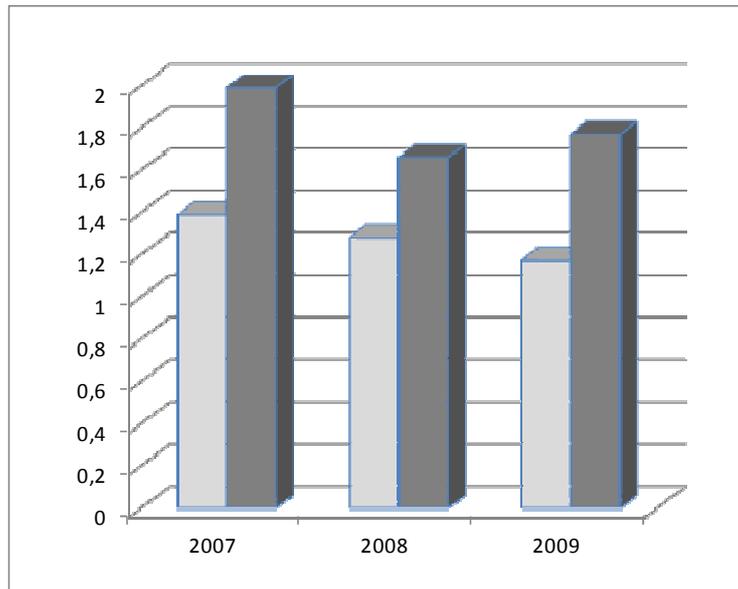
**Graphique 1 :**  
Fréquence des pieds de thym par classe de teneurs en huile essentielle (ml/100 g feuilles MS).  
(source Cnppmai, 2002)



**Graphique 2 :**  
Régression des teneurs en huile essentielle (%) des plantes mères (en abscisse) et des lignées maternelles descendantes (en ordonnée) de lavande  
(Source Iteipmai, 1999-2000)



**Graphique 3 :**  
Evolution des teneurs en digoxine des variétés de digitale laineuse créées par l'Iteipmai par sélection généalogique maternelle récurrente  
Indice 100 : variété de départ (VD)  
(Source Iteipmai)



**Graphique 4 :**

Teneurs en sclaréol des parties aériennes (%) de la variété sélectionnée Scalia (obtention Iteipmai) de sauge sclarée (en sombre) comparées au témoin (en clair), en production agricole, sur trois années de production. (Source Criepmam, 2010)

**Tableau 2 :**

Espèces végétales ayant fait l'objet de création variétale par l'Iteipmai

Plantes à parfum	Lavande
	Lavandin
	Sauge sclarée
Plantes aromatiques	Thym
	Origan
	Sauge officinale
	Matricaire
Plantes médicinales	Angélique
	Matricaire
	Mélisse
	Mélilot
	Millepertuis perforé
	Valériane

(Reçu le 16 juin 2013)



## **L'INNOVATION DE LA GRAINE À L'EXTRAIT L'AVENIR DE LA PLANTE MÉDICINALE ?**

par Alban Muller<sup>1</sup>

Alban Muller International (A.M.I.), société créée en 1978, compte aujourd'hui 110 personnes, réalise un chiffre d'affaires de 22 millions d'euros et exporte 70% de sa production dans 50 pays. A.M.I. développe et fabrique des produits issus du règne végétal pour les industries cosmétique, pharmaceutique et alimentaire, et offre une expertise complète « de la graine au produit final » à ses différents clients.

Afin de bénéficier d'une ressource végétale de qualité et d'assurer une amélioration continue de son activité, A.M.I. a noué des partenariats avec des agriculteurs locaux dans la *Cosmetic Valley* près de Chartres. Dans ce cadre, A.M.I. travaille également avec l'assistance d'instituts professionnels tels que l'ITEIPMAI (Institut technique interprofessionnel des plantes médicinales aromatiques et industrielles) dont les recherches portent sur la sélection variétale. Le but est d'améliorer le rendement et la résistance des plantes afin de réduire les intrants d'une part, et d'obtenir d'autre part des plantes riches en principes actifs qui feront plus tard l'objet d'extraction et seront commercialisés sous forme d'extraits végétaux de qualité.

Au sein d'un contexte mondial de compétitivité effrénée, A.M.I. a délibérément choisi de fabriquer en France en favorisant largement les matières premières françaises pour proposer des produits d'excellence. La principale force d'A.M.I. réside en sa maîtrise de la filière complète, de la graine au produit final, soutenue par une recherche continue d'amélioration et de sécurisation à chaque étape de ses procédés. La technicité nécessaire à cette maîtrise de la production d'extraits est conquise grâce à l'innovation qui suit trois axes principaux : l'amélioration qualitative des plantes, l'éco-extraction du végétal et le contrôle analytique.

### **1. L'amélioration qualitative des plantes**

En tout premier lieu, c'est sur les plantes médicinales, véritables « usines de synthèse de molécules naturelles » qu'AMI porte son attention, en cherchant à améliorer l'efficacité et la sécurité d'emploi de ces molécules appelées « actifs » ou « principes actifs ».

L'amélioration végétale est un atout important pour l'avenir de l'utilisation des plantes médicinales, dans le cadre d'une industrie qui doit être exemplaire en ce qui concerne le développement durable et le respect de l'environnement. Un outil primordial consiste en la sélection variétale : dans le domaine des plantes médicinales elle se fait le plus souvent pas sélection massale, mais également par hybridation puis sélection des meilleurs hybrides pour les plantes à fort potentiel économique.

Cette sélection doit être guidée par trois préoccupations majeures :

- le niveau des rendements et leur régularité qui restent des axes permanents de la recherche. Plus la production de biomasse est élevée, plus le coût de production sera faible et donc compétitif ;
- la capacité des plantes à s'auto-défendre est également fondamentale. Par exemple, la sélection de variétés résistantes aux maladies permet de réduire ou de supprimer l'utilisation de fongicides. Cette sélection des caractères de résistance permet de diminuer les intrants qui ne seront utilisés qu'en cas de nécessité et en quantité minimale, diminuant ainsi les risques de présence de contaminants dans les plantes ;

---

<sup>1</sup> Président d'Alban Muller International.

- enfin, la qualité technologique des plantes doit être au cœur des programmes de sélection pour répondre aux différents besoins des transformateurs. La teneur en principes actifs doit être la plus élevée possible afin de diminuer les quantités de plantes à sécher, à transporter et à transformer, réduisant ainsi de façon significative l'impact environnemental. En effet le bilan carbone d'un extrait de plante est majoritairement affecté par les opérations post-récolte telles que le séchage, le broyage, le transport et le procédé de fabrication de l'extrait végétal. Une teneur plus élevée en actifs permet de traiter une plus faible quantité de plantes et conduit à un bilan carbone plus avantageux.

Les techniques culturales peuvent contribuer également à l'amélioration de la qualité des plantes, notamment en termes de rendements « qualitatifs ». Ainsi le choix entre semis de graines ou mise en place de plants, la densité de plantation, le binage peuvent influencer le comportement de la plante et par conséquent sa qualité.

Les conditions de récolte participent aussi à la qualité de la plante. La récolte doit être réalisée à la date optimale par rapport à la teneur en principes actifs des parties à utiliser. De même, les conditions climatiques peuvent jouer un rôle important, un temps sec étant beaucoup plus favorable à la conservation des parties fragiles de la plante.

Les transformations après récolte (lavage, tamisage, coupe des plantes, séchage, etc.) doivent respecter certaines conditions, en particulier le taux d'humidité, permettant de préserver la qualité des plantes. Aussi il est nécessaire de pratiquer des contrôles adaptés à toutes les étapes de cette chaîne depuis l'identification de la plante jusqu'à la récolte et au stockage.

La collaboration d'A.M.I. avec l'ITEIPMAI, organisme professionnel de recherche qualifié par le Ministère de l'Agriculture pour la filière plantes à parfum, aromatiques et médicinales, trouve dans ce cadre toute sa justification et permet à la Société d'atteindre le niveau de qualité recherché pour sa matière première essentielle : la plante.

L'industrie raisonne aujourd'hui en termes de teneur en principes actifs et non plus en quantité de plante utilisée pour fabriquer les extraits. Il est donc primordial d'avoir à sa disposition des plantes à la teneur optimale en principes actifs.

Prenons comme exemple la matricaire. La teneur en actifs de la fleur (flavonoïdes dans ce cas de figure) est passée de 1 à 3 % grâce à la sélection variétale. L'extrait sec natif obtenu par extraction hydro-alcoolique puis séchage complet, servant de base à la fabrication des extraits commercialisés, pourra lui, atteindre 15% au lieu de 5 % (tableau 1). Ce niveau élevé en principes actifs permet d'utiliser moins d'extrait natif pour la fabrication d'extraits standardisés, et donc moins de plante.

En contrepartie l'agriculteur valorise ses plantes, non plus au kilogramme, mais à la teneur en principes actifs. En conséquence il utilisera moins de terrain, moins d'eau et réalisera moins de travaux agricoles. L'environnement sera mieux respecté puisqu'avec des plantes sélectionnées, il pourra réduire son empreinte carbone. Le bilan carbone prévu à l'étiquetage des produits commercialisés selon les recommandations du Grenelle 2 de l'environnement (graphique 1) sera ainsi plus favorable.

## **2. L'éco-extraction du végétal**

La garantie de qualité des extraits végétaux passe par l'amélioration constante de leurs procédés d'obtention. A.M.I. travaille sur toutes les dimensions de l'éco-responsabilité, avec notamment des techniques d'extraction douces ne recourant pas à des solvants toxiques et ne produisant pas de rejets nuisibles pour l'environnement. L'utilisation de procédés d'extraction consommant extrêmement peu d'énergie, et des techniques innovantes de séchage des extraits à basse température par zéodratation (déshydratation mettant en œuvre des zéolithes), réduisent considérablement la consommation d'énergie et préservent la qualité des molécules. Le traitement des eaux résiduelles industrielles par des « Jardins Filtrants » qui permettent de rejeter à la rivière une eau de qualité piscicole, complète la recherche constante du respect de l'environnement et du développement durable.

### 3. L'exigence de contrôles

Les exigences de sécurité des industries de la beauté, de la santé et de l'alimentaire sont de plus en plus drastiques. La détermination de la teneur en principes actifs de la plante constitue un contrôle important mais dans le contexte sécuritaire actuel, de nombreux contrôles supplémentaires doivent être effectués pour rassurer le consommateur et les autorités.

Dès le départ, il faut identifier la plante à réception de façon indiscutable et faire appel si nécessaire à des techniques sophistiquées telle la reconnaissance génomique. Mais la sécurité des produits appelle également le contrôle des contaminants issus soit de la culture : microorganismes, pesticides, métaux toxiques, mycotoxines, soit de la pollution humaine : benzopyrènes, dioxines, HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), radioactivité... Travailler en filière courte au niveau français permet, grâce à la proximité, la collaboration et le dialogue qui s'instaure entre les industriels et les producteurs de plantes, de mieux maîtriser la présence de ces contaminants. Dans ces conditions de partenariat, les contrôles sont menés en toute transparence et confiance, ce qui en limite le nombre tout en garantissant une parfaite qualité et sécurité des plantes.

#### Un avenir radieux attend-il la filière des plantes médicinales ?

Nous vivons un certain nombre de scandales pharmaceutiques et d'accidents industriels qui engendrent la méfiance des consommateurs vis-à-vis des molécules issues de la chimie. La question de leur innocuité pour l'homme et de leur nocivité pour l'environnement est soulevée. Rien d'étonnant alors d'un retour à la nature, aux médecines douces et aux produits bio sous diverses formes, plus ou moins bien compris, plus ou moins justifiés. Il nous incombe d'imposer sur ce nouveau marché un véritable travail d'experts faisant appel à la science et à la recherche, pour mettre à la disposition des consommateurs des actifs plus bio-compatibles, « domestiqués », efficaces, techniquement irréprochables et obtenus dans le respect de l'environnement. La production de plantes médicinales comme source de matière première propre et consensuelle, a donc potentiellement le vent en poupe.

#### La production française dans ce contexte

Si nous continuons à prendre en compte ces exigences de respect de l'environnement, d'efficacité et de sécurité, la réussite est assurée. C'est une contrainte mais c'est également une stimulation pour innover et impliquer les services de R&D. La production française est en bonne position pour répondre à ces exigences et n'a comme limite que l'impossibilité de cultiver des plantes nécessitant un climat trop différent (c'est le cas des plantes tropicales parfois utilisées en cosmétique).

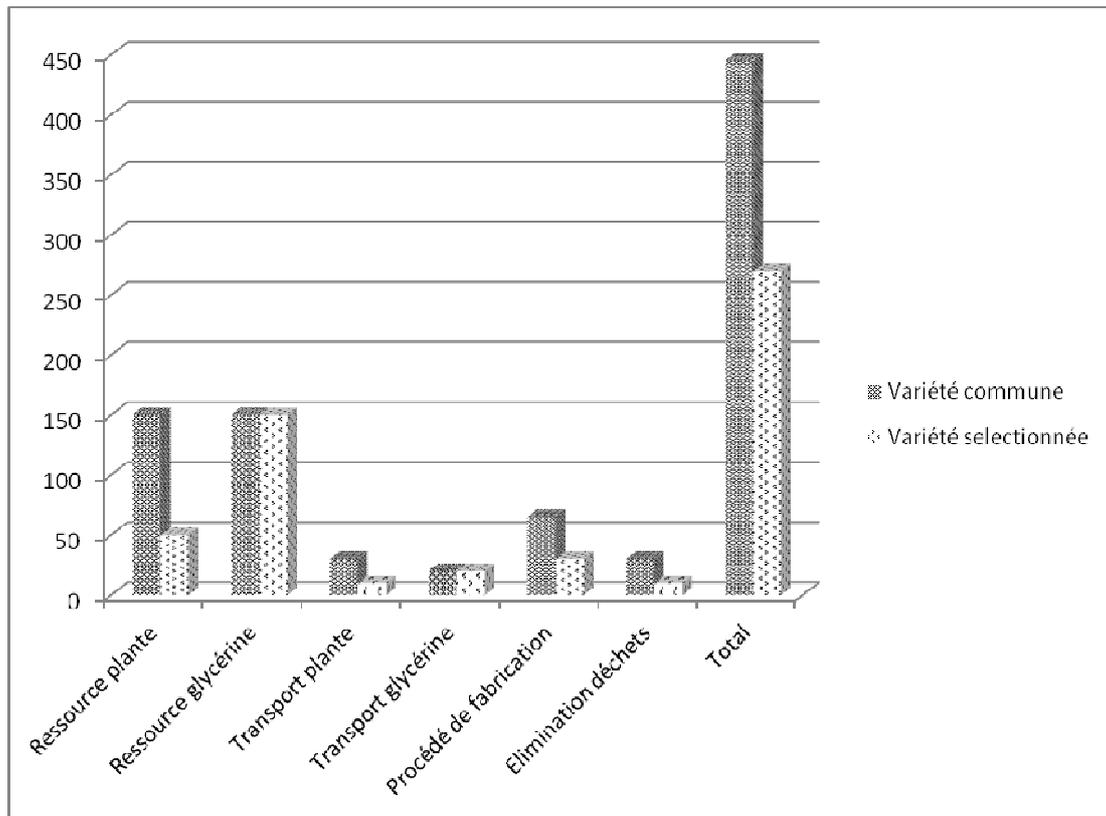
Les prix à la production sont impactés à la hausse mais ils sont compensés par des garanties supérieures dont les clients ne peuvent plus se passer du fait des réglementations drastiques mises en place dans tous les domaines. Le prix n'est plus le seul élément de décision d'achat, mais il passe à présent après les garanties de sécurité.

Maintenons nos atouts de sécurité, de qualité, de traçabilité et d'innovation sur nos produits et la production des plantes médicinales en France aura de beaux jours devant elle. D'où l'importance de structures telles que l'ITEIPMAI pour apporter un soutien technique aux agriculteurs dans cette démarche d'excellence.

*(Reçu le 4 juillet 2013)*

**Tableau 1 : Amélioration de la qualité des plantes  
À qualité égale, utilisation d'une moindre quantité**

Composition	Fleur de Matricaire <i>Matricaria recutita</i>		Extrait sec natif extraction hydro- alcoolique		Extrait sec standardisé théorique		Extrait sec optimal
	variété commune	variété sélectionnée	variété commune	variété sélectionnée	variété commune	variété sélectionnée	variété sélectionnée
<b>Glucides (polysaccharides)</b>	60%	60%	63%	56%	50%	15%	<b>38%</b>
<b>Protides (protéines)</b>	20%	20%	5%	4%	4%	1%	<b>2,50%</b>
<b>Lipides</b>	3%	3%	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1%	<b>&lt; 0,1%</b>
<b>Principes actifs : flavonoïdes</b>	<b>1,00%</b>	<b>3,00%</b>	<b>5,00%</b>	<b>15,00%</b>	<b>4%</b>	<b>4%</b>	<b>10%</b>
<b>Matière minérales</b>	10%	10%	17%	15%	14%	4%	<b>10%</b>
<b>Adjuvant maltodextrine</b> :	/	/	/	/	20%	75%	<b>20%</b>
<b>Quantité plante pour 1kg d'extrait</b>	/	/	6 kg	6 kg	<b>4,8 kg</b>	<b>1,6 kg</b>	<b>4 kg</b>



**Graphique 2 : Une plante sélectionnée, un meilleur bilan carbone**

**L'EMPLOI DES PRODUITS NATURELS POUR LA PROTECTION DES CULTURES  
PERSPECTIVES ET LIMITATIONS  
UNE OPPORTUNITÉ POUR LA FILIÈRE DES PLANTES AROMATIQUES  
FRANÇAISES ?**

par Daniel Joulain<sup>1</sup>

### **Introduction**

Bien que n'étant pas véritablement un spécialiste dans le domaine de l'application des huiles essentielles pour la protection des cultures, je souhaite néanmoins vous donner mon point de vue d'expert en matière de développement de produits naturels, dans ce domaine particulier.

Dans le contexte de réduction drastique du nombre des produits phytosanitaires voulue par l'Union européenne, l'utilisation des pesticides doit être compatible avec le développement durable. Dans son article 14, la directive européenne 2009/128/CE instaure un cadre d'action communautaire qui prévoit explicitement la promotion, dès 2014, de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures.

Déjà bien connues pour leurs pouvoirs herbicide et fongicide, entre autres, les huiles essentielles offrent des perspectives attrayantes comme ingrédients de lutte biologique contre divers phytopathogènes des grandes cultures européennes. Alors que divers programmes sont conduits en France et ailleurs pour évaluer l'intérêt de certains produits naturels pour de telles applications contre les ravageurs, les champignons pathogènes, les adventices, les bactéries et virus, il semble que relativement moins d'attention soit portée à définir les substances visées, en relation avec leur mode d'obtention pour une efficacité optimale (Regnault-Roger, 2005). Ainsi, est-il justifié de centrer l'intérêt uniquement sur une huile essentielle d'une plante aromatique, plutôt que sur un extrait, un isolat ou même un dérivé synthétique d'un isolat naturel de cette plante?

Quelle que soit la substance naturelle, complexe ou non, divers éléments doivent être considérés : la stabilité chimique dans les conditions d'utilisation, en regard de processus de dégradation, oxydation, polymérisation etc. La sélectivité et la spécificité de l'action recherchée en relation avec le dosage, pour minimiser tout effet adverse sur la santé ou l'environnement, incluant les organismes aquatiques. Enfin, mais sans que ce soit un élément obligatoire, la production des substances naturelles biologiquement actives devrait satisfaire de préférence aux critères de l'*éco-extraction*.

### **Les produits phytosanitaires : aspects réglementaires de la mise en marché dans l'Union européenne.**

La mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, donc destinés à la protection des cultures, est soumise au règlement (CE) 1007/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009.

Selon les termes de cet acte, les produits phytopharmaceutiques sont constitués de substances actives, phytoprotectrices ou synergistes, ou en contenant, et destinés à :

- protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou prévenir l'action de ceux-ci (sauf si ces produits sont censés être utilisés principalement pour des raisons d'hygiène plutôt que pour la protection des végétaux ou des produits végétaux),
- exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, telles les substances, autres que les substances nutritives, exerçant une action sur leur croissance,
- assurer la conservation des produits végétaux (pour autant que ces substances ou produits ne fassent pas l'objet de dispositions communautaires particulières concernant les agents conservateurs),
- détruire les végétaux ou les parties de végétaux indésirables, à l'exception des algues,
- freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux, à l'exception des algues.

---

<sup>1</sup> SCBZ Conseil, Grasse.

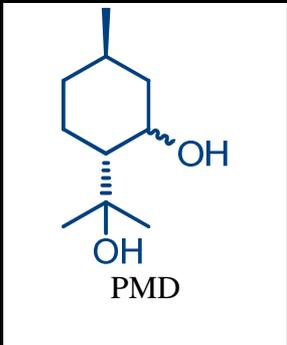
**Remarque :** les substances actives sont les substances ou microorganismes, y compris les virus, exerçant une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux.

### Huiles essentielles et extraits : caractéristiques et emplois

Je reviendrai plus loin sur la différenciation entre les huiles essentielles et les extraits de plantes. Les huiles essentielles sont surtout utilisées dans les parfums, les cosmétiques et les arômes alimentaires, un domaine que je connais bien, ayant été responsable de la R&D chez Robertet pendant plus de 25 ans. Elles servent aussi à préparer des isolats qui sont surtout utilisés dans les domaines où on a besoin de revendiquer l'emploi exclusif de produits naturels. Ces isolats peuvent parfois être transformés en produits de synthèse difficiles d'accès autrement. Dans une présentation précédente, Jean-Pierre Bouverat-Bernier a mentionné l'excellent exemple pour la préparation de l'Ambrox® à partir du sclaréol, ce dernier pouvant être considéré comme un sous-produit du traitement de la sauge sclarée en huile essentielle.

Les huiles essentielles servent aussi dans des préparations pharmaceutiques, ainsi qu'en aromathérapie, un important marché qui échappe souvent à tout contrôle (ce qui présente un vrai problème), et à un degré moindre en « aromachologie » dans certains pays. Certaines d'entre-elles sont utilisées aussi comme additifs en alimentation animale, comme cela a été mentionné précédemment. Elles sont utilisables également comme répulsifs d'insectes. A titre d'exemple, on peut citer le *p*-menthane-3,8-diol (PMD) présent dans *Eucalyptus citriodora*, et en faible quantité dans l'huile essentielle. C'est également une substance à effet physiologique rafraîchissant qui justifie son utilisation dans certaines applications alimentaires et d'hygiène buccale. Testé en comparaison avec des répulsifs classiques, il montre une efficacité remarquable, quoique légèrement inférieure à celle de certains *best sellers* (tableau 1).

**Tableau 1 :** Effet répulsif du PMD sur le moustique *Ochlerotatus taeniorhynchus* (Bamard *et al.* 2002)

		% moyen de répulsion
	Merck IR3535	88,6
	Bayer KBR3023 (Bayerepel®)	97,5
	<i>para</i> -menthane-3,8-diol (PMD)	89,2
	DEET	94,8

Quand on effectue une recherche documentaire sur les propriétés des huiles essentielles en relation avec des activités phytosanitaires, en utilisant la base de données des *Chemical Abstracts* (CAS), on obtient un grand nombre de réponses (tableau 2).

**Tableau 2 :** Interrogation de la base CAS (17 juin 2013)

Termes de recherche	Nombre de réponses
essential(W) oil	37 136
AND (bactericid? or antibacter ?)	2 973
AND (fungicid? OR insecticid? OR larvicid? OR nematocid ? OR nematocid? OR ovid ?)	3 127
AND pesticid ?	433

Par exemple, en associant « huile essentielle » et uniquement deux termes relatifs aux activités antibactériennes, on obtient près de 3 000 réponses, et un nombre un peu supérieur de réponses (3 132) quand on cible seulement cinq termes associés à des activités plutôt phytosanitaires. L'association au terme « pesticide » est biaisée car elle fournit des références concernant aussi bien la contamination des huiles essentielles par des résidus de pesticides ; elle est donc dépourvue de pertinence.

Ces résultats riches peuvent conduire à considérer que ce domaine est particulièrement actif, d'autant plus que la majorité des travaux publiés, indexés dans la base l'ont été récemment. Or ceci n'est qu'une apparence en regard du nombre des applications réelles, matérialisées par les produits homologués dans divers pays.

En réalité, il existe un très grand nombre de travaux à caractère académique, parmi lesquels on peut tirer au hasard un exemple typique tel que celui décrivant l'activité nématocide d'huiles essentielles sur l'anguillule des tiges *Ditylenchus dipsaci* (Zouhar *et al.* 2009). S'agissant d'huiles essentielles très riches en phénols comme l'eugénol dans le girofle (*Eugenia spp.*), et le carvacrol ou le thymol (*Oreganum spp.* et *Thymus spp.*) (figure 1), il n'est guère douteux que ces substances déjà bien connues pour leur activité biologique, sont responsables de l'activité nématocide ; or les auteurs de ce travail ont apparemment négligé de tester ces substances triviales isolées et disponibles à l'état pur. Quand les données sont facilement accessibles, contrairement à celles que détient le ministère de l'Agriculture français, il est intéressant d'observer ce qui se passe dans d'autres pays. Par exemple aux États-Unis, sur les 109 produits ayant reçu une homologation par l'Agence durant la période 1997-2010, seulement 7 étaient des produits naturels (Cantrell *et al.*, 2012).

### Les produits phytosanitaires dérivés de plantes en France

Il existe en France quatre catégories de produits phytosanitaires dérivés des plantes, et leur statut réglementaire est donné dans le tableau 3. Tant une huile essentielle qu'un extrait aux solvants d'une plante donnée sont considérés comme des produits phytosanitaires au sens strict et sont soumis au règlement (CE) 1007/2009.

**Tableau 3** : Produits phytosanitaires dérivés de plantes

Produit	Type	Réglementation associée
<b>plante entière, partie de plante, extrait à l'eau</b>	Produit phytosanitaire au sens strict, catégorie des substances à faibles risques (*)	Règlement (CE) 1007/2009
	Produit phytosanitaire, type substance de base (**)	Règlement (CE) 1007/2009; article 23 (SANCO/10363/2012)
	Produit biocide	Aucune jusqu'au 15/05/2014
	Engrais	Norme NFU 42-001
<b>huile essentielle</b>	Produit phytosanitaire au sens strict	Règlement (CE) 1007/2009
<b>huile fixe</b>	Produit phytosanitaire au sens strict, catégorie des substances à faibles risques (*)	Règlement (CE) 1007/2009
	Produit phytosanitaire au sens strict	Règlement (CE) 1007/2009
<b>autre extrait</b>	Produit phytosanitaire au sens strict	Règlement (CE) 1007/2009

(\*) le concept de PNPP (Préparations naturelles peu préoccupantes) a été abandonné car non compatible avec le règlement 1007/2009. Dorénavant, les extraits concernés seront homologués comme produits phytosanitaires au sens strict, dans la catégorie « substances à faibles risques » (Guérin, 2012).

(\*\*) substance active non utilisée principalement comme produit phytosanitaire, mais qui peut être utile pour la protection des végétaux, et pour laquelle l'intérêt économique de faire une demande d'homologation peut être limité.

Nonobstant celles dont les dossiers sont constitués et/ou en cours d'homologation (exemple *Tagetes erecta*), il n'existe que trois huiles essentielles pourvues d'une AMM (Autorisation de mise sur le marché), et utilisables en agriculture biologique (tableau 4).

**Tableau 4 : Huiles essentielles utilisées en agriculture biologique**

Huile essentielle	Applications	Concentration	Nom commercial	N° AMM
Orange douce	acaricide, fongicide, insecticide	60 g/l	LIMOCIDE PREV-AM	2100127
Girofle	fongicide	203,8 g/l	BIOXEDA	2110075
Menthe verte	Inhibiteur de germination	950 g/l	BIOX-M	2100194

Les trois principaux constituants des ces huiles essentielles sont respectivement le (*R*)-(+)-limonène (« *d*-limonène », orange), l'eugénol (girofle) et la (*R*)-(-)-carvone (« *l*-carvone », menthe) (figure 1). Sauf dans le cas de la carvone, qui ne représente qu'un peu moins de 50% de l'essence, le limonène et l'eugénol constituent la majeure partie des autres essences et même 95% dans le cas du limonène de l'essence d'orange. Autant dire que la « pureté » de 95% mentionnée dans le dossier d'homologation de cette huile essentielle revient à désigner le limonène, dont le prix n'excède pas quelques euros par kg sur le marché. Dès lors, on peut se demander s'il n'est pas préférable d'utiliser certains isolats naturellement présents dans une huile essentielle plutôt que l'essence *est totum*. Dans le cas du limonène/essence d'orange, par exemple, les obligations d'étiquetage sont en vigueur : Xn (nocif), R20, R36, R43, N (dangereux pour l'environnement !), mais il ne faut pas sous-estimer le risque qu'un tel produit, sous-produit de l'industrie du jus d'orange, puisse contenir en concentration non négligeable des résidus de pesticides de synthèse, tels que le Thiabendazole ® et l'Imazalyl ® utilisés sur les fruits comme antifongiques post-récolte.

### Exemples d'autres produits naturels utilisables en protection des cultures

En restant dans cette approche « isolat », je vais citer maintenant deux exemples, pris parmi de nombreux autres, de produits naturels utilisables en protection des cultures.

La leptospermone fut repérée dès 1977 pour ses propriétés herbicides. Cette tricétone existe dans des huiles essentielles de certaines myrtacées, dont celle de *Leptospermum scoparium* à côté de substances voisines (isoleptospermone, flavesone, etc., (figure 1). Suite à cette découverte, de nombreux analogues synthétiques très actifs ont été préparés comme, *inter alia*, la Sulcatrione ® et la Mesotrione ® (figure 1), dont on sait aujourd'hui que les propriétés herbicides résultent de l'action sur la p-hydroxyphenylpyruvate dioxygénase dans la plante.

Bien qu'il soit aisé d'isoler les tricétones naturelles à l'état pur à partir des huiles essentielles de plantes (cultivables !) qui les contiennent, par simple extraction à la soude, on a préféré jusqu'ici promouvoir des produits analogues de synthèse (plus stables chimiquement et moins volatils ?).

Dans cette catégorie, on peut citer aussi le platyphyllol (figure 1), une autre substance analogue et caractéristique d'une espèce *Melaleuca cajuputi*, myrtacée, abondante en Indonésie notamment. Au cours d'un programme visant à développer la production de cette substance isolée, pour ses propriétés comme filtre solaire et antibactérien (Robertet, 1993), j'avais eu l'occasion de remarquer ses propriétés herbicides marquées, en observant l'absence d'herbe sous les arbustes de *M. cajuputi*.

Cet exemple me donne la possibilité de décrire ici brièvement les problèmes associés à l'obtention industrielle de telles substances (tableau 5).

**Tableau 5** : Traitements industriels à l'échelle pilote des feuilles de *M. cajeputi*

<b>Distillation à la vapeur d'eau</b>			
Charge :	36 Kg		
Huile essentielle :	0,224 Kg (Rdt. 0,71%)		
Platyphyllol :	12,5% (GC) ; (HPLC)	17%	<b>TR(*) : 71%</b>

<b>Extraction à l'hexane</b>			
Charge :	85,6 Kg		
Essence résinoïde :	2,200 Kg (Rdt. 2,54%)		
Essence absolue :	1,500 Kg (Rdt. 1,71%)		
Platyphyllol :	5,0% (HPLC)		<b>TR : 42%</b>

(\*)TR : Taux de recouvrement

Deux procédés industriels classiques peuvent être appliqués aux feuillages secs du *Melaleuca cajeputi* : la distillation à la vapeur d'eau fournissant l'huile essentielle, et l'extraction à l'hexane, par laquelle on obtient une essence résinoïde. Ayant mesuré exactement la teneur initiale en platyphyllol dans la matière première, on observe que le taux de recouvrement (TR) dans l'huile essentielle est de 71%, mais qu'il n'est que de 42% dans l'essence absolue obtenue à partir de l'extrait brut (essence résinoïde). Pourtant, et malgré ce déficit, il est clair que le coût associé au procédé extractif est inférieur à celui de la distillation, compte tenu de la quantité de vapeur nécessaire et de la productivité moindre. Ceci illustre bien le fait qu'en dépit de sa simplicité, le procédé de distillation des huiles essentielles reste aujourd'hui un des pires qui soient, du moins pour traiter certains végétaux, du fait de la consommation énorme d'énergie nécessaire pour faire bouillir de l'eau et produire de la vapeur.

Le second exemple que je souhaite citer est le (*E*)- $\beta$ -farnésène (improprement nommé « trans-bêta-farnésène » ou « TBF », figure 1), en raison de ses propriétés semiochimiques. Cet hydrocarbure sesquiterpénique est notamment une phéromone d'alarme chez certains aphidiens (Francis *et al.*, 2005). Il existe dans de nombreuses huiles essentielles, mais très rarement en proportion élevée comme dans le cas de *Aeollanthus suaveolens* qui en contient 17% (Tucker *et al.*, 2001). J'ai eu l'occasion de préparer plusieurs kg d'une huile essentielle d'une plante d'Afrique du Sud qui en contient plus de 70%.

La société américaine Amyris a récemment revendiqué la production biotechnologique de cet hydrocarbure sous le nom de *Biofene*, à partir de sucre issu de canne brésilienne, mettant en jeu la capacité d'expression d'une farnésène-synthase par une levure génétiquement modifiée.

En considérant que cette société annonce la production à grande échelle de cette substance par un procédé fermentaire, je saisis cette occasion pour rappeler que le farnésène, hydrocarbure acyclique tétra-insaturé, est une substance notoirement instable par sa propension à se polymériser, d'ailleurs mise à profit par Amyris. Il en est de même pour le limonène, vulnérable vis-à-vis de l'oxydation, et d'une manière générale pour les huiles essentielles et leurs constituants. Ces éléments relatifs à l'instabilité des produits doivent être pris impérativement en compte pour un éventuel développement industriel.

Les deux principaux procédés de traitement des produits naturels sont donc l'hydrodistillation ou la distillation à la vapeur et l'extraction. L'extraction par solvants peut être effectuée de nombreuses façons, y compris par des fluides supercritiques.

### Les six principes de l'éco-extraction

Quel que soit le produit visé, il est salutaire aujourd'hui pour l'obtenir de tenir compte, autant que possible, des six principes de « l'éco-extraction » (Chemat *et al.*, 2012) :

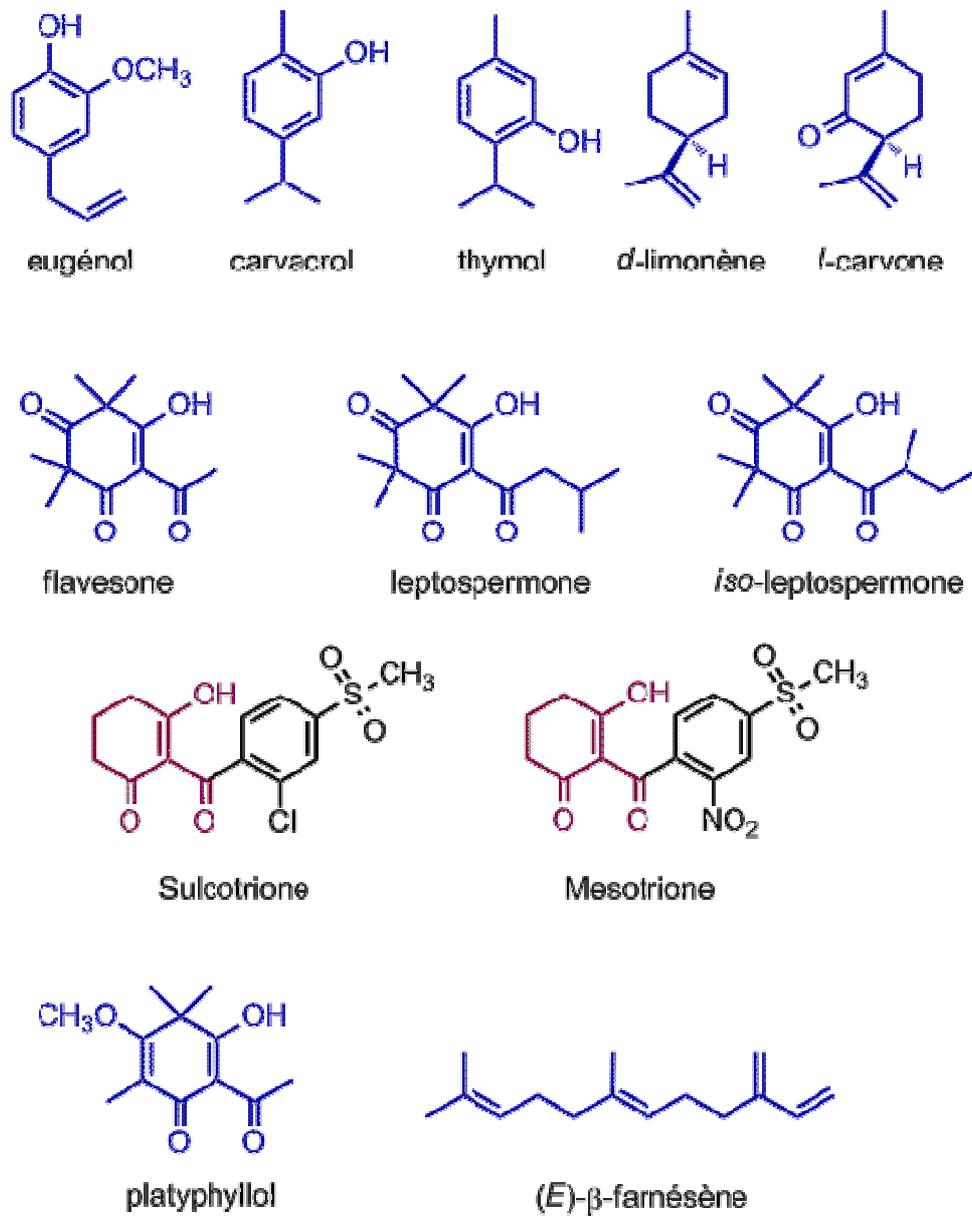
1. favoriser l'innovation par la sélection variétale et l'utilisation de ressources végétales renouvelables ;
2. privilégier les solvants alternatifs, principalement ceux issus des agro-ressources ;

- 3 réduire la consommation énergétique par l'assistance des technologies innovantes et favoriser la récupération d'énergie ;
4. favoriser la création de coproduits au lieu de déchets pour intégrer la voie de la bio- ou agro- raffinerie ;
5. réduire les opérations unitaires grâce à l'innovation technologique et favoriser les procédés sûrs, robustes et contrôlés ;
6. privilégier un produit non dénaturé, biodégradable, sans contaminants et surtout porteur de valeurs d'« éco-extrait ».

## **Conclusion**

Dans la perspective de promouvoir l'utilisation des huiles essentielles ou des extraits apparentés pour la protection des cultures, de nombreux obstacles doivent être surmontés. Je viens de citer certains d'entre eux, auxquels il faut ajouter l'imposante barrière réglementaire, associée à la constitution de dossiers d'homologation très complexes, incluant de coûteuses données toxicologiques, y compris écotoxicologiques. Les huiles essentielles intégrales franchissent rarement le cap de l'homologation. Leur profil écotoxicologique est rarement favorable, du fait de leurs concentrations d'utilisation relativement élevées, avec de surcroît un impact sérieux sur la viabilité économique.

De ce point de vue, il peut sembler préférable d'opter pour l'utilisation d'isolats ou de fractions enrichies en principes naturels actifs, pourvu que ces substances actives aient été identifiées, ainsi que les cibles visées par leur activité.



**Figure 1.** Structures chimiques des substances citées

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BAMARD D. R., BERNIER U. R., POSEY K. H., XUE R-D., 2002. – *J. Med. Entomol.*, **39**, 895-899.
- (2) CANTRELL C. L., DAYAN F. E., DUKE S. O., 2012. – Natural products as sources of new pesticides. *J. Nat. Prod.* **75**, 1231-1242.
- (3) CHEMAT F., ALBERT VIAN M., CRAVOTTO G., 2012. – Green extraction of natural products : concept and principles. *Int. J. Mol. Sci.* **13**, 8615-8627.
- (4) GUERIN M., 2012. – Produits phytosanitaires, Matières fertilisantes, Produits biocides - Synthèse réglementaire sur leur mise en marché. Editions Plante & Cité, 24 pages.
- (5) FRANCIS, F., VANDERMOTEN, S., VERHEGEN, F., LOGNAY, G., HAUBRUGE, E., 2005. – Is the (E)- $\beta$ -farnesene only volatile terpenoid in aphids ? *J. Appl. Entomol.* **129**, 6-11.
- (6) REGNAULT-ROGER, C., 2005. – Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Éditions TEC & DOC, Lavoisier, 1014 pages.
- (7) ROBERTET S.A., 1993. – 4,6,6-triméthyl-5-méthoxy-2-acétylcyclohe-4-èn-1,3-dione, procédé d'obtention, applications et compositions la renfermant, *Brevet français FR2702210*.
- (8) TUCKER, A. O., MACIARELLA, M., ALKIRE, B. H., 2001 – Essential oil of *Aellanthus suaveolens* Mart, ex Spreng (Lamiaceae), *J. Essent. Oil Res.* **13**, 198-199.
- (9) ZOUHAR, M., DOUDA, O., LHOTSKY, D., PAVELA, R., 2009. – Effect of plant essential oils on mortality of the stem nematode (*Ditylenchus dipsaci*), *Plant Protection Science* **45**, 66- 73.

(Reçu le 18 juin 2013)

## LES QUESTIONS ET TRAVAUX DE RECHERCHE NÉCESSAIRES AU DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE ; EXEMPLE DE L'APPORT DES SCIENCES COGNITIVES À LA PRODUCTION/VALORISATION DES MÉTABOLITES SECONDAIRES D'INTÉRÊT

par Frédéric Bourgaud<sup>1</sup>

### *Introduction sur le métabolisme secondaire*

On désigne par « métabolite secondaire » toute substance présente chez un organisme et qui ne participe pas directement aux processus de base de la cellule vivante. Ce concept est historiquement attribué à Kossel (Kossel, 1891) qui l'introduisit par opposition à celui de métabolites primaires, ces derniers étant directement impliqués dans les grandes voies du métabolisme basal de la cellule. Chez les végétaux, ces composés secondaires regroupent plusieurs dizaines de milliers de molécules différentes, généralement rassemblées en superfamilles chimiques tel que les polyphénols, les terpènes et stérols, les alcaloïdes, les polycétides, etc. Outre la très grande diversité chimique qu'ils représentent, ces métabolites secondaires se caractérisent généralement par de faibles concentrations dans les tissus végétaux (généralement quelques pourcents du carbone total, si on exclue la lignine de cette catégorie), ainsi que par leur stockage souvent réalisé dans des cellules ou organes dédiés.

Pour ce qui concerne leurs fonctions chez les plantes, les métabolites secondaires exercent un rôle majeur dans l'adaptation des végétaux à leur environnement. Ils assurent des fonctions clés dans la résistance aux contraintes biotiques (phytopathogènes, herbivores, etc.) et abiotiques (UV, température, etc.). Sur le plan agronomique, le rôle de ces composés dans la protection des cultures est connu (résistance aux maladies cryptogamiques, aux infections bactériennes, à certains insectes), mais a été relativement peu exploité pour ce qui concerne le développement de variétés résistantes. Ces métabolites secondaires constituent, aujourd'hui, un des leviers d'une possible intensification écologique de l'agriculture, en substituant notamment à l'usage d'intrants chimiques des mécanismes de défense naturelle des plantes.

D'un point de vue pharmacologique, les métabolites secondaires constituent la fraction la plus active des composés chimiques présents chez les végétaux et on estime aujourd'hui qu'environ 1/3 des médicaments actuellement sur le marché contiennent au moins une telle substance végétale (Newman and Cragg, 2012). Cette efficacité pharmacologique des métabolites secondaires s'est traduite par le développement de médicaments majeurs sur les 30 dernières années, tels que le Taxotère® (Sanofi-Aventis), et la Vinorelbine® (Pierre Fabre Médicaments) utilisés dans le traitement de certains cancers.

### *Synthèse de métabolites secondaires chez les végétaux*

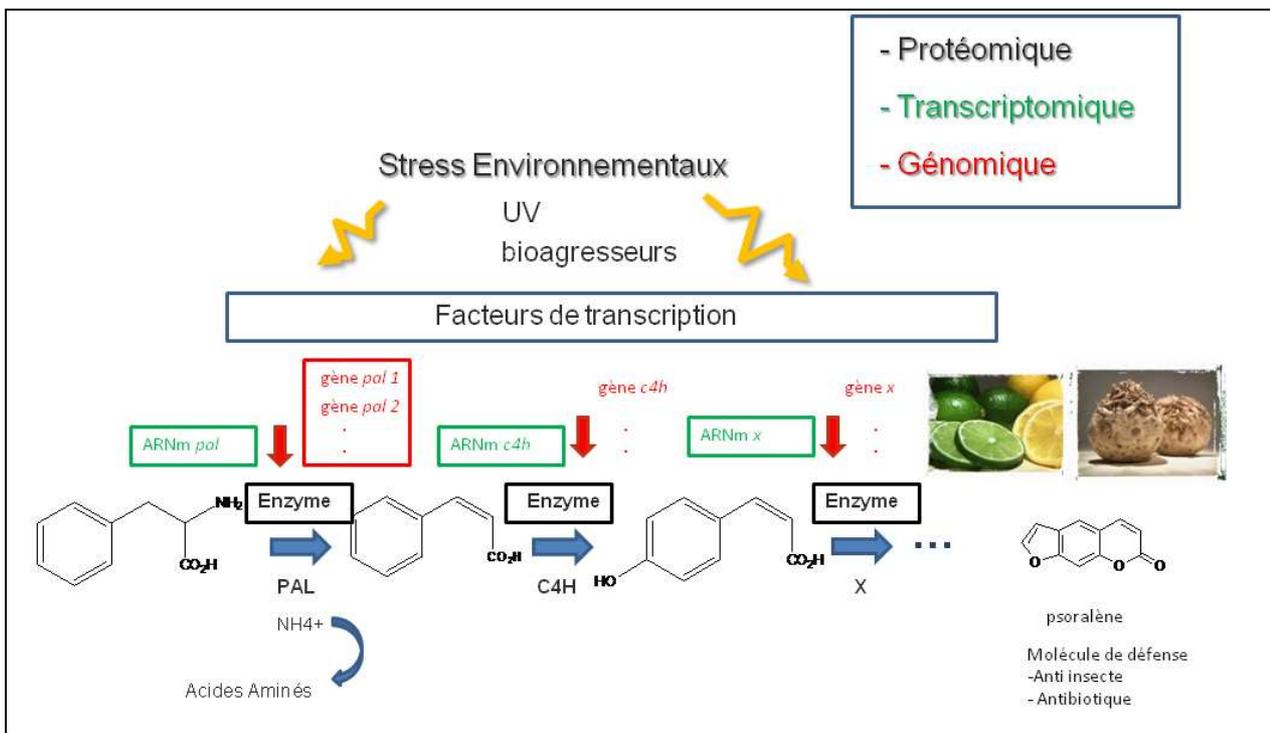
De nombreuses familles de métabolites secondaires ont fait l'objet de recherches actives lors des 30 dernières années et certains processus de synthèse sont aujourd'hui bien décrits, comme dans le cas des flavonoïdes (Pfeiffer and Hegedus, 2011, Tanaka *et al.*, 2008), des dérivés d'acide caféique (Weng and Chapple, 2010), des coumarines et furocoumarines (Karamat *et al.*, 2012; Larbat *et al.*, 2009, Larbat *et al.*, 2007, Vialart *et al.*, 2012), des terpènes et stérols (Lee *et al.*, 2012), ou de certains alcaloïdes (Jirschitzka *et al.*, 2012). Cependant, dans la mesure où les plantes élaborent des dizaines de milliers de composés secondaires, de nombreuses voies restent encore à découvrir aujourd'hui.

L'organisation de la synthèse des métabolites secondaires est schématisée au travers de l'exemple des furocoumarines (fig. 1), molécules de défense bien connues de la famille des Apiacées (céleri, persil, panais, etc.) (Bourgaud *et al.*, 2006). D'une manière générale, les stress environnementaux, qu'ils soient biotiques ou abiotiques, provoquent des cascades réactionnelles conduisant à la transcription de certains gènes

---

<sup>1</sup> Professeur à l'Université de Lorraine, Directeur du laboratoire Agronomie et Environnement (Unité mixte de Recherche 1121 Université de Lorraine – INRA, Nancy-Colmar), Fondateur de la société Plant Advanced Technologies, Nancy.

appartenant à des superfamilles de « facteurs de transcription » (ex : MYB, MYC, WRKY, ORCA, etc.). Lorsqu'ils sont transcrits, ces gènes vont générer la synthèse de protéines spécifiques qui déclencheront à leur tour l'activité transcriptionnelle d'autres familles de gènes codant pour des enzymes directement impliquées dans la synthèse des métabolites secondaires (ex : gène codant pour les enzymes PAL et C4H, fig. 1). L'étude des voies de biosynthèse des métabolites secondaires suppose donc d'identifier les différentes molécules chimiques intermédiaires et de comprendre les fonctions des différentes enzymes ainsi que les processus de régulation associés.



**Figure 1** : Organisation simplifiée de la voie des furocoumarines chez les végétaux supérieurs. Comme beaucoup de métabolites secondaires, ces molécules ont une distribution limitée à quelques familles botaniques (Apiacées, Moracées, Rutacées et Fabacées). Cette voie est branchée sur la phénylalanine, métabolite primaire qui va subir une série de réactions enzymatiques conduisant aux produits finaux. Les méthodes relevant de domaines de la protéomique, transcriptomique, génomique, mais aussi de la métabolomique et fluxomique sont couramment utilisées dans les programmes de recherche

### ***Vers une accélération des découvertes portant sur les voies de biosynthèse***

Les nouvelles techniques de séquençage de gènes à haut débit (pyroséquençage, technologies de type 454-Roche, Illumina, etc.), accessibles depuis environ 5 ans à la plupart des laboratoires de recherche, ont considérablement modifié et accéléré les travaux sur l'organisation des voies du métabolisme secondaire. L'exemple de la compréhension de la synthèse des alcaloïdes du pavot (morphine et noscapine) est à ce sujet très illustratif. Il a fallu pratiquement 20 ans à la communauté internationale afin d'élucider la synthèse de la morphine, alors que l'utilisation récente de techniques de séquençage haut-débit a permis de résoudre le cas de la synthèse de noscapine en quelques années seulement (Winzer *et al.*, 2012).

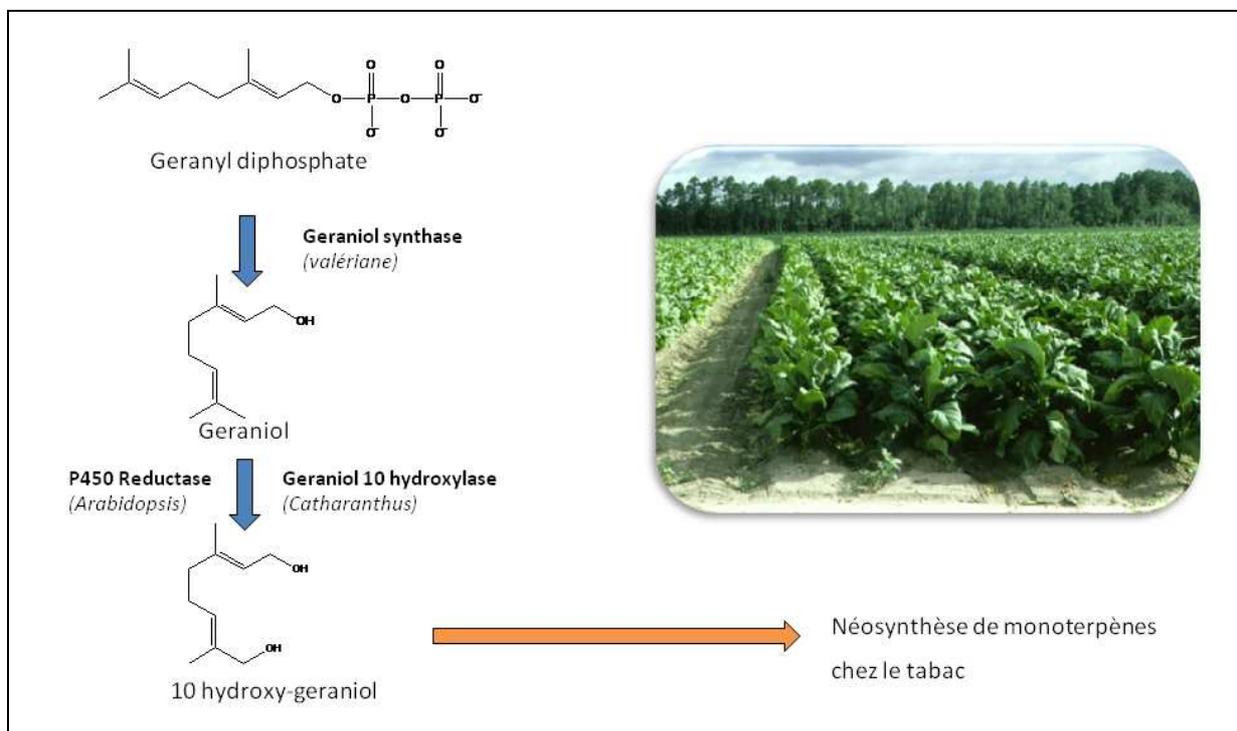
### ***Débouchés industriels issus de la recherche fondamentale***

En dépit de leur intérêt pharmaceutique, les métabolites secondaires végétaux restent complexes à produire pour l'industrie pharmaceutique, car ils sont généralement synthétisés en très petite quantité par des végétaux dans leurs milieux naturels. Plusieurs stratégies ont été développées lors des 30 dernières années, comme la mise en place de stratégies d'hémisynthèse, la culture de cellules végétales indifférenciées, ou encore la culture d'organes végétaux en bioréacteurs (Bourgaud *et al.*, 2001).

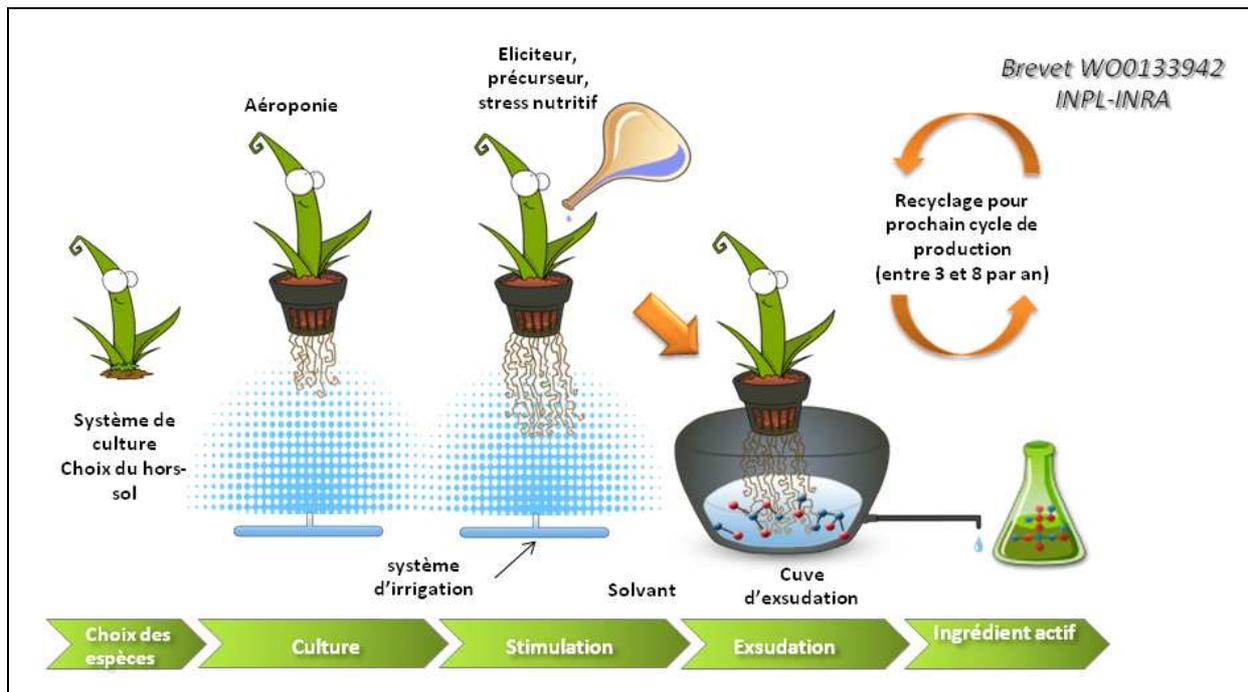
De nos jours, la connaissance approfondie des gènes et enzymes impliqués dans la synthèse de composés secondaires peut être mise à profit, dans des approches d'ingénierie métabolique, visant à modifier

le fonctionnement de ces voies de synthèse. Il est aujourd'hui clairement envisagé de reprogrammer ces synthèses au niveau moléculaire, par transformation génétique, en faisant appel aux concepts et outils de la biologie synthétique, afin de produire les nouvelles plantes médicinales de demain. Des travaux de cette nature ont été récemment réalisés dans le cadre du consortium de recherche européen Smartcell (<http://www.smart-cell.org>) où un groupe de partenaires a pu programmer la synthèse de 10-hydroxygéranol chez le tabac, en y introduisant 3 gènes de la voie de biosynthèse issus de la valériane (géranol synthase), de *Catharanthus* (géranol 10 hydroxylase), et d'*Arabidopsis* (cytochrome P450 réductase) (fig.2). Les tabacs ainsi modifiés deviennent capables de synthétiser le produit final. Si le 10-hydroxygéranol ne présente pas d'intérêt en termes de marché industriel, ce travail préfigure ce qui devient possible, aujourd'hui, en matière de biologie synthétique. Au niveau international, des projets comparables sont aujourd'hui lancés afin de produire des substances naturelles végétales dans des organismes recombinés, y compris des microorganismes cultivés en réacteurs, dans lesquels on arrive à programmer la synthèse de métabolites secondaires d'origine végétale (Ye and Bhatia, 2012).

D'autres travaux de recherche ont porté sur des procédés de culture de plantes productrices de métabolites secondaires, ainsi que sur des méthodes originales permettant de récolter des substances naturelles d'intérêt. Ainsi, la technologie des « plantes à traire » consiste à cultiver des végétaux en conditions hors-sol (hydroponie, aéroponie) et à récupérer les substances naturellement présentes au niveau des racines, en forçant les processus naturels d'exsudation racinaire (Gontier *et al.*, 1999, Gontier *et al.*, 2002) (fig. 3). La culture des plantes en conditions contrôlées (serres) permet d'appliquer aux végétaux des conditions de croissance qui seront particulièrement efficaces, afin de produire les métabolites secondaires recherchés. Ces conditions de croissance peuvent correspondre à un milieu nutritif, où la composition minérale aurait été optimisée, ou encore à l'application d'agents éliciteurs qui vont spécifiquement déclencher la synthèse des substances naturelles. De cette façon, il est possible de multiplier par un facteur allant de 50 à 100 la concentration en molécules d'intérêt chez des plantes sauvages. Cette technologie issue de la recherche de l'Institut national polytechnique de Lorraine (désormais Université de Lorraine) et de l'INRA est actuellement développée au stade industriel par la société Plant Advanced Technologies (<http://www.plantadvanced.com>).



**Figure 2 :** Travaux entrepris dans le cadre du consortium européen de recherche Smartcell (<http://www.smart-cell.org>). Trois gènes issus de plantes différentes ont été introduits dans des tabacs cultivés en conditions confinées, à des fins de recherche. Les tabacs générés se sont avérés capables de synthétiser le 10 hydroxygéranol. Cette molécule est absente des tabacs témoins, non transformés



**Figure 3** : Principe de la technologie des « plantes à traire ». Cette technologie s'adresse plus particulièrement à la collecte de métabolites secondaires localisés dans les racines. Les végétaux sont cultivés en conditions hors-sol. Des traitements d'élicitation, permettant de décupler les teneurs en composés secondaires, sont appliqués en cours de culture. La phase de récolte consiste à placer les systèmes racinaires dans un solvant d'extraction (type détergent non toxique) de manière à favoriser l'exsudation des molécules en dehors de la racine. Cette récolte est non-destructrice pour la plante, et les mêmes végétaux sont remis en culture avant de procéder à un nouveau cycle de récolte. Cette technologie a été inventée par l'Institut national polytechnique de Lorraine (Université de Lorraine) et l'INRA

### ***Perspectives d'évolution pour la filière des PPAM***

Les biotechnologies émergentes comme l'ingénierie métabolique ou la culture en milieu confiné (serres, chambres de cultures, utilisation de lumière LED) ne peuvent s'adresser qu'à des métabolites secondaires à très forte valeur, compte tenu des coûts afférents à ces techniques de production. Il y a donc raisonnablement peu à craindre que ces nouvelles technologies concurrencent des filières de production déjà existantes, comme les cultures de PPAM. En revanche, on peut mesurer tout le potentiel qu'offrent ces nouvelles technologies de production, lorsqu'il s'agit de produire un métabolite secondaire qui ne serait pas récoltable par des approches conventionnelles telles que la culture au champ ou la cueillette de végétaux. Il est acquis que les progrès de la génétique moléculaire permettront le développement de nouvelles variétés végétales, qui auront la capacité de produire des métabolites secondaires aux propriétés remarquables, constituant les matières actives de certains médicaments de demain. Il restera à la société de décider si ces végétaux pourront être cultivés de manière conventionnelle, par les agriculteurs cultivateurs de PPM, ou bien si ces végétaux devront être contenus dans des systèmes de culture clos.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BOURGAUD F., GRAVOT A., MILESI S. and GONTIER E., 2001. – Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant Sci.*, **161**, 839-851.
- (2) BOURGAUD F., HEHN A., LARBAT R., DOERPER S., GONTIER E., KELLNER S. and MATERN U., 2006. – Biosynthesis of coumarins in plants: a major pathway still to be unraveled for cytochrome P450 enzymes. *Phytochemistry Reviews*, **5**, 293-308.
- (3) GONTIER E., CLÉMENT A., BOURGAUD F. and GUCKERT A., 1999. – Procédé de production de métabolites à partir de végétaux en culture hors sol. Brevet WO 2001033942 A1.
- (4) GONTIER, E., CLEMENT, A., TRAN, T.L.M., GRAVOT, A., LIEVRE, K., GUCKERT, A. AND BOURGAUD, F., 2002. – Hydroponic combined with natural or forced root permeabilization: a promising technique for plant secondary metabolite production. *Plant Sci.*, **163**, 723-732.
- (5) JIRSCHITZKA, J., SCHMIDT, G.W., REICHEL, M., SCHNEIDER, B., GERSHENZON, J. AND D'AURIA, J.C., 2012. – Plant tropane alkaloid biosynthesis evolved independently in the Solanaceae and Erythroxylaceae. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **109**, 10304-10309.
- (6) KARAMAT, F., OLRY, A., DOERPER, S., VIALART, G., ULLMANN, P., WERCK-REICHHART, D., BOURGAUD, F. and HEHN, A., 2012. – CYP98A22, a phenolic ester 3'-hydroxylase specialized in the synthesis of chlorogenic acid, as a new tool for enhancing the furanocoumarin concentration in *Ruta graveolens*. *Bmc Plant Biology*, **12**.
- (7) KOSSEL, A., 1891. – Über die Chemische Zusammensetzung der Zell. *Archiv für Physiologie*, 181–186.
- (8) LARBAT R., HEHN A., HANS J., SCHNEIDER S., JUGDE H., SCHNEIDER B., MATERN U. and BOURGAUD F., 2009. – Isolation and Functional Characterization of CYP71AJ4 Encoding for the First P450 Monooxygenase of Angular Furanocoumarin Biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*, **284**, 4776-4785.
- (9) LARBAT, R., KELLNER, S., SPECKER, S., HEHN, A., GONTIER, E., HANS, J., BOURGAUD, F. and MATERN, U., 2007. – Molecular cloning and functional characterization of psoralen synthase, the first committed monooxygenase of furanocoumarin biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*, **282**, 542-554.
- (10) LEE M.E., LIU Y.T. and WU T.K., 2012. – Functional expression of the triterpenoid biosynthesis tailoring enzyme on enzymatic modification of sterol derivatives. *Febs J.*, **279**, 67-67.
- (11) NEWMAN D.J. and CRAGG G.M., 2012. – Natural Products As Sources of New Drugs over the 30 Years from 1981 to 2010. *J. Nat. Prod.*, **75**, 311-335.
- (12) PFEIFFER P. and HEGEDUS A., 2011. – Review of the Molecular Genetics of Flavonoid Biosynthesis in Fruits. *Acta Aliment.*, **40**, 150-163.
- (13) TANAKA Y., SASAKI N. and OHMIYA A., 2008. – Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J.*, **54**, 733-749.
- (14) VIALART G., HEHN A., OLRY A., ITO K., KRIEGER C., LARBAT R., PARIS C., SHIMIZU B., SUGIMOTO Y., MIZUTANI M. and BOURGAUD F., 2012. – A 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase from *Ruta graveolens* L. exhibits p-coumaroyl CoA 2'-hydroxylase activity (C2'H): a missing step in the synthesis of umbelliferone in plants. *The Plant Journal*, **70**, 460-470.
- (15) WENG J.K. and CHAPPLE C., 2010. – The origin and evolution of lignin biosynthesis. *New Phytol.*, **187**, 273-285.
- (16) WINZER T., GAZDA V., HE Z., KAMINSKI F., KERN M., LARSON T.R., LI Y., MEADE F., TEODOR R., VAISTIJ F.E., WALKER C., BOWSER T.A. and GRAHAM I.A., 2012. – A *Papaver somniferum* 10-Gene Cluster for Synthesis of the Anticancer Alkaloid Noscapine. *Science*, **336**, 1704-1708.
- (17) YE V.M. and BHATIA S.K., 2012. – Metabolic engineering for the production of clinically important molecules: Omega-3 fatty acids, artemisinin, and taxol. *Biotechnol. J.*, **7**, 20-33.

(Reçu le 14 juin 2013)

## DISCUSSION

**Catherine Regnault-Roger<sup>1</sup>.** – Les huiles essentielles sont des matrices très hétérogènes pouvant contenir au-delà d'une centaine de composés différents. Or tous ces composés n'ont pas la même activité et une des difficultés de l'homologation de ces substances est cette hétérogénéité. Cependant, l'usage phytopharmaceutique des huiles essentielles est largement développé en Californie, notamment sur les cultures à haute valeur ajoutée. Cette situation est liée au fait qu'elles bénéficient d'une exemption d'homologation, qui, d'ailleurs, devient un argument commercial. Vous avez parlé de la nouvelle réglementation européenne au sujet des Produits naturels peu préoccupants (PNPP) ou produits à faible risque (*low risk*), et de l'homologation récente dans l'Union européenne de l'huile essentielle d'orange qui a été portée sur la liste positive. Pouvez-vous nous dire si cette homologation de l'huile essentielle d'orange relève de cette nouvelle disposition ou de l'homologation classique des produits phytopharmaceutiques ? Par ailleurs, savez-vous si le dossier de l'homologation de l'huile essentielle de tagète qui en cours d'évaluation (*pending assessment*) a progressé ?

**D. Joulain.** – Pour la tagète, je ne peux pas répondre. Tout ce que je peux dire, c'est qu'il s'agit de tagète à ocimène ; il va donc y avoir des problèmes de stabilité chimique très sérieux.

**J. Risse<sup>2</sup>.** – Pouvez-vous nous donner un complément d'information sur les substances végétales utilisées pour réduire l'émission de gaz à effet de serre par les ruminants ? *Idem* pour les accélérateurs de croissance ?

**J.P. Bouverat-Bernier.** – Pour le programme de réduction des gaz à effet de serre des ruminants, nous nous sommes intéressés aux matières premières qui, ajoutées à la ration, pourraient permettre une diminution de l'éructation de méthane par les bovins. Nous avons testé l'intérêt de différentes espèces végétales sur la production de méthane du jus de rumen *in vitro*, et repéré une espèce particulièrement porteuse de progrès. Le programme se poursuit sur vache entière.

Pour le remplacement des antibiotiques utilisés comme facteurs de croissance en production animale, interdits depuis 2006, plusieurs molécules (thymol, carvacrol...) ont fait preuve de leur efficacité.

**H. Delbard<sup>3</sup>.** – L'origine des principes actifs (métabolites secondaires ou obtenues par voie de synthèse) a-t-elle une influence sur l'innocuité ?

**F. Bourgaud.** – Non. L'origine naturelle ou synthétique d'une molécule ne préfigure aucunement de sa toxicité. Il existe des substances extrêmement toxiques dans la nature.

**Marie-Thérèse Ésquerré Tugayé<sup>4</sup>.** – Y a-t-il un effet de niveau de ploïdie des plantes sur la quantité des métabolites produits ?

**J.P. Bouverat-Bernier.** – L'exemple des lavande-lavandin est illustratif de cette question. La lavande fine ( $2n_1$ ), comme la lavande aspic ( $2n_2$ ) présentent des teneurs en huile essentielle maxima de 6 %, rapportées à la matière sèche des calices.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur des Universités, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Faculté des sciences et techniques, UMR CNRS 5254 (IPREM-EEM), IBEAS-BP 1155, 64013 Pau cedex, France.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France et de l'Académie vétérinaire de France.

<sup>3</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France et Président de la SNHF, 84, rue de Grenelle, 75007 Paris.

<sup>4</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur de Physiologie-Microbiologie végétales à l'Université Paul Sabatier-Toulouse III, 24, chemin de Borde Rouge, BP 42617, Auzeville, 31326 Castanet-Tolosan.

Le lavandin, hybride interspécifique de ces deux espèces (amphidiploïde  $n_1+n_2$ ), présente, quant à lui, des teneurs maxima de l'ordre de 10 %. Le même type de résultat est enregistré sur ces lavandins doublés ( $4x=2n_1+2n_2$ ).

Nous avons créé plus de 400 lavandins triploïdes ( $3x$ ), produits du croisement entre ces lavandins tétraploïdes et la lavande fine. Ces lavandins peuvent présenter des teneurs en huile essentielle pouvant aller jusqu'à 15 %. Ils comprennent dans leur génome deux unités de lavande fine pour une unité de lavande aspic. Cette voie triploïde avait été ouverte par madame Maia (INRA) dans les années 1970.

Le niveau de ploïdie peut ainsi avoir un effet significatif sur la production de métabolites secondaires.

**P. Devaux**<sup>5</sup>. – Vous avez évoqué le projet « Genoparfum » que vous comptez déposer prochainement. Vous indiquez vouloir, en complément à la sélection classique, mettre en œuvre la sélection génomique. Pourquoi n'envisagez-vous pas, en plus, d'autres méthodes telles que la sélection assistée par marqueurs moléculaires et la génétique d'association ? Par ailleurs, disposez-vous de suffisamment de marqueurs moléculaires chez ces deux espèces pour assumer ce travail ?

**J.P. Bouverat-Bernier**. – Nous avons utilisé jusque là des schémas de sélection généalogique, qui ont donné de bons résultats sur l'accroissement des teneurs en principes actifs. Nous n'avons pas retenu la sélection assistée par marqueurs, du fait de l'investissement important à réaliser à l'échelle de nos espèces végétales et des risques de non réussite des programmes.

L'apparition de la sélection génomique bouleverse la donne. Elle nous semble pouvoir permettre des progrès pour les caractères que nous sélectionnons. Nous entendons tester la méthode sur des caractères facilement phénotypables (production de substances aromatiques de la rose et de la lavande – programme « GénoParfum »), pour l'utiliser ensuite sur des caractères complexes comme la tolérance au dépérissement de la lavande qui fait certainement intervenir de nombreux gènes impliqués dans l'interaction plante-insecte vecteur de la maladie (phytoplasme), dans la résistance au stress hydrique (enracinement, précocité...).

En ce qui concerne les marqueurs moléculaires, rose et lavande sont dans des situations très différentes : la rose devrait voir son génome séquencé dans le courant de l'année 2013, la lavande n'a pas fait l'objet de travaux significatifs. Pour la lavande, le séquençage de quelques génotypes permettra de générer des outils moléculaires, SSR d'une part pour évaluer la diversité génétique de notre collection de travail et préciser ce que sera notre population de référence, SNP pour le découpage du génome en fragments valorisables dans la mise en place du modèle de sélection génomique.

---

<sup>5</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur des biotechnologies, Maison Florimond-Desprez Veuve et Fils, 3, rue Florimond Desprez, BP 41, 59242 Cappelle-en- Pévèle.

## PLANTES À PARFUM, AROMATIQUES ET MÉDICINALES (PPAM) ÉTAT DES LIEUX, ENJEUX ET PERSPECTIVES

### CONCLUSION

par Christian Huyghe<sup>1</sup>

Mesdames et Messieurs,

Au terme de cette séance très riche par sa diversité, la qualité des interventions et des intervenants, puis par la pertinence des questions, il convient d'abord de féliciter ceux qui l'ont conçue et en particulier notre confrère Yves Lespinasse et remercier l'Académie d'avoir offert la possibilité d'une telle séance, 30 ans après la précédente édition consacrée aux PPAM.

Je voudrais tirer les conclusions en huit points principaux :

- 1- le secteur des PPAM est un secteur florissant, dispersé diront certains, mais pour lequel le qualificatif « divers » est sans doute plus adapté. Ceci est vrai pour les espèces, comme pour les molécules et principes actifs, molécules issues du métabolisme secondaire. Cette filière présente un fort potentiel de développement dans de nouveaux secteurs, notamment celui de la protection des cultures. On notera que les productions se situent en amont d'un secteur économique particulièrement puissant, celui de la parfumerie, et avec une part faible de la valeur ajoutée revenant à la production primaire ;
- 2- les espèces végétales sont fréquemment classées au titre des espèces orphelines de recherches, ce qui est la réalité. Mais la filière n'est pas orpheline de recherches et les travaux présentés aujourd'hui sur la biochimie et l'analyse des voies métaboliques permettent de disposer d'outils de compréhension remarquables ;
- 3- comme ce fut illustré avec pertinence au travers de l'organisation de cette séance, il est essentiel de capitaliser sur le couplage amont-aval, car au-delà de la répartition de la valeur ajoutée, ce couplage permet d'optimiser les choix stratégiques faits au niveau de la production. Mais l'articulation nécessite de se pencher sur la propriété intellectuelle aux différents niveaux de la chaîne ;
- 4- ce secteur est en fait inscrit dans la bio-économie et les présentations illustrant le potentiel de certaines molécules en santé des plantes suscitent déjà des intérêts exprimés par les grandes entreprises du secteur de la phytopharmacie ;
- 5- mais ces éléments doivent nous amener à mobiliser les concepts de l'écologie industrielle pour réfléchir aux différentes options et opportunités d'évolution. Basée sur l'analyse des flux de matière et d'énergie, l'écologie industrielle propose une approche globale du système industriel en le représentant comme un écosystème. Ceci offre deux options de développement totalement différentes, même si elles peuvent coexister ;
- 6- la première de ces options est de favoriser le développement de l'activité de production dans des régions dites difficiles, où ces productions seront des espèces de diversification contribuant à accroître la diversité fonctionnelle dans les systèmes de culture, ce qui permet d'inscrire les PPAM au cœur de l'agro-écologie. Mais, en termes d'écologie industrie, cette option questionne la localisation des entreprises de première transformation ;

---

<sup>1</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche à l'INRA, SDAR-INRA, BP 80006, 86600 Lusignan.

- 7- la seconde option est d'imaginer des modèles totalement différents de production des principes actifs. A ce titre, l'exemple des Plantes à Traire est absolument remarquable, parce que, au delà des innovations technologiques qui le constituent, il permet de penser totalement différemment la production des principes actifs. La combinaison de ce processus conduit en confinement et utilisant les apports de la transgénèse pour synthétiser des molécules nouvelles offre un champ d'investigation inédit ;
- 8- ceci montre bien que l'innovation sur les composés secondaires et sur les espèces qui sont cultivées et récoltées pour ces composés, ce qui est la base de la production de PPAM, doit être pensée totalement différemment de l'innovation sur les espèces dédiées à la production et la valorisation de la biomasse et des composés primaires. Ces deux voies différentes d'innovation ne sont pas opposées, car elles peuvent être réfléchies et organisées de façon complémentaire, tant au niveau de l'aval que de l'amont, puisque ceci peut s'insérer dans des travaux sur la diversification des systèmes de production et des territoires agricoles.

Bravo encore, en espérant que nous n'attendrons pas 30 ans pour la prochaine édition dédiée aux PPAM !

## GESTION DES RESSOURCES COMMUNES

– en hommage à Madame Elinor Ostrom –

### INTRODUCTION

par Roland Pérez<sup>1</sup>

Cette séance présente un caractère particulier, dualiste, souligné par son double titre. En effet, elle constitue une séance thématique, sur un sujet bien au cœur du programme de réflexions que l'Académie d'Agriculture s'est donné pour 2013. Par ailleurs, elle est l'occasion de rendre à notre consoeur, Madame **Elinor Ostrom**, un hommage mérité.

En juin 2012, nous apprenions la disparition d'Elinor Ostrom, suivie, quelques jours plus tard, de son époux Vincent, qui l'avait accompagnée et encouragée depuis leur première rencontre dans les années soixante, à l'Université de Californie, Los Angeles (UCLA). Ce couple d'exception avait développé, sur plusieurs décennies, tout d'abord à l'UCLA, puis à l'Université d'Indiana à Bloomington, des recherches novatrices dans le domaine de l'analyse des « *common-pool resources* » (ressources gérées en commun). Elinor Ostrom, politiste de formation, a couvert un champ scientifique large, allant de l'anthropologie à l'économie, et a développé un corpus original qui a constitué une avancée majeure, laquelle lui a valu le prix dit « Nobel d'économie », en 2009.

En juin 2011, nous avons eu le privilège de l'accueillir en France, dans le cadre d'une visite de reconnaissance et de travail auprès de la communauté scientifique française dont certains membres lui étaient liés depuis longtemps, notamment les chercheurs du CIRAD, à l'initiative de nos Confrères Michel **Griffon** et Jacques **Weber**<sup>2</sup>. C'est en accord avec eux que nous avons proposé que Mme Ostrom soit élue membre étranger de notre Compagnie, proposition qu'elle nous avait fait l'honneur d'accepter. Elle était des nôtres, à l'occasion du 250<sup>e</sup> anniversaire de la création de l'Académie, lors des manifestations qui se sont tenues, le 22 juin, à l'UNESCO, autour des thèmes qui lui étaient familiers : le programme UNESCO MAB (*Man and Biosphère*) et notre rencontre autour de « *L'homme et l'eau : agriculture, environnement et espace méditerranéen* ».

Aussi, c'est avec ces Confrères, notamment Jacques Weber, que nous avons proposé, au nom des sections 4 et 10, cette session particulière, à la fois de discussion thématique et d'hommage personnel.

Pour commencer, nous aurons le plaisir d'accueillir mon collègue et ami, Eduardo S. **Brondizio**, Professeur d'anthropologie à l'Université d'Indiana, Bloomington (USA). Eduardo, proche collègue et co-auteur d'Elinor Ostrom<sup>3</sup>, présentera une étude qu'il a menée, cette année, à Paris, au cours de l'année sabbatique passée comme invité à Université Paris 3 et à l'Institut d'études avancées : "*La terre au-dessus, à l'intérieur, et en dessous* » : *L'évolution de la complexité institutionnelle et des ressources communes en Amazonie*".

Ensuite, nos Confrères Michel **Griffon** et Jacques **Weber** témoigneront sur « *Les recherches en France sur la gestion des ressources communes* », vues à travers « *la coopération entre l'équipe d'Elinor Ostrom et le CIRAD* ».

Jean-Marc **Boussard** s'intéressera à la relation entre « *mode de décision et appropriation des rentes* », via le « *paradoxe de Condorcet appliqué à la gestion des ressources communes* ».

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

<sup>2</sup> Fondateur à Montpellier de l'équipe CIRAD-GREEN (M. Antona, F. Bousquet...) qui a établi une coopération suivie avec celle d'E. Ostrom aux USA (Indiana University et Arizona State University).

<sup>3</sup> L'un et l'autre ont participé à l'ouvrage collectif B. Christophe et R. Pérez (Eds) (2012) « *Agro-ressources et écosystèmes* », Villeneuve d'Asq, Presses Universitaires du Septentrion, 440 p.  
**C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 5 juin.**

Gérard **Viatte** élargira le débat sur les « *implications de l'analyse des ressources communes pour les politiques et les institutions* » appelant « *une nouvelle approche de la gouvernance* ».

Il appartiendra à Jacques **Weber** de tirer les conclusions de cette séance.

## Note biographique sur Mme Elinor OSTRM<sup>2</sup> :

1 – Elinor Awan est née en 1933 à Los Angeles, ville où elle a passé son enfance et son adolescence. Après ses études secondaires, elle est entrée à l'UCLA en 1951, dans le département de sciences politiques et y a fait tout son cursus universitaire (bachelor, master, doctorat).

2 – C'est aussi à l'UCLA qu'elle a rencontré Vincent Ostrom qui était chercheur dans ce même département. Cette rencontre est déterminante pour l'orientation scientifique d'E.O. dont la thèse de PhD (soutenue en 1965) sur « la gestion de l'eau dans le Sud Californien » constitue le point de départ d'un programme de recherche portant sur les systèmes d'organisation, de gestion et de gouvernance des ressources susceptibles d'être appropriées/utilisées selon un mode collectif.

3 – A la fin des années 60, avec l'installation du couple Ostrom à Bloomington et le lancement à Indiana University du « *Workshop on Political Theory and Policy Analysis* », cette orientation s'accroît. Les analyses menées par V.O. et E.O. se sont diversifiées, allant des ressources naturelles renouvelables aux ressources urbaines comme les services de police. Mais leur objectif reste le même : comment fonctionnent nos sociétés ? avec quelles institutions ? quelles règles en usage (« *rules in use* ») ? quels résultats ?

4 – Le tournant – et le début de la notoriété – a été la contestation de la thèse défendue par Garrett Hardin sur « *The Tragedy of Commons* » (1968), question qui semblait avoir été « définitivement » réglée – si cette expression a un sens en science économique – au profit du paradigme néo-classique dominant. Pour aller à l'essentiel, l'argument exposé par Hardin est le suivant : un bien collectif (ex : un pâturage communal) aura tendance à être exploité sans précaution (surpâturage) et donc à se dégrader (d'où la « tragédie des communs ») ne laissant que le choix entre l'appropriation privée ou le contrôle direct par la puissance publique. E.O., dans divers articles puis dans son ouvrage devenu célèbre - *Governing the Commons : The Evolution of Institutions for Collective Action (1990)* - montre que cette situation n'est pas inéluctable et qu'elle dépend des modes d'organisation et de gouvernance mis au point/en usage dans les sociétés concernées.

5 – Depuis cette période clé, qui a constitué en quelque sorte le « *take-off* » de l'École de Bloomington, les analyses menées par E.O. et son équipe se sont considérablement développées, tant aux niveaux des thèmes de recherche étudiés que des pays sur lesquels des chantiers ont été ouverts (notamment en Asie)<sup>3</sup>.

Ces travaux ont donné lieu à d'amples débats, notamment dans des instances dédiées :

- à Bloomington, le *Workshop*, sur plusieurs décennies, est devenu un lieu de débat intellectuel, fondé sur le dialogue interdisciplinaire « *The Workshop encompasses fields such as business, anthropology and biological sciences* » (N. Zagorski, 2006). Son site proclame, non sans quelque emphase « *A New Science of Governance for the New Age* » ;

- ailleurs, aux États-Unis, la *Public Choice Society* a été un forum intellectuel pour l'Amérique contemporaine. Le *Center for the Study of International Diversity* - dont E.O. a été l'une des fondatrices à l'université de l'Arizona - a accueilli de nombreux chercheurs ;

- au niveau international, création en 1990, de l'IASCP (*International Association for the Study of Common Property*), dont E.O. a été la présidente-fondatrice (cf site [www.iasc-commons.org](http://www.iasc-commons.org)).

Au plan des productions intellectuelles, un nombre considérable de publications sous différents supports, notamment une trentaine d'ouvrages personnels ou collectifs, attestent de la vitalité de cette Ecole de pensée et de sa notoriété indubitable (cf. site dédié à l'Université d'Indiana [www.indiana.edu/workshop](http://www.indiana.edu/workshop)).

<sup>2</sup> Cette introduction s'appuie, en l'actualisant, sur une note précédente de R. Pérez (2010) « E. Ostrom et le Nobel d'Économie », *Economies & Sociétés* (série AG, n° 32), p 1651-1664

<sup>3</sup> Ainsi E.Ostrom et ses équipes ont analysé les modes de gouvernance de différents types de biens communs : des pâturages et forêts des cantons suisses et au Japon, des canaux d'irrigation d'Andalousie, des Philippines, du Sri Lanka et du Mexique, des ressources aquifères en Californie ou des ressources de pêche en Turquie, au Sri Lanka, au Canada.

6 - La reconnaissance nationale aux États-Unis et internationale a suivi durant la dernière décennie, depuis les différents doctorats *honoris causa* délivrés à E.O. (Uppsala, La Haye, Berlin...) jusqu'au « Nobel d'économie », décerné fin 2009.

7 – E.O. n'aura pas longtemps profité de la notoriété conférée par l'obtention de ce prix prestigieux ; ces dernières années, malgré une maladie qui déjà l'affaiblissait, elle a continué à parcourir le monde, pour rencontrer chercheurs et acteurs, notamment les plus jeunes. Elle a disparu en juin 2012, décès suivi quelques jours après, par celui de Vincent Ostrom.

## LA TERRE AU-DESSUS, À L'INTÉRIEUR ET AU-DESSOUS L'ÉVOLUTION DE LA COMPLEXITÉ INSTITUTIONNELLE ET DES RESSOURCES COMMUNES EN AMAZONIE

par Eduardo S. **Brondizio**<sup>4</sup>

Les deux dernières décennies ont continué à connaître des changements environnementaux à un rythme non durable. Les gouvernements nationaux et les politiques publiques ont été confrontés au défi d'utiliser les ressources naturelles à un rythme compatible avec le changement climatique et la préservation de la biodiversité et, simultanément, de promouvoir la croissance économique par l'expansion de l'agriculture et la mondialisation des chaînes de ressources. Les populations locales ont été souvent menacées par l'expansion des intérêts économiques et ont réclamé une reconnaissance politique à travers des mouvements sociaux locaux liés aux programmes environnementaux mondiaux. En conséquence, nombre de nouveaux types d'arrangements institutionnels relatifs à des ressources communes ont été mis en place, impliquant les territoires autochtones et la conservation, les contrats de stockage de carbone (tels que REDD+), ainsi que les concessions de terres et de ressources aux projets agro-industriels et miniers. De nouvelles formes de systèmes de propriété, dans certains cas particuliers liés aux différentes composantes des ressources naturelles, sont créées d'une manière qui reflète des intérêts économiques et sociaux contrastés. En utilisant des exemples tirés de l'Amazonie brésilienne, y compris la cartographie historique des recouvrements de ces arrangements institutionnels, nous montrons comment ces processus conduisent à une matrice sociale et territoriale complexe alors que la terre et les ressources communes représentent des symboles de l'identité culturelle locale et les droits territoriaux des programmes globaux de conservation et d'atténuation du changement climatique, et des frontières économiques de l'agriculture et des chaînes de ressources mondiales. Pour représenter l'évolution de cette matrice des intersections institutionnelles, économiques et symboliques, nous utilisons la métaphore de « *la terre au-dessus, à l'intérieur et au-dessous*. »

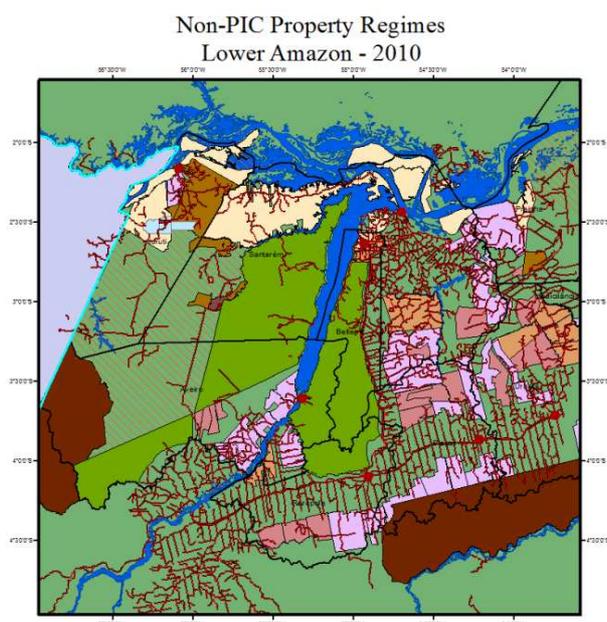
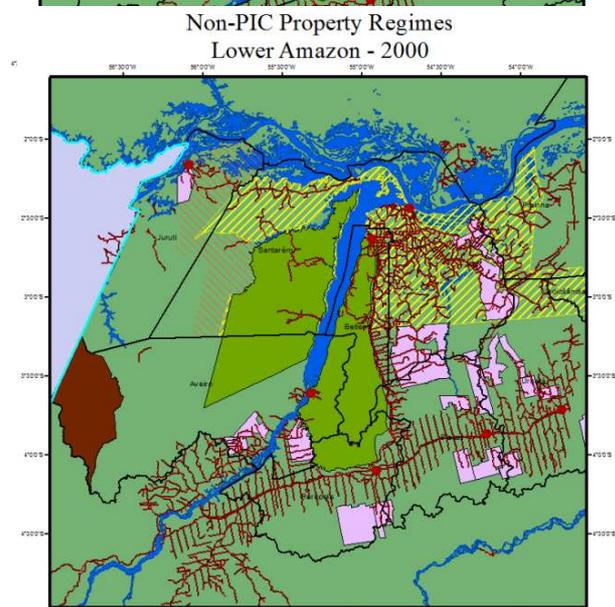
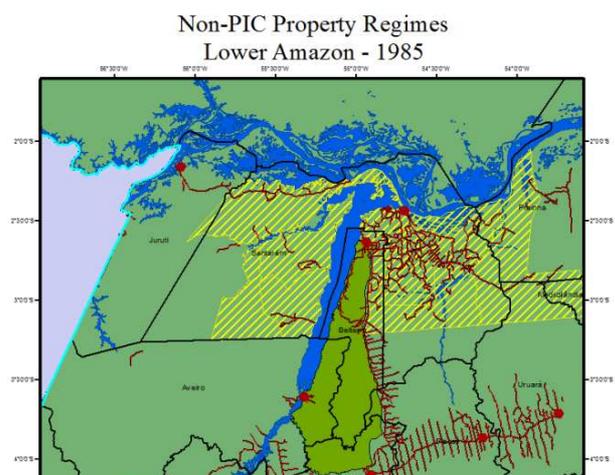
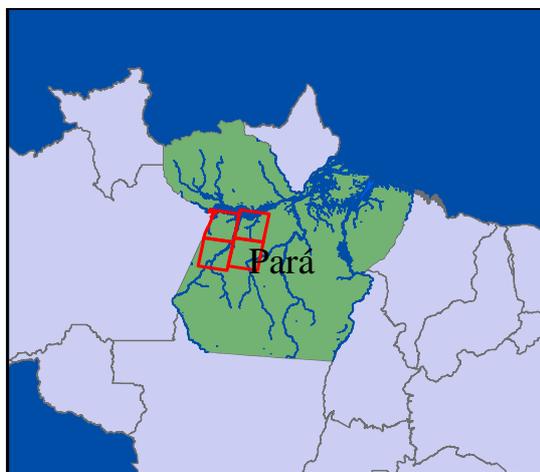
Nous avons choisi une sous-région de l'Amazonie connue comme la basse Amazonie, où plusieurs études de cas ont été réalisées sur les institutions et les changements de la terre, mais souvent au niveau local. Nous tentons ici d'aborder une approche plus large, car plusieurs zones avec des histoires uniques précédemment analysées dans les études de cas se sont intégrées dans un ensemble régional entre 1975 et 2010. Dans la région étudiée, nous avons choisi trois types d'intersections institutionnelles pour illustrer « la terre au-dessus, au-dessous et à l'intérieur » (figure 1). Nous montrons que ces lieux, chacun contenant des ensembles uniques d'acteurs avec des visions et des valeurs environnementales, se sont intégrés entre 1975 et 2010 à travers des réseaux routiers et la régularisation foncière. Les régimes de propriété créés par l'État et le gouvernement fédéral, afin de régulariser la terre à différents points dans l'histoire récente de la région, ont été souvent influencés par des acteurs extérieurs à la région, avec des intentions différentes. Il en est résulté une augmentation frappante de la complexité et des affrontements institutionnels horizontaux et verticaux, exprimant différentes valeurs environnementales. Pour chaque cas, nous présentons le processus historique qui souligne la création d'un régime de propriété, les acteurs impliqués dans le processus, et les impacts potentiels actuels et futurs.

Nous discutons les implications de ces processus pour la gestion à long terme des ressources communes et pour la recherche sur les institutions et l'environnement. Cela inclut une plus grande attention aux rôles des valeurs humaines et des vues sur l'environnement, la sensibilité croissante de la politique identitaire, et la limitation des arrangements institutionnels segmentés pour faire face aux problèmes qui transcendent les échelles associées aux ressources communes.

---

<sup>4</sup> Professeur d'anthropologie, Université d'Indiana, Bloomington (États-Unis). Professeur invité (2012-13) IHEAL, Université Paris 3.  
Communication préparée en collaboration avec : Nathan **Vogt** (INPE, Brésil), R. **Araujo** (INPE-MPEG, Brésil), F. M. **Le Tourneau** (CREDA/IHEAL, U. Paris 3).

Figure 1 : L'évolution de la complexité institutionnelle de la basse Amazonie



**Legend**

- % Municipal Capitals
- Municipality Limits
- Road and Trail Network - 2010
- Primary Rivers
- Federal Conservation Unit
- Federal Land in Process of Land Tenure Regularization
- State Land in Process of Land Tenure Regularization
- Mining Concession
- Federal Smallholder Settlement Project
- State Smallholder Settlement Project
- State Agro-Extractive Settlement Project
- Federal Agro-Extractive Settlement Project
- Federal Conservation Settlement Project
- Federal Public Forest for Timber Concessions

Nathan Vogt - INPE  
April 2013

## DU PARADOXE DE CONDORCET À LA GESTION DES *COMMONS* MODE DE DÉCISION ET APPROPRIATION DES RENTES

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

Les réflexions économiques concernant les *commons*, telles qu'elles se sont développées depuis le 18<sup>e</sup> siècle jusqu'à ces dernières années, en particulier avec le fameux article de de Hardin (1968) sur la « tragédie des communs », concernent avant tout la question de l'utilisation *efficace* des biens tels que les ressources naturelles.

L'idée la plus fréquente en la matière est que l'attribution de droits de propriété privée sur chacun d'eux, lorsqu'elle est possible, garantit leur bonne utilisation, parce que la chose est dans l'intérêt commun des propriétaires de la ressource et de ses usagers. Il peut arriver cependant que l'attribution de droits de propriété soit impossible pour des raisons techniques. C'est alors à l'État d'en assurer la gestion, au besoin par la contrainte, grâce au fait que cette institution dispose du monopole de l'usage de la force.

**Elinor Ostrom**, au cours de sa carrière, s'est élevée contre cette dichotomie entre le « tout état » et le « tout privé ». Elle a montré, de façon convaincante, en vérifiant la théorie par la pratique, qu'il était possible de gérer convenablement certains biens communs par des collectivités, à condition cependant d'abandonner l'idée – pourtant presque consubstantielle à la théorie économique standard - que les prix constituent l'unique véhicule d'information entre les parties prenantes. Son argument central est en effet qu'une grande quantité d'informations autres que celle véhiculée par les prix est nécessaire pour que les membres d'une communauté arrivent à tirer le maximum d'une ressource commune.

Il est hors de question de discuter le bien-fondé de ses remarques. On insistera ici, en revanche, sur deux points qui semblent manquer dans son approche, et auxquels il est pourtant indispensable d'apporter des solutions avant d'envisager la construction d'une véritable théorie de la gestion « optimale » des biens communs.

- 1) Comment faire pour que les décisions prises par un groupe d'individus soient toujours cohérentes (ou encore « transitives » : si « a » est préféré à « b », et « b » à « c », alors « a » est préféré à « c ») ?
- 2) A qui doit-on attribuer la « rente » associée à l'usage de ces « biens commun » qui ne font pas l'objet d'une appropriation individuelle ?

Ces deux questions sont de nature à remettre en question certaines des conclusions optimistes de Elinor Ostrom. On va essayer ici, sinon de les résoudre, ni même de les poser correctement, du moins de donner une idée de la façon dont elles sont abordées dans la littérature économique contemporaine.

### **Le problème de la décision collective**

Il est facile de montrer que les décisions prises à la majorité des votants n'ont aucune raison d'être « transitives ». On peut donc s'attendre à ce que des décisions prises de cette façon soient peu cohérentes, et même, conduisent à des absurdités. Mais peut-on imaginer des alternatives ?

Il existe un système qui permet de résoudre sans effort un gigantesque problème de décision collective, qu'aucun ordinateur n'a jamais pu traiter : celui de décider d'un plan de production mondial pour une foule énorme de biens et services de toute sorte. C'est le marché : la « loi de l'offre et de la demande »

---

<sup>1</sup> Vice-Président de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

détermine des prix d'équilibre, tels que toutes les quantités produites à ce prix soient consommées. Cet équilibre est unique, et présente certaines propriétés d'optimalité.

Le défaut du marché est qu'il ne fonctionne pas toujours... Toutefois, les recherches récentes en économie montrent qu'il est tout à fait possible de généraliser les vertus du marché à des sous-ensembles très restreints de l'économie mondiale, ne comportant que quelques opérateurs : c'est le domaine des « modèles multiagents » et de la théorie des jeux, qui s'appliquent parfaitement aux types de décision évoqués par Elinor Ostrom. C'est là une voie de recherche très fructueuse, qui prolonge ses travaux, et qui répond à l'objection selon laquelle il serait impossible à une assemblée de « copropriétaires » de prendre des décisions raisonnables à long terme.

En même temps, ces approches de type « théorie des jeux » font peu de place à la nature de l'information utilisée par les décideurs : il serait donc souhaitable de faire ici une synthèse avec l'approche de Ostrom, qui insiste beaucoup sur la nature de l'information.

### **Le problème de l'appropriation des rentes**

En dépit de ses aspects prometteurs, cette théorie du « marché généralisé » bute cependant sur une objection sérieuse : un équilibre général de marchés n'est unique (et optimal) qu'une fois définis des droits de propriété sur toutes les « rentes » (les revenus liés à la rareté des ressources extérieures à la communauté des décideurs, en particulier les ressources naturelles) en jeu dans les décisions. Sinon, il existe autant d'équilibres que d'attributions possibles de tels droits. Dans ces conditions, l'attribution des droits aux « rentes » devient un enjeu majeur des décisions collectives. Et c'est là que le marché – pas plus que les solutions issues de la théorie des jeux- ne peut apporter aucune solution raisonnable.

De nombreux philosophes et économistes se sont attaqués au problème, sans qu'il existe vraiment de consensus en la matière. De nombreux auteurs préfèrent l'ignorer, et considérer le droit de propriété comme « naturel » et « sacré ». Mais un important courant de pensée se développe actuellement pour considérer que les rentes devraient appartenir à « la collectivité », et pas seulement à la collectivité d'une génération, mais à l'humanité future autant que contemporaine. Ce courant de pensée (qui prend sa source au 19<sup>e</sup> siècle, sous la plume d'auteurs aussi peu « socialistes » que, par exemple, Benjamin Disraeli) renaît aujourd'hui par exemple, avec le « rapport Stern », ou le livre de Paul Collier « *the plundered planet* ». Leurs réflexions portent sur la rente pétrolière mais aussi sur les divers « droits à polluer » - en particulier en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre.

Bien évidemment, des intérêts formidables sont en jeu ici, et cela augure mal de la possibilité de prendre des décisions très cohérentes en la matière. Le problème, cependant, se pose tout autant au niveau des décisions d'un village lorsqu'il est question de décider de l'emplacement d'une fontaine publique, qui va créer des rentes au bénéfice de tel ou tel débit de boisson... Elinor Ostrom parle peu de ces difficultés, et c'est dommage, car on ne peut envisager de décision collective à long terme sans les aborder.

(Reçu le 25 mai 2013)

## IMPLICATIONS DE L'ANALYSE DES RESSOURCES COMMUNES POUR LES POLITIQUES ET LES INSTITUTIONS UNE NOUVELLE APPROCHE DE LA GOUVERNANCE

par Gérard Viatte<sup>1</sup>

### 1. La pertinence de la méthodologie d'Elinor Ostrom pour les problèmes de gouvernance

L'analyse des institutions et de la gouvernance requiert une approche **pluridisciplinaire**, qu'**Elinor Ostrom**, son équipe et ses successeurs ont très bien mise en œuvre, avec un accent sur l'interface économie-politique. Cette analyse requiert aussi un **processus itératif entre l'analyse théorique et l'approche empirique** : « science appliquée au politique ». Par ailleurs, **Elinor Ostrom** rejette les clivages classiques, notamment au sujet des **rôles respectifs de l'État et du marché** : « Aucun marché ne peut survivre longtemps sans des institutions publiques sous-jacentes pour le soutenir ». Elle recherche des institutions basées sur **l'auto-organisation et l'auto-gouvernance**. En se concentrant sur **la gestion des ressources naturelles**, **Elinor Ostrom** applique son approche à un problème sociétal majeur. Elle est orientée vers l'action et identifie les facteurs internes et externes qui peuvent affaiblir ou renforcer la gestion des ressources communes. À cet effet, elle définit les conditions d'émergence et de perpétuation des institutions de gestion des ressources communes (« **principes de design institutionnel** »).

### 2. Deux cas pratiques dans les régions alpines de Suisse

#### 2.1. La gestion des prairies et forêts de Törbel (exemple cité par E.O.)

Les premiers documents sur les types de régime et de transferts fonciers datent de 1224 et définissent cinq types de propriété communales : prairies alpines, forêts, terres incultes, systèmes d'irrigation, routes et chemins. En 1483, la création d'une association pour leur gestion est signée. Une disposition importante, parmi d'autres: aucun citoyen ne peut envoyer à l'alpage plus de vaches qu'il ne peut en nourrir l'hiver (« droits de vaches »). Une **association alpine**, comprenant tous les détenteurs de bétail, a l'autorité légale pour gérer les pâturages – un système d'autogestion très développé, avec des coûts de transaction relativement faibles.

**2.2 Consortages d'irrigation : bisses** (études suisses). Les « bisses » du Valais constituent un système d'irrigation très ancien, réglementé dès le 15<sup>e</sup>, qui mène l'eau des glaciers ou des rivières de très haute montagne vers les prairies ou les vignobles, et qui sont aussi utilisés à des fins touristiques. Ils sont gérés par des **consortages** qui rassemblent tous les détenteurs de droits d'eau sur le bisse – **droits** ancestraux juridiquement reconnus par les droits fédéral et cantonal.

### 3. Questionnements et prolongements

Les analyses théoriques et les cas pratiques étudiés par **Elinor Ostrom** montrent que la gestion des ressources naturelles par des collectivités autogérées apporte de réelles solutions. Il est aussi pertinent de prolonger le débat, en posant trois questions à titre d'exemple :

#### 3.1. Relations avec les pouvoirs publics

De manière générale, **Elinor Ostrom** défend l'indépendance des CPRI à l'égard de l'État, tout en reconnaissant que les « macro-régimes » peuvent aider les CPRI en fournissant de l'information, des cadres de suivi ou de résolution des conflits. On pourrait aller plus loin et articuler l'approche CPRI avec le développement des partenariats publics/privés (**PPP**) et l'approche « **PIP** » (politiques/institutions/*process*).

---

<sup>1</sup> Membre étranger de l'Académie d'Agriculture de France, ancien Directeur de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Pêcheries à l'OCDE.

Cette question est pertinente à l'égard des **politiques de l'environnement et de l'aménagement des territoires**.

### **3.2. Les activités « externes » des CPRI**

Les CPRI sont non seulement des organes de gestion des ressources communes, mais ils sont intégrés dans un système économique ouvert. Ce sont aussi des « **vendeurs de biens et services** », ce qui conduit à intégrer dans la discussion les « **PSE** » (Paiements pour les services environnementaux, ou écologiques). Le développement de ces paiements nécessite notamment des **institutions** efficaces représentant les fournisseurs.

### **3.3 Question d'échelle**

**Elinor Ostrom** se focalise exclusivement sur les ressources communes de petite échelle. Vu l'intérêt de l'approche, la question est de savoir si on pourrait l'appliquer à **une échelle plus grande** (grandes régions, certains bassins hydrauliques ou montagneux inter-États). Selon **Elinor Ostrom**, un des attributs de la ressource est le périmètre spatial : le rapport entre les technologies de transport et de communication et le périmètre qui permet aux utilisateurs de connaître les frontières du système – or les nouvelles technologies permettent de couvrir des périmètres de plus en plus grands.

En conclusion, il faut souligner la dimension sociétale des CPRI qui sont non seulement gestionnaires de ressources mais aussi créateurs de capital social.

*(Reçu le 24 mai 2013)*

## DISCUSSION

**M. de Galbert<sup>1</sup>.** – J'ai pu observer au Burundi que des espaces naturels dont l'État n'arrive pas, faute de moyen, à assurer la gestion, et laissés en libre accès, étaient brûlés régulièrement par des pasteurs, stérilisant le tiers de la surface communale chaque année.

Une solution observée consiste à confier des sous-ensembles de ce territoire à des groupements de gestion, sous la forme de coopérative de producteurs, directement intéressés à la protection de leurs bassins versants. Les revenus leur sont attribués en totalité, moyennant une redevance pour l'État. Un comité de gestion réunit les autorités et les coopératives au niveau communal.

Du jour au lendemain les feux s'arrêtent et des plantations deviennent viables.

Deux précautions cependant: ces coopératives ont une direction et un conseil de surveillance bien séparés, pour éviter les détournements de fonds, et les agriculteurs qui participent à la gestion commune sont rétribués en fonction de leur investissement personnel.

Ceci confirme que la gestion des ressources naturelles peut se faire de façon collective, mais qu'il ne faut pas avoir peur de parler de production de moyens de subsistance pour les populations locales, donc de bénéfice et de gestion comptable, que le libre accès n'existe pas, et que le levier de la rémunération du travail d'un habitant dépend de son implication propre. Dans le cas contraire, on tombe dans le syndrome du kolkoze, ou personne ne se sent impliqué.

La « communauté de gestion » requiert des règles très précises, dont les états se sont dotés, mais encore balbutiantes au niveau intermédiaire entre l'État et l'acteur individuel.

**G. Viatte.** – Il est vrai que les "communautés intermédiaires " n'ont pas toujours des règles de fonctionnement bien établies. C'est précisément la raison pour laquelle il faut prolonger la réflexion d'E. Ostrom au niveau des institutions et des procédures - un domaine qu'elle n'a pas approfondi suffisamment. La gestion des ressources naturelles ne peut être mise en œuvre ni exclusivement par l'Etat central, ni par les individus isolément. Donc une "communauté intermédiaire" est bien nécessaire. Non seulement les pays développés, mais aussi les pays en développement ont souvent une longue expérience dans certains domaines, tels que la gestion des bassins versants. Il faut capitaliser sur cette expérience, tout en reconnaissant le caractère spécifique de chaque région et de chaque sujet. Dans tous les cas, une formation multi-disciplinaire et proche du terrain est une condition *sine qua non* de réussite.

**L. Ollivier<sup>2</sup>.** – Quelle est l'approche des économistes face à des ressources dont l'évolution sur le long terme est incertaine et difficile à prévoir, comme c'est le cas pour les ressources génétiques végétales et animales ?

**J.M. Boussard** – Il existe de nombreuses approches de ces problèmes – trop pour faire une réponse en quelques lignes. Mais vous avez raison de souligner l'aspect qui me semble essentiel, à savoir l'immense incertitude qui existe sur les conditions à venir, rendant illusoire tout calcul comptable. Quoique non consacré aux ressources génétiques, le « rapport Stern » consacré aux bénéfices et aux coûts de la lutte contre l'effet de serre comporte beaucoup de considérations pertinentes sur ce point. Hélas, beaucoup trop d'études pseudo-économiques traitent de ces questions comme si l'environnement économique restait toujours constant... Par ailleurs, si les économistes ont une vue assez claire de la façon dont un individu isolé est susceptible d'agir en situation de risque, il n'existe aucune théorie satisfaisante sur ce que pourrait ou devrait être le comportement d'un groupe face à l'incertitude... encore un problème de décision collective laissé de côté par Ostrom !

---

<sup>1</sup> Ingénieur général du GREF.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

**Brigitte Laquière**<sup>3</sup>. – Ne sommes-nous pas simplement en train de sortir d'une illusion qui consistait à croire que l'intérêt de chacun et l'augmentation du profit passent par l'appropriation individuelle des richesses, et donc de réaliser – au-delà des idéologies – que la coopération, la collaboration sont parfois plus garantes d'une amélioration des conditions de rémunération et des conditions de vie. Cela peut nécessiter de promouvoir par l'éducation – qui est un bien commun immatériel – un nouveau modèle social, un apprentissage du collectif associé à une gestion rationnelle, rigoureuse et économe, en phase avec les fonctionnements en réseaux et la culture initiée par les nouvelles technologies.

**M. Griffon** - Le problème que nous traitons est celui de la gestion des biens en accès libre. Cet accès libre suscite d'une part du gaspillage, et d'autre part de la rivalité si intervient un coefficient de rareté. Les sociétés n'échappent donc pas à échafauder des règles pour limiter le gaspillage et la rivalité, faute de quoi le manque de règles est source de violence. Dès lors, différentes perspectives de règles sont possibles :

- le marché: il suppose une appropriation privative des droits d'accès et d'usage, et une possibilité de vente de ces droits; il ne résout pas la question de la rivalité, car c'est souvent le premier arrivé qui se déclare - ou est déclaré - propriétaire, ce qui crée des risques d'injustice. C'est l'injustice primordiale de "l'accumulation primitive" d'un capital naturel ;

- l'État s'impose comme propriétaire: c'est une situation très imparfaite, car il n'a généralement pas la capacité de contrôle des biens, lesquels sont *de facto* en accès libre, ce qui génère de la rivalité et du gaspillage de ressources ;

- les « communs »: ce sont des formes institutionnelles qui assurent un accès à un nombre limité d'ayants droit et qui, par ailleurs, respectent des règles de viabilité des ressources, ce qui constitue une réponse au problème de la rivalité et à celui du gaspillage. Il reste que les communs peuvent ne concerner qu'une partie limitée de la population et qu'il peut donc y avoir exclusion de tiers.

Les « communs » constituent donc une forme institutionnelle particulière qui est fondée sur la négociation, pour l'accès et la gestion des ressources, alors que la privatisation ou l'étatisation de l'espace et des ressources naturelles reposent sur l'établissement d'un acte primordial autoproclamé de propriété qui peut être contesté par ceux qui ressentent une frustration. Les différentes ressources naturelles qui font l'objet de discussions sur l'accès et l'usage rencontrent aujourd'hui encore ce même problème du choix du mode d'appropriation: les forêts tropicales, les parcours d'élevage, les ressources génétiques (propriété nationale). Mais d'autres domaines comme les "maux communs" - les gaz à effet de serre, la biodiversité- relèvent des mêmes raisonnements.

**G. Paillotin**<sup>4</sup>. – Je voudrais revenir sur la question posée par Jeanne Grosclaude et par Louis Ollivier et savoir si la question précise de la brevetabilité des gènes a été étudiée par des économistes et si oui lesquels ?

**J.M. Boussard**. – La liste des économistes qui se sont intéressés à cela est longue, à commencer, en France, par J.P. Berlan, un ancien chercheur à l'INRA, bien connu dans l'Institution. Je suis loin d'être toujours d'accord avec lui, mais il faut reconnaître qu'il aura eu au moins le mérite de poser beaucoup de vraies questions.

D'une façon plus générale, il y a beaucoup d'approches possibles du sujet, en particulier selon que l'on s'intéresse à un équilibre statique dans la tradition de la « statique comparative », ou que l'on essaie d'aborder le problème en dynamique (ce qui est beaucoup plus difficile) : par exemple Bonwoo Koo et Brian Wright, dans un *Working paper* de l'IFPRI, étudient les effets dynamiques des brevets génétiques sur l'ensemble de l'économie ; et montrent que les conséquences de long terme peuvent ruiner les effets bénéfiques tels qu'ils sont habituellement évalués à partir de la « statique comparative », comme celle de Swanson et Göschl dans *Ecological Economics* (32, 2000 : 75-92) . Certains se focalisent sur l'efficacité (au sens économique du terme : utilise-t-on les ressources sans gaspillage ?), et d'autres sur les effets redistributifs, en particulier dans les pays en développement. Les études sont nombreuses, mais les conclusions assez disparates, et trop souvent entachées d'idéologie.

<sup>3</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur honoraire de l'enseignement supérieur agricole.

<sup>4</sup> Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie d'Agriculture de France.

**J.-P. Lanly**<sup>5</sup>. – Pendant une vingtaine d'années, à la fin du siècle dernier, j'ai été confronté à l'émergence, l'essor puis le relatif déclin de ce qu'on a appelé la « foresterie communautaire ». Conceptualisée par l'École anthropologique d'Amérique du Nord, elle était basée sur une notion de « communauté » propre à cette région, comme l'a très justement fait remarquer Jacques Weber, notion très différente des communes de la vieille Europe, et notamment de celles de la Suisse dont Gérard Viatte a très bien présenté le fonctionnement. Les communes des pays européens ont un territoire bien délimité, qui ne dépend pas de la nature du bien et du service considéré ; leurs habitants élisent un conseil municipal qui élit un maire dont le mandat est remis en question à chaque échéance électorale. J'ai beaucoup regretté que les sociologues et anthropologues européens s'engouffrent dans l'approche « communautaire » propre à l'Amérique du Nord plutôt que d'étudier la foresterie communale et de voir ce que cet exemple avait d'utile pour sortir de la gestion forestière entièrement centralisée, léguée par les puissances coloniales à la grande majorité des pays en développement.

Pour terminer, je voudrais dire que, dans le discours sur les biens communs, la prévalence des rapports de force et de pouvoir entre êtres humains semble quelque peu gommée. Et pourtant, ils sont toujours bien là, même dans les relations humaines où on les attendrait le moins (comme celles d'une mère avec ses enfants). Je pense que dans le domaine de la gestion des biens communs, comme dans d'autres, il faut se garder de trop d'angélisme.

**J.M. Boussard**. – Je suis bien sûr entièrement d'accord avec les remarques de J.P. Lanly : il est tout à fait certain que si la gestion collective est toujours possible, et souvent efficace, elle est aussi susceptible de conduire à des dérives qui ne peuvent être évitées par la seule circulation de l'information, si désirable soit-elle. C'est pourquoi tout système de cette sorte implique une « constitution » – un ensemble de règles formelles permettant d'une façon ou d'une autre de résoudre les conflits en l'absence de consensus sur les décisions à prendre. C'est bien le sens des travaux modernes sur le « paradoxe de Condorcet », en particulier ceux de K/J. Arrow. Quand à savoir si la constitution des communes de la vieille Europe est meilleure ou pire que celle des communautés américaines, c'est évidemment une question ouverte.

---

<sup>5</sup> Trésorier perpétuel de l'Académie d'Agriculture de France, ingénieur général honoraire du Génie rural, des Eaux et des Forêts.

## UN CHANGEMENT DE GÉNÉRATION POUR LES BIOCARBURANTS ? DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DES BIOCARBURANTS AVANCÉS

### INTRODUCTION

par Michel **Girard**<sup>1</sup>

Monsieur le Président,  
Monsieur le Secrétaire perpétuel,  
Chères consœurs, chers confrères,  
Mesdames, Messieurs,

Je suis très heureux de pouvoir aujourd'hui introduire devant vous une nouvelle séance dédiée aux biocarburants. Celle-ci se situe dans la continuité de celles qui ont traité de ce thème depuis la séance du 15 avril 1992 animée par notre confrère Jean **Deniel**. Elle marquait le retour des biocarburants dans l'actualité. Il en avait adressé le compte rendu à Serge **Tchuruck**, président de TOTAL. Le cahier est ainsi arrivé sur mon bureau et je l'ai conservé sans penser que je serais un jour à traiter ici du même sujet.

Nous sommes donc plus de 20 ans après. Qui aurait alors pensé aux controverses parfois passionnées qu'a soulevées et que soulève toujours le sujet ? En effet, l'Assemblée nationale n'a-t-elle pas gravement légiféré le 17 mai dernier pour bannir de la législation française le terme de biocarburants en imposant de le remplacer par agrocarburants. Le Sénat, dans sa grande sagesse selon la formule consacrée, s'est empressé de rétablir la situation. On attend donc la décision de la commission paritaire...

Je ne peux m'empêcher de rappeler que c'est Bruno **Lemaire**, ministre de l'Agriculture d'alors qui le premier utilisa ce terme d'agrocarburants. Repris dans cette enceinte ici même, je m'étais alors élevé contre ce que je voyais clairement comme une tentative de dénigrement des biocarburants. Il était en effet clair qu'il s'agissait de glisser de bio à agro, puis à agriculture, puis à agriculture intensive et donc à agriculture polluante : CQFD, les biocarburants sont nuisibles et à condamner !

C'est à nouveau le raisonnement de l'Assemblée nationale. Car biocarburant voudrait dire obtenu par des méthodes de culture « bio » alors que cela signifie provenant de la biomasse !

Mais rassurez-vous ! Justement nous avons choisi aujourd'hui de ne surtout pas entrer dans tous ces débats et polémiques. Qu'ils soient sémantiques ou sur le bilan des gaz à effet de serre. Nous allons nous tourner résolument vers l'avenir, vers les solutions envisageables pour obtenir à partir de la biomasse au sens large des carburants pour alimenter des moteurs.

C'est ainsi que Philippe **Marchand** de TOTAL Énergies nouvelles va nous faire parcourir les très nombreuses voies que le groupe TOTAL explore ou met en œuvre pour cette ou ces nouvelle(s) génération(s) de biocarburants. Ceci va nous valoir un large tour du monde et des procédés. En effet, au-delà des procédés, les ressources, les contextes locaux sont autant de facteurs déterminants importants à prendre en compte. Je le remercie d'être aussi précis que possible sur la « mosaïque » que cela représente comme il le dit lui-même.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien Directeur du développement agricole de TOTAL.  
**C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°3. Séance du 12 juin.**

Ensuite, nous reviendrons en France pour deux réalisations très concrètes mais pilotes et même futuristes.

Frédéric **Martel** de PROCETHOL 2G vient de Pomacle près de Reims, un site que certains d'entre nous ont eu la chance de visiter il y a quelques mois. Il nous exposera l'état d'avancement du projet pilote FUTUROL consacré à la production d'éthanol à partir de la biomasse lignocellulosique et non pas de sucre ou d'amidon.

Puis Julien **Rousseau** de SOFIPROTEOL Innovation nous présentera le projet BioTfuelL visant à obtenir du biodiesel par traitement thermochimique de la biomasse lignocellulosique.

Je remercie les trois intervenants d'avoir bien voulu venir prendre la parole car certains points de ces projets ne sont pas publics et donc la limite de ce qu'ils peuvent nous dire pourrait être atteinte. Il ne faudra pas leur en vouloir !

Enfin, la conclusion de notre séance sera assurée par notre confrère Pierre-Henri **Texier** qui ouvrira notre réflexion vers les questions des grands équilibres concernant les disponibilités, d'autres diraient la concurrence entre les débouchés. Ce sera justement, le thème d'un groupe travail transversal au sein de notre Compagnie qu'il animera dans la période à venir.

J'espère que vous pourrez, après cette séance, avoir une meilleure connaissance des perspectives à ce jour concernant la biomasse et l'énergie.

## **BIOCARBURANTS DU FUTUR : VERS UNE MOSAÏQUE DE SOLUTIONS DURABLES**

par Philippe Marchand<sup>1</sup>

Rappel du contexte énergétique mondial : les énergies conventionnelles fossiles représenteront encore 75 % du mix énergétique en 2030, et leur coût ne peut qu'augmenter car elles sont de plus en plus complexes et coûteuses à produire ; de plus, l'empreinte carbone doit baisser pour répondre au défi du changement climatique.

Dans le transport, les biocarburants sont déjà une solution disponible, à coût et durabilité raisonnables sous leur forme de première génération, améliorant ainsi l'emploi, la sécurité d'approvisionnement en énergie et l'empreinte carbone ; leur compatibilité avec les carburants fossiles, sous les aspects logistique, compatibilité avec les motorisations en place (pour encore longtemps dans les transports lourds plus particulièrement) et densité énergétique, leur ont permis d'atteindre de 5 à 10 % d'incorporation selon les régions du monde.

Mais des contraintes fortes apparaissent, au niveau des matières premières (compétition d'usage durabilité et efficacité à réduire l'empreinte carbone) et à celui de la compatibilité avec les motorisations en place, notamment dans l'aviation où les carbohydrates sont impossibles à utiliser avec les motorisations existantes, ce qui pourrait limiter la croissance des biocarburants de première génération, en taux d'incorporation, même si la croissance des pays émergents peut permettre une croissance en volume.

Ces limitations ouvrent la voie aux biocarburants avancés, amenés à compléter les biocarburants de première génération du fait de l'utilisation de matières premières plus durables et plus diversifiées :

- dans les voies biotechnologiques, dont le procédé de base est la fermentation utilisant comme catalyseurs des microorganismes naturels ou génétiquement modifiés, on envisage une transition pour la matière première renouvelable la plus abondante, le sucre, des plantes sucrières traditionnelles, canne à sucre et betterave, et de l'amidon, vers les sucres cellulosiques contenus dans les résidus et déchets des industries agroforestières ou des cités, dans les plantes énergétiques, avant une transition à encore plus long terme vers les algues. Ces voies biotechnologiques permettent de fabriquer des molécules d'intérêt plus adaptées à la demande que l'éthanol de première génération, soit sous forme fongible (ou *drop-in* dans sa dénomination anglaise), c'est le cas du farnésane, hydrocarbure en C15, de la société Amyris par exemple, soit sous forme de molécules briques ayant vocation à servir de grands intermédiaires vers des produits finaux plus élaborés, c'est le cas de l'isobutanol de la société Gevo par exemple ;
- dans les voies thermochimiques, qui couplent les deux grandes opérations de gazéification et de synthèse, et permettent de moduler la production des molécules cibles, avec des objectifs et à partir de matières premières similaires à ceux de la biotechnologie évoqués ci-dessus ;
- dans des voies mixtes, associant catalyse biotechnologique, organique et thermochimie : c'est le cas des procédés développés par exemple par les sociétés Virent ou Coskata.

La grande flexibilité et la grande diversité des procédés de production de biocarburants avancés permettent d'envisager une mosaïque de solutions croisant matières premières et procédés innovants selon des critères de territorialité alliant durabilité, sécurisation des matières premières par engagements de long terme et besoins énergétiques locaux.

Mais il reste encore bien des barrières à franchir avant de voir les biocarburants avancés prendre une place significative dans le mix énergétique : maturité technologique, sécurisation des matières premières, logistique de collecte des matières premières, stabilité de long terme des réglementations pour attirer les investissements dans des chaînes de valeur innovantes mais risquées : un engagement fort des grands acteurs de l'énergie, dans la mesure où les solutions respectent les fondamentaux du développement durable, doit permettre cette émergence dans la prochaine décennie.

(Reçu le 2 juin 2013)

---

<sup>1</sup> TOTAL Énergies nouvelles – Développement Biocarburants.



## **BIOETHANOL CARBURANT : LES NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE RESSOURCES VÉGÉTALES ET DE PROCÉDÉS BIOLOGIQUES L'EXEMPLE DU PROJET FUTUROL, INITIATIVE FRANÇAISE DE DÉPLOIEMENT INDUSTRIEL ET COMMERCIAL, ISSU DE LA RECHERCHE PUBLIQUE ET PRIVÉE**

par Frédéric Martel<sup>1</sup>

La recherche de biomasses énergétiques renouvelables sans concurrence alimentaire, sans effets nuisibles pour l'environnement, ni changement d'usage direct ou indirect des terres, se combine avec le changement climatique et la raréfaction des énergies issues du carbone pour envisager de nouvelles ressources et procédés innovants. Dans cette perspective, PROCETHOL 2G, coordinateur du Projet FUTUROL en association avec onze actionnaires, partenaires de R&D, industriels et financiers français, développe la production, à terme à l'échelle industrielle, de bioéthanol de deuxième génération, réalisée à partir de biomasse ligno-cellulosique. De manière générale, les procédés développés dans le cadre du Projet FUTUROL préservent l'utilisation des cultures pour des fins alimentaires, en réservant seulement les résidus agricoles et forestiers à la fabrication de bioéthanol, et en cherchant à exploiter les biomasses non-alimentaires telles que le bois, les taillis, les cultures énergétiques sur des terres non arables ou réglementairement protégées.

Dans le cadre du Projet FUTUROL lancé il y a 5 ans, la collaboration d'ARD (Agro-industrie recherches et développements), de Lesaffre, de l'IFP Energies nouvelles et de l'INRA a conduit à la production de bioéthanol de deuxième génération à partir de ces biomasses. La société PROCETHOL 2G est parvenue à ce résultat en transformant, dans son installation Pilote pré-industrielle de Pomacle-Bazancourt dans la Marne, différentes biomasses, comme de la paille de blé, des taillis de peuplier et du miscanthus, en bioéthanol, avec plus de 4 tonnes produites en 2012.

Le procédé de production de bioéthanol repose sur une préparation des matières végétales, broyées, par imprégnation à chaud (prétraitement), sur une libération des sucres par des enzymes spécifiques (hydrolyse) développées et brevetées dans le cadre du Projet, puis sur une production d'alcool (fermentation) utilisant des levures adaptées à fermenter la majorité des sucres de la biomasse, propagées *in situ*. La distillation, en séparant l'alcool du vin, a permis la production de plusieurs centaines de litres d'éthanol par tonne de matière première, utilisables pour produire du bioéthanol carburant. Enfin, les premières productions d'enzymes nécessaires au procédé se sont déroulées conformément aux attentes, en utilisant les coproduits du procédé.

Le Pilote a déjà atteint, après quelques mois d'exploitation, l'optimum théorique de production d'éthanol à partir de lignocellulose, avec des résultats économiques viables. Il s'engage maintenant dans les travaux permettant d'optimiser les recyclages des eaux du procédé pour réussir le pari de minimiser les rejets, et d'intégrer tous les coproduits pour être le plus autonome possible en réactifs, énergie et eau. Ce travail d'intégration des flux de matières et d'énergies n'est possible que lorsqu'un outil pilote dispose en un seul lieu de tous les moyens de transformation, du broyage jusqu'à la distillation, en passant par la production d'enzyme et la propagation des levures. Il reste aussi à consolider les scénarios d'approvisionnement en matières premières végétales concernées, ainsi que les contraintes liées à leur saisonnalité, voire les mélanges éventuels, avec l'évaluation de leur concurrence d'usage existant ou à venir.

Ce succès est lié à la synergie des établissements de recherche et développement, qui n'auraient pu, indépendamment, atteindre ce résultat, issu d'une solide collaboration technique et économique, entre les 11 partenaires du projet issus de cultures techniques et domaines différents. N'importe quel procédé peut produire de l'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique, les vraies questions sont : avec quelle

---

<sup>1</sup> Directeur de PROCETHOL 2G – Projet FUTUROL ([f.martel@projet-futurol.com](mailto:f.martel@projet-futurol.com)).

représentativité, quelle réalité technologique, à quel coût, avec quel impact environnemental, avec quelle possibilité d'industrialisation, et avec quels risques ?

Aujourd'hui, les avancées du Projet FUTUROL sont significatives en termes technico-économiques, ce qui laisse espérer atteindre à terme un prix de l'éthanol de seconde génération acceptable par le marché, c'est-à-dire économiquement viable, mais répondant aussi aux critères de durabilité des biocarburants exigés aujourd'hui et probablement renforcés au niveau international dans les prochaines années.

Le Projet FUTUROL s'attache à développer une filière viable, mondiale, de bioéthanol de deuxième génération au sein de ces contraintes pour licencier le procédé, les auxiliaires biologiques (levures, enzymes), le conseil technologique (recommandations d'équipementiers et exclusivités) avec des scénarios avérés de fourniture de ressources lignocellulosiques.

*(Reçu le 2 juin 2013)*

## **PROJET BIOTFUEL**

par Julien **Rousseau**<sup>1</sup>

À l'horizon 2020, sur la base d'études prospectives, l'offre mondiale de pétrole brut sera structurellement limitée en capacité à environ 95Mbbbl/j, alors que la demande sera contrainte aux environs de 100Mbbbl/j. Cette situation entraînera de fortes tensions sur les cours du brut. L'Europe, et en particulier la France, souhaitent accroître leur indépendance énergétique tandis que leurs capacités de production de gazole présentent un déficit croissant. Pour pallier ce déficit, les biocarburants constitueront une offre complémentaire nécessaire. Dans ce contexte, l'Europe et la France en particulier souhaitent favoriser l'émergence des biocarburants de seconde génération en complément de l'offre de biocarburants de première génération.

Le projet BioTfuel s'inscrit dans cette dynamique. Il vise à développer et à mettre sur le marché, une chaîne industrielle complète de procédés de conversion thermo-chimique de la biomasse lignocellulosique en biogazole de synthèse. La filière biogazole 2G exige, pour des raisons de rentabilité, des unités de grande taille alors que la biomasse reste une ressource limitée, hétérogène et disparate. Afin d'améliorer la flexibilité et la rentabilité économique de ces complexes industriels, le projet BioTfuel propose de développer une chaîne industrielle complète B-XTL capable de co-traiter la plus large diversité de biomasses et de charges fossiles aussi bien liquides que solides. L'objectif de performance de la chaîne est d'atteindre un rendement massique de 30% et une haute efficacité énergétique.

Le projet BioTfuel sera mené par un Consortium de six partenaires: Sofiprotéol, premier producteur européen de biodiesel ; Total, quatrième groupe pétrolier international intégré, coté dans le monde ; le CEA et l'IFP, les deux acteurs majeurs français de la Recherche et Développement dans le domaine de l'énergie ; Axens deuxième bailleur de licences de procédés de raffinage dans le monde ; et Uhde, une société d'ingénierie et bailleur de licences dans les technologies de traitement des gaz, leader dans le domaine de la gazéification. Le champ des compétences du Consortium couvre des compétences variées qui s'étendent de l'organisation des filières ressources à la commercialisation de procédés en passant par la recherche et développement de technologie, la transformation et la commercialisation des produits pétroliers. Cette association originale constitue un élément différenciant par rapport aux autres programmes européens ; et est une des clés du succès du projet.

---

<sup>1</sup> SOFIPROTEOL – Directeur de l'Innovation, Projets Bioénergies.

La chaîne de procédés développée par le Consortium se décline en trois étapes : prétraitement de la biomasse, gazéification en flux entraîné, conditionnement du gaz de synthèse en amont de la synthèse Fischer-Tropsch. La synthèse FT produit un gazole de haute qualité mais exige un gaz de synthèse de grande pureté. Pour respecter cette contrainte et autoriser le plus large spectre de biomasses en entrée du procédé, la technologie de gazéifieur à flux entraîné offre les meilleures performances : flexibilité sur les charges à forte teneur en inorganiques, taux de conversion de carbone élevé et gaz de synthèse sans goudron, à faible teneur en CO<sub>2</sub> et en méthane. Néanmoins, la biomasse doit être prétraitée pour permettre son injection sous pression dans le gazéifieur. La torréfaction, procédé de traitement à basse température, permet de broyer la biomasse solide, avec une consommation énergétique limitée.

Ces technologies présentent aujourd'hui d'inégales maturités :

- la technologie FT est disponible commercialement ;
- la gazéification à flux entraîné est utilisée industriellement pour le traitement de charges fossiles et requerra des évolutions majeures pour traiter de la biomasse seule ou en co-traitement avec des charges fossiles ;
- le conditionnement du syngas se compose de procédés de lavage des gaz acides relativement matures, associés avec des procédés catalytiques, et d'une purification finale nécessitant un développement important, la torréfaction, qui est l'un des principaux verrous du projet, n'a, jusqu'à aujourd'hui, pas d'application industrielle de grande capacité.

Afin de lever ces verrous technologiques et de disposer à la fin du projet de toutes les technologies à l'échelle industrielle, celui-ci mettra en œuvre un important programme de R&D qui s'appuiera sur deux pilotes de démonstration.

Le scénario envisagé est basé sur la construction d'un démonstrateur de torréfaction sur le site de Sofiprotéol à Compiègne. Le démonstrateur de gazéification sera localisé, quant à lui, dans l'Etablissement des Flandres de Total à Dunkerque. La durée totale du projet sera de 7 ans, pour un budget de 112,7 millions d'euros.

Dans le cadre de la bonne réalisation du projet, le consortium envisage de créer une société par actions simplifiée (SAS), nommée BIONEXT, constituée des partenaires R&D cités précédemment, et dont la fonction principale est la gestion du projet ainsi que la construction et l'opération du démonstrateur de prétraitement. Une seconde SAS, BIONEXT G, filiale à 100% de la première assurera l'érection et l'opération du démonstrateur de gazéification. Les grands principes de la collaboration ont été définis par les partenaires, ainsi que les règles de propriété industrielle. Axens a été choisi par le consortium afin d'assurer le succès de la commercialisation future des résultats.

*(Reçu le 2 juin 2013)*

## DISCUSSION

**J.P. Jamet<sup>1</sup>.** – La cellulose est une molécule de structure liée à la lignine qui constitue majoritairement les parois cellulaires qui sont comme le dit souvent Daniel Thomas difficiles à déconstruire. Quel est votre avis sur la destruction de la cellulose biocombustible ou biocarburant ?

**P. Marchand.** – Les procédés de déconstruction de la cellulose ont beaucoup progressé et sont proches du stade industriel, avec quelques unités déjà en marche : compte tenu du prix intéressant de cette partie structurale de la plante, c'est une matière première additionnelle pour les biocarburants, très abondante, qui pourra d'ici quelques années compléter de manière avantageuse les biocarburants de première génération qui utilisent la partie énergétique de la plante.

**J.F. Molle<sup>2</sup>.** – Un commentaire : brûler de la biomasse pour le chauffage domestique en « déplaçant » du fuel domestique (quelques millions de tonnes par an) est une façon indirecte formidablement efficace de produire du carburant, puisque ce fuel ainsi épargné est du gas-oil !

Une petite question parmi toutes vos pistes lesquelles sont les plus proches de remplir les critères de viabilité de votre avant dernière diapo ?

**P. Marchand.** – Le fuel domestique n'est pas directement utilisable dans les moteurs diesel et une telle transformation nécessite des investissements dans l'industrie du Raffinage ; de plus, ce gazole ainsi récupéré n'est ni renouvelable, ni durable, même s'il participe au rééquilibrage du déficit en distillats moyens de l'Europe ; l'arbitrage entre les différentes utilisations de la biomasse est un sujet complexe, qui doit être piloté par les Pouvoirs Publics en fonction des objectifs politiques recherchés, dont l'emploi, la sécurité d'approvisionnement en énergie et la lutte contre le changement climatique

**A. Neveu<sup>3</sup>.** – Vous avez évoqué la concurrence possible entre les biocarburants et les productions agricoles destinées à l'alimentation. Par rapport aux quelques 1530 millions d'hectares cultivés dans le monde, que représentent les surfaces actuellement consacrées aux biocarburants de première génération ?

**P. Marchand.** – Faible !

**Sylvie Alexandre<sup>4</sup>.** – Les discussions en cours sur l'évolution de la directive européenne relative aux énergies renouvelables envisagent, pour inciter à la production de biocarburants de deuxième génération, dits « avancés », à une double, voire triple comptabilisation des réductions d'émissions permises par ces produits, ce qui risque de conduire à une non atteinte de l'objectif de 10% d'énergie renouvelable dans les transports en 2020, compte tenu des prévisions de lancement industriel de ces produits qui envisagent plutôt 2025/2030. Quelle est votre position sur ce point ?

**P. Marchand.** – Notre position est que les réglementations doivent être stables dans le temps, au moins 10 ans, pour permettre de rentabiliser les investissements, mais elles restent de la responsabilité des Pouvoirs Publics, l'industrie ayant pour responsabilité d'apporter les solutions techniques appropriées

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Secrétaire général du CNPA, 9, rue de la Baume, 75008 Paris.

<sup>2</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Dirigeant de JFM Conseil.

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien adjoint au Directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la Caisse nationale de crédit agricole.

<sup>4</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts.

## UN CHANGEMENT DE GÉNÉRATION POUR LES BIOCARBURANTS ? DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DES BIOCARBURANTS AVANCÉS

### CONCLUSION

par Pierre-Henri **Texier**<sup>1</sup>

Les biocarburants de première génération sont contestés sur leur bilan en gaz à effet de serre (GES) et plus récemment, remis en cause par la prise en compte du facteur CASI (Changement d'affectation des Sols indirect<sup>2</sup>).

À cet effet, sont promus actuellement les carburants de deuxième génération qui nous ont été présentés précédemment. Ces carburants sont réalisés par des enzymes cellulolytiques comme dans le projet Futurol présenté par Frédéric **Martel** ou par la voie thermochimique comme dans le projet Biotfuel présenté par Julien **Rousseau**.

Mais au niveau de la recherche, on s'intéresse aux carburants de troisième génération obtenus à partir d'algues ou par production directe du bio-hydrogène, cette seconde voie semblant également prometteuse.

Enfin, il faut citer les carburants de quatrième génération, c'est-à-dire ceux obtenus à partir de la récupération du CO<sub>2</sub> directement de l'atmosphère.

Ces quatre générations de biocarburants ne doivent pas nous faire oublier les carburants de la génération zéro, à savoir les plantes fourragères destinées à l'alimentation des animaux de trait. Car si ces carburants ont quasiment disparus dans les pays de l'OCDE, à l'échelle mondiale on compte 450 millions d'animaux qui nécessitent 250 millions d'hectares pour les nourrir. Ce chiffre est à mettre en parallèle avec les 38 millions d'hectares occupés par les carburants de première génération et avec les 5 millions d'hectares par ceux de deuxième génération.

Du point de vue des rendements en tonne équivalent pétrole/ha, on passe de 0,5 tep/ha en Génération 0, à 1 à 5 en Génération 1, 5 à 10 en Génération 2 et à 10 à 30 en Génération 3.

Il s'en suit qu'au niveau d'un territoire donné, il y a, comme nous l'a dit Philippe **Marchand** une « mosaïque de solutions » qui permettent une optimisation des ressources énergétiques territoriales.

En conclusion, les biocarburants doivent être analysés à partir d'une approche bioéconomique à la fois holistique et localisée, et les concepts d'Analyse de cycle de vie et du changement d'affectation des sols indirect doivent être approfondis dans cette optique.

---

<sup>1</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, Ingénieur général du GREF au Conseil général de l'alimentation, CGAAER, 251, rue de Vaugirard, 75732 Paris cedex 15.

<sup>2</sup> ILUC en anglais.

## ACCEPTABILITÉ SOCIÉTALE DES INNOVATIONS DANS LA FILIÈRE ALIMENTAIRE

### INTRODUCTION

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

M. le Président,  
M. le Secrétaire perpétuel,  
Mesdames, Messieurs,

Il y a maintenant un ou deux ans, trois peut-être, que la section 8 a commencé à se préoccuper des questions d'acceptabilité sociétale, un terme récent pour un problème vieux comme le monde. L'acceptabilité sociétale c'est, en bref, le fait pour une société ou un groupe humain d'accepter ou de rejeter d'entrée une idée nouvelle, un produit nouveau ou une technologie innovante.

L'acceptabilité sociétale n'est pas, rappelons-le, un phénomène né d'aujourd'hui. Elle a conduit dans un passé proche ou ancien au rejet ou à l'adoption de théories politiques, de découvertes scientifiques ou d'innovations technologiques de premier plan. Il en existe de nombreux exemples, en voici quelques uns : le refus des parisiens de consommer du pain blanc au 18<sup>e</sup> siècle, les difficultés rencontrées par Antoine **Parmentier** pour amener les Français à consommer la pomme de terre, l'hostilité de nos compatriotes dans certaines régions à l'utilisation du courant électrique aux 19<sup>e</sup> et même 20<sup>e</sup> siècles, le rejet des OGM.

Thomas **Edison** a été l'un des premiers, peut-être le premier, à prendre clairement conscience de ce problème : inventeur entre autres du phonographe et de la lampe à incandescence, il a un jour déclaré qu'il ne s'occuperait plus désormais des thèmes de recherche rejetés, ou apparemment rejetés, d'entrée par la société.

Dans sa *Psychologie des foules*, parue en 1895, Gustave **Lebon** a lui-même montré quelle importance pouvait avoir ce phénomène encore mal identifié dans le comportement des groupes humains.

Jean-Baptiste **Fressoz**, dans un livre publié il y a quelques mois, en 2012, aux Éditions du Seuil, *L'apocalypse joyeuse. Une histoire du risque technologique*, s'est lui-même penché sur la question. Voici ce qu'en a dit dans son Guide livres de décembre 2012 la très sérieuse revue **L'Histoire** : *Si la portée des cas analysés prête à débat, ce livre à thèse rappelle à juste titre l'ambivalence des rapports entre technique et société et plonge au cœur des interrogations écologiques contemporaines*. L'auteur, précise d'ailleurs la revue, s'élève contre *le mythe d'un progrès technique irrésistible*.

Ignorer comme nous l'avons fait jusqu'à présent, pas seulement en France mais aussi ailleurs, les phénomènes d'acceptabilité sociétale est, de nos jours, sinon suicidaire au moins insensé. Lancer de grands projets sans en tenir compte revient à prendre des risques inconsidérés.

D'ores et déjà, mais depuis assez peu de temps, des industriels, de grandes entreprises, des organisations professionnelles commencent à en prendre conscience :

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France et Membre de l'Académie vétérinaire de France.  
**C.R.Acad. Agric. Fr.**, 2013, 99, n°3. Séance du 19 juin.

- BASF a exposé, en novembre 2011, comment le groupe entendait résoudre le problème d'acceptabilité sociétale de la pomme de terre OGM Fortunat qu'il allait mettre sur le marché ;
- AGRION a, de la même façon, il y a quelques mois, rendu public un texte sur l'acceptabilité sociétale de divers projets énergétiques au plan mondial.

C'est compte tenu de tous ces éléments que la section 8 a souhaité organiser une séance sur ce problème d'importance capitale. Ismène **Giacchetti**, que la plupart d'entre vous connaissent, s'en est chargée. Qu'elle en soit remerciée.

Prendront ensuite la parole successivement : Jean-Pierre **Williot** professeur d'Histoire contemporaine, Daniel **Boy** directeur de recherche en Sciences politiques, Jocelyn **Raude** maître de conférences/chercheur et Gervaise **Debucquet**, enseignant-chercheur.

Enfin, Guy **Pailotin** a accepté de tirer les conclusions de cette séance.

## **PRODUCTEURS ET CONSOMMATEURS DANS LE PROCESSUS D'INNOVATION PROMOTION, REFUS, ACCEPTATION UNE QUESTION DE CONFIANCE**

par Jean Pierre **Williot**<sup>1</sup>

Basée sur l'analyse des jeux d'acteurs, des modalités d'évolution des technologies et de leur réception par des clientèles segmentées, la construction sociale des techniques permet de comprendre les interactions et les dynamiques de l'innovation. La sociabilité alimentaire notamment, déterminée par des techniques de préparation et de présentation des repas, des manières de manger et de boire, des produits adaptés pour être adoptés en découle. Quelle que soit la société et quel que soit l'espace culturel considéré, toute transformation des habitudes alimentaires comprend une séquence au cours de laquelle une nouveauté peut être acceptée par simplification ou amélioration d'une manière de faire, voire en raison de coûts moindres. Mais cette séquence peut également être inversée et l'introduction d'une nouveauté faire l'objet de très nombreuses réticences. Les raisons en varient, d'un prix trop élevé pour l'avantage supposé à la confrontation aux usages comportementaux (certains relevant du goût, d'autres de représentations, d'autres encore de convictions mal pensées). En amont des changements alimentaires, un indispensable déclic s'opère en tout cas à la seule condition que la confiance anime celle ou celui qui décide.

Cette relation est particulièrement ténue dès lors que le consommateur choisit des aliments dont on sait après de nombreux travaux d'experts de sociologie alimentaire que leur ingestion n'est pas qu'un acte de nutrition, ou de diététique, mais également l'exercice culturel d'une fonction corporelle. La mise sur le marché d'une nouveauté engendre donc un processus complexe destiné à rassurer le futur acheteur. Il faut mettre en avant des critères de communication où la notoriété, la reconnaissance de la qualité, le bon goût, la praticité ou la facilité d'emploi du produit à cuisiner deviennent pertinents sur des marchés différenciés. Le vocabulaire qui permet de décrire, l'argumentaire publicitaire qui doit emporter l'attraction, les sigles de certification ou les labels de valeur sont autant de vecteurs de cette équation entre offre et demande. Il est tout autant nécessaire de garantir le circuit de distribution, l'absence d'altération du produit, une mise en vente régulière. Enfin la preuve de l'intérêt du changement, toute innovation demandant d'abandonner un usage pour y substituer un autre, doit être suffisante pour que la transformation s'opère à des niveaux scalaires rentables. Alchimie complexe de facteurs objectifs, rationnels, calculés et de réactions variables, elles aussi pesées ou spontanées...

L'histoire des innovations alimentaires depuis deux siècles est ponctuée de ces arbitrages. D'un côté la capacité de l'agriculture et des industriels des filières agroalimentaires puis, en bout de chaîne, des métiers de bouche pour proposer sans cesse des produits différents, élargissant dans les sociétés occidentales l'étal du choix alimentaire. De l'autre, la fulgurance d'une acceptation – l'introduction du réfrigérateur dans la société française des Trente glorieuses-, la lenteur d'un bouleversement pourtant essentiel –l'amélioration et le contrôle des techniques d'élevage. L'innovation alimentaire enchaîne en maillons successifs depuis deux siècles les adaptations techniques, les découvertes scientifiques, l'industrialisation de l'alimentation et celle de la production agricole, les sélections de races animales et de variétés végétales. Mais les pulsations de l'histoire ne sont pas linéaires. L'évolution ponctuée de crises alimentaires, qu'elles se nomment fraudes et adultérations dans les années 1900 ou épisode de l'ESB dans les années 2000, a entamé la confiance des consommateurs, vite portés à l'étonnement, à la critique et en fin de compte à la défiance angoissée.

Notre propos est de relire, à partir d'un exemple signifiant, comment l'innovation alimentaire peut être porteuse d'espoirs et d'améliorations d'un côté, de doutes et de résistances de l'autre. Dans le contexte de volonté politique de démocratiser l'accès au marché alimentaire et la progression des flux d'approvisionnement, les beurres et les margarines se livrent un combat de concurrence à partir des années 1870 qui suscite fraudes, réglementations, labels, discours scientifiques et économiques où l'innovation est l'enjeu cardinal de toutes les positions. Un siècle plus tard, alors que les industries agroalimentaires ont fait

---

<sup>1</sup> Professeur d'Histoire contemporaine, VP du Conseil scientifique de l'IEHCA, DR Équipe Alimentation, EA6294, Université François Rabelais, Tours

advenir la profusion sur les tables françaises et les commodités culinaires de tous ordres, les discours ont changé de registres mais la controverse gustative n'a pas disparu. Cette histoire passionnante constituera la trame de fond d'une réflexion plus globale sur l'équation de l'innovation et de la confiance.

*(Reçu le 11 juin 2013)*

## ASPECTS SOCIOLOGIQUES DE L'OPPOSITION AUX OGM

par Daniel **Boy**<sup>1</sup>

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) font indéniablement partie des sujets qui ne suscitent pas du tout les mêmes réactions de part et d'autre de l'Atlantique. Alors que les cultures de plantes OGM sont très développées aux États-Unis et ne font pas ou que peu polémique dans l'opinion publique américaine, les européens font au contraire preuve d'une grande prudence voire d'une réelle méfiance en ce domaine. Cet article le montre bien dans, en s'appuyant sur les enquêtes Eurobaromètre réalisées depuis une quinzaine d'années auprès des citoyens européens : il n'y a jamais eu dans l'Union européenne de majorité en faveur d'un développement des OGM alimentaires et, entre 1996 et 2010, la part des personnes réticentes à un tel développement s'est même accrue. Aujourd'hui, au-delà de ce constat global de l'affirmation, au fil du temps, d'une franche opposition des européens aux OGM alimentaires, des disparités existent entre pays européens, et les raisons susceptibles de justifier ces différences sont présentées.

L'article étudie ensuite la structure des opinions européennes dans ce domaine, selon le sexe, l'âge, la catégorie socioprofessionnelle des répondants, leur degré de socialisation à la science et leur niveau d'information : il souligne ainsi la plus grande réticence des femmes et, à l'inverse, une moindre aversion des jeunes, mais aussi une moindre réticence des classes aisées. Il note également l'importance du niveau de connaissance et de familiarisation à la science dans l'attitude à l'égard de l'alimentation génétiquement modifiée. Enfin, il compare les attitudes des européens à l'égard des OGM alimentaires avec celles relatives au clonage animal et aux nanotechnologies, montrant la grande spécificité des OGM, objets d'un rejet très net et vraisemblablement durable (à l'instar du clonage animal) qui a bloqué le développement de cette innovation technologique en Europe. Il souligne néanmoins que les attitudes à l'égard d'autres innovations (comme les nanotechnologies) ne présage en rien un échec semblable.

*(Reçu le 11 juin 2013)*

---

<sup>1</sup> Directeur de recherche en Sciences politiques, CEVIPOF, Paris.

## L'ACCEPTABILITE SOCIÉTALE DES INNOVATIONS AGROALIMENTAIRES DÉTERMINANTS ET VARIABILITÉ

par Jocelyn **Raude**<sup>1</sup> et Gervaise **Debucquet**<sup>2</sup>

Dans le domaine agroalimentaire, les questions sur l'acceptabilité des innovations technologiques et de la perception des risques sont très étroitement intriquées. Au début des années 80, les études psychométriques des risques perçus par les « profanes » ont permis d'identifier avec une grande stabilité un certain nombre de facteurs anxigènes universels comme le caractère inconnu, incontrôlable, différé et involontaire du risque (Slovic, 1987). Ces travaux ont permis d'anticiper avec une marge d'erreur raisonnable des réticences sociales dans l'adoption de certaines technologies, comme l'utilisation du génie génétique dans l'alimentation humaine, ou dans une moindre mesure l'ionisation, qui en donnent une bonne illustration. Néanmoins, l'observation de variabilités interindividuelles et interculturelles conduit à s'interroger sur d'autres formes de déterminismes sociaux que de récentes études consacrées aux techniques issues du génie génétique (et assimilées, comme la polyploïdisation) ou encore à l'ionisation tendent à mettre évidence.

En effet, l'acceptation des technologies innovantes semble triplement déterminée par la nature de la relation que le mangeur entretient avec son alimentation, par les représentations socioculturelles associées à la catégorie d'aliments potentiellement concernée et par les représentations associées à la technologie et à ses effets, réels ou supposés, sur l'aliment. C'est dans cet arrière-fond culturel et représentationnel que le mangeur est amené, plus ou moins consciemment, à penser, à évaluer, à apprécier les risques et les bénéfices associés aux technologies alimentaires. Loin de considérer le risque sous sa seule composante sanitaire et environnementale et les bénéfices à l'aune des "commodités" avancées par les industriels, cette seconde lecture permet de dépasser la seule perspective utilitariste.

À titre d'illustration, les promesses des techniques évoquées plus haut – notamment l'allongement de la durée de conservation (cas des fruits et légumes génétiquement modifiés, des fruits secs ou des céréales ionisés, etc.), l'amélioration des qualités nutritionnelles et organoleptiques (fruits et légumes génétiquement modifiés) ou encore de la disponibilité des aliments (huîtres triploïdes stériles donc jamais laiteuses) –, ont en commun de réactiver les univers de représentations associés à l'aliment naturel et à ses attributs (la saisonnalité, la singularité, la diversité, la cyclicité, la capacité infinie à reproduire du même, etc.). On comprend alors pourquoi cette « intrusion » dans le cycle du vivant résonne davantage avec l'idée de transgression, de standardisation ou encore d'artificialisation et de leur corollaire : la perte du « vrai » goût.

Ceci est particulièrement vrai pour les aliments classés dans la catégorie des produits "naturels" et habituellement consommés sous leur forme brute, les fruits et légumes génétiquement modifiés étant souvent perçus comme des aliments "contre-nature, apatrides, insipides" (Debucquet, 2011, Merdji et Debucquet, 2008), les huîtres triploïdes comme le début de la perte des "crus d'huîtres" (Debucquet et Merdji, 2008), les fruits secs ionisés comme des aliments "sans vie" (Hausser, Desmonts, Bruyère, Bauer et Woehl, 1996). Ces technologies ont donc plus de mal à être "naturalisées" chez tous ceux qui entretiennent à travers l'aliment naturel un lien fort avec la nature mais aussi le terroir et les savoir-faire qui y sont associés. Chez les autres, pour lesquels ces liens culturels et culinaires se sont quelque peu distendus du fait des habitudes de vie et de consommation, on observe une propension plus forte à s'approprier ces nouvelles technologies alimentaires, placées sous le signe du progrès et de la modernité car offrant de nouvelles fonctionnalités comme la facilité d'emploi des aliments, la disponibilité, l'amélioration des qualités nutritionnelles et organoleptiques (fruits plus riches en vitamine C, huîtres non laiteuses, agrumes sans pépin).

---

<sup>1</sup> Maître de conférences à l'École des Hautes études en santé publique, Rennes.

<sup>2</sup> Enseignant-chercheur à Audencia, Nantes.

En conclusion, la question de l'acceptabilité des nouvelles technologies alimentaires ne saurait se limiter à la seule problématique de diffusion d'informations sur les risques et bénéfices potentiels. Même si l'apport de connaissances permet de rassurer les consommateurs (dans le cas de l'ionisation et des techniques de polyploïdisation mais à un degré moindre pour les OGM), on ne peut faire l'économie d'une réflexion intégrant, en amont, la complexité du rapport que le mangeur entretient avec son alimentation et qui fonde les cultures alimentaires. Ceci permettrait d'éviter des rejets caractéristiques d'innovations en raison du principe même de certaines technologies.

*(Reçu le 11 juin 2013)*

## **ACCEPTABILITÉ SOCIÉTALE DES INNOVATIONS DANS LA FILIÈRE ALIMENTAIRE**

### **CONCLUSIONS**

par **Guy Paillotin**<sup>1</sup>

Je remercie les intervenants et les organisateurs de cette séance pour la qualité remarquable de leur travail. J'ajoute que l'innovation dans l'industrie alimentaire, le vrai sujet de cette réunion, est pour nous un thème nouveau tant nous restons mentalement fixés à la seule innovation agricole, comme en témoigne la longue parenthèse que nos débats ont accordé, un peu indûment, à l'éternelle question des organismes génétiquement modifiés (OGM). Or l'innovation dans la filière alimentaire présente des aspects très originaux qui ont été fort bien relevés aujourd'hui et que je vais reprendre dans mes conclusions en y ajoutant quelques remarques de mon cru.

i) En 1987, René Sautier, premier Président directeur général de SANOFI a rédigé, à la demande de Jacques Chirac alors Premier ministre, un rapport, le quatrième du genre, sur l'avenir des biotechnologies. Il fit à cette occasion une remarque de grand bon sens que j'ai faite mienne dans plusieurs articles. Il affirmait que la diffusion des biotechnologies dans l'industrie alimentaire se ferait assez lentement car cette industrie était déjà en place. Rien à voir par conséquent avec la téléphonie mobile pour citer un exemple éclairant dont il ne disposait pas à l'époque. René Sautier évoquait surtout l'existence de procédés bien maîtrisés qui résisteraient, ne serait-ce que pour des questions d'investissement, à la pénétration des biotechnologies, mais dans le fil de sa réflexion, on peut ajouter la multiplicité même des acteurs qui interviennent entre les agriculteurs et les consommateurs. Ce système complexe, très maillé, ne se prête pas à des innovations de rupture même si bien des gens continuent à en imaginer. Par ailleurs on observe de nombreuses synergies entre les acteurs pour favoriser le développement des innovations, mais il existe aussi des formes très particulières de compétition. Ainsi pour parler des OGM, puisqu'on ne s'en lasse pas, leur apparition en masse sur le marché, en 1996, a donné lieu à des réactions bien différenciées allant d'une relative hostilité de la part des petites et moyennes entreprises qui ne maîtrisaient pas la technique, ou d'un certain attentisme des grands groupes alimentaires qui n'étaient pas à l'origine de cet afflux d'OGM, jusqu'à une stratégie offensive de certaines grandes enseignes de la distribution qui se faisaient fort de créer des filières non-OGM, lesquelles auraient constitué de redoutables alternatives aux politiques de marque des industriels.

---

<sup>1</sup> Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie d'Agriculture de France.  
**C.R.Acad. Agric. Fr., 2013, 99, n°2. Séance du 19 juin.**

ii) Nous sommes aujourd'hui et cela a été souligné devant une abondance de l'offre qui fait du consommateur le véritable arbitre économique de la filière. On peut le regretter mais cela ne changera rien à l'affaire. Un jour alors que Marie-Josée Nicoli, la regrettée et célèbre Présidente d'UFC, m'affirmait que les consommateurs n'avaient pas la parole, je lui ai répondu que la main invisible du marché était tonitruante, ce qui reste une métaphore un peu audacieuse. Pourquoi avons-nous du mal à accepter cette réalité ? J'ai eu l'occasion de le dire ici, c'est parce que nous avons été conditionnés par une époque où les rapports de production étaient censés régir tous les rapports sociaux, eh bien c'est aujourd'hui dépassé ! Dans ce contexte je veux insister sur un point : nous constatons que les consommateurs s'intéressent de plus en plus aux modes de fabrication des produits qu'ils consomment et par son ampleur, cette tendance constitue un phénomène nouveau qui va bien au-delà de l'agriculture biologique. En 1996, plusieurs groupes alimentaires étaient très inquiets de voir la question des OGM déboucher sur des questionnements sur d'autres procédés industriels. Je crois qu'ils en ont pris leur parti aujourd'hui, même s'il reste bien des choses à faire, par exemple en matière de traçabilité. Cette même question se retrouve dans les discussions de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) sur l'étiquetage. Les Etats-Unis, notamment, sont pour la libre circulation des marchandises mais contre toute démarche d'information du consommateur sur la façon qui a été utilisée pour fabriquer les produits. C'est là une question centrale pour l'industrie alimentaire.

iii) Plusieurs intervenants, suivant en cela le Professeur Jean-Pierre Williot ont insisté sur le poids de l'histoire et je les approuve totalement. On ne peut pas comparer l'acceptation des technologies telles qu'elles sont apparues après guerre dans une période d'urbanisation massive de notre société et ce que nous connaissons aujourd'hui. Au moment de la première guerre du Golfe, des économistes du ministère de l'Économie ont observé l'apparition d'une baisse de la consommation qui n'était pas corrélée à une baisse de pouvoir d'achat, mais à une sorte de passivité anxieuse sans doute provoquée, mais c'est moi qui avance cette hypothèse, par les nombreux bouleversements qu'a entraîné la chute du mur de Berlin. Et puis on a vu la consommation reprendre et se différencier en termes de qualité à partir de 1992 et c'est dans cette période de renouveau que sont apparus les OGM à contre-temps et sans être étiquetés ! Que d'erreurs faites qu'il est aujourd'hui bien difficile de corriger !

iv) Enfin et cela a été souligné par Gervaise Debucquet, la technologie est toujours associée, comme son nom l'indique, à une forme de discours. Dans une note académique, j'ai déjà indiqué qu'il était normal, voire souhaitable, que les scientifiques imaginent un monde nouveau conçu comme le fruit de leurs travaux, mais cela a une contrepartie : chacun est à même de juger l'attractivité de ce futur alors qu'il est plus difficile de saisir le contenu des nouvelles technologies et c'est là que les choses se compliquent. L'exemple le plus caricatural est donné par le paradis des transhumanistes qui a un défaut rédhibitoire, celui d'exclure toute forme de plaisir.

Remettons donc le plaisir à l'ordre du jour de nos propos si nous souhaitons être davantage entendus.

## NOTE DE RECHERCHE

### NOURRIR LE MONDE EN 2050 ?

par André Neveu<sup>1</sup>

#### Introduction

**Tout le monde le constate et s'en réjouit : la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle a constitué une période particulièrement faste pour l'agriculture mondiale avec un développement très rapide et presque sans à-coup de la production. Mais pour satisfaire l'ensemble des besoins futurs, il serait nécessaire que ce développement se poursuive à un rythme quasi identique au cours des prochaines décennies. Est-ce possible ? C'est ce que nous allons essayer d'élucider. Auparavant rappelons-nous que l'histoire nous apprend que les périodes favorables à l'agriculture sont souvent suivies de crises sévères. Sans remonter aux temps bibliques, il est peut-être instructif de comparer la situation de l'agriculture au Moyen-Âge à celle de la période contemporaine. Voilà certes un pari bien hasardeux mais qui n'est pas sans intérêt. Nous allons donc le tenter.**

Au cours du « beau Moyen-Âge », c'est-à-dire du 12<sup>e</sup> au 13<sup>e</sup> siècle et jusqu'au tout début du 14<sup>ème</sup>, l'Europe occidentale a connu une situation économique prospère grâce à une production agricole en forte hausse. Sans doute rendu possible par des conditions climatiques plutôt satisfaisantes, ce réel développement agricole a permis une expansion démographique qui a débuté dès la fin du 10<sup>ème</sup> siècle. Mais d'autres facteurs ont également joué un rôle déterminant. Ce sont notamment :

- l'augmentation de la superficie cultivée à partir du 11<sup>e</sup> siècle, avec la remise en culture des terres vacantes et le défrichement des forêts pour y implanter de nouveaux villages et de grandes abbayes ;
- la lente amélioration de l'outillage agricole avec le remplacement des outils en bois par des outils en métal, l'emploi de charrues avec versoir et d'attelages plus efficaces, la multiplication des moulins à eau ;
- les progrès dans les pratiques agronomiques, avec de petits équipements d'irrigation et surtout l'introduction de l'assolement triennal (au moins dans le Nord de l'Europe car le Sud était resté attaché à l'assolement biennal et à l'araire).

Dans ces conditions, les superficies cultivées s'accroissent et la productivité du travail augmente, ce qui permet non seulement de nourrir plus de monde mais également de dégager des surplus pour approvisionner les villes en plein développement. En revanche, il ne semble pas que les rendements par unité de surface aient sensiblement augmenté.

Mais dès 1314-1315, tout change et les malheurs se multiplient et s'éternisent : nombreux aléas climatiques, peste noire, insécurité dans les campagnes due aux conflits armés (Guerre de Cent ans en France au 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> siècle, guerres de religions au 16<sup>e</sup> siècle, guerre de Trente ans au 17<sup>e</sup> siècle en Allemagne...). La chute de la production agricole qui en est résultée s'est accompagnée de nombreuses famines, de baisses de la population, de l'abandon de certains villages et de la multiplication des friches.

C'est seulement à partir du 18<sup>e</sup> siècle que la situation s'améliore vraiment, amélioration qui se poursuit et s'accélère au cours des deux siècles suivants. De nouvelles terres sont mises en culture en Europe mais aussi dans les pays neufs d'Amérique, le matériel agricole est de plus en plus performant, les techniques agronomiques se modifient de plus en plus vite avec la suppression des jachères dans les assolements, le progrès génétique, l'utilisation d'engrais chimiques et l'apparition de produits phytosanitaires. Plus encore qu'au Moyen-Âge, la production agricole et la productivité du travail progressent de façon spectaculaire, permettant de nourrir une population mondiale toujours plus importante.

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, ancien adjoint au Directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la Caisse nationale de crédit agricole.

**Au-delà d'une certaine convergence des situations, la différence essentielle entre les deux époques tient donc à la plus grande rapidité d'introduction des changements et du progrès technique dans notre monde contemporain. En particulier, et alors qu'ils n'avaient guère progressé même dans les périodes les plus favorables du Moyen-Âge, les rendements des cultures croissent de manière spectaculaire depuis un demi-siècle avec tous les bénéfices pour mieux satisfaire les besoins alimentaires des populations.**

Au cours des prochaines décennies, il nous faut impérativement poursuivre ce développement rapide pour mieux nourrir une population dont la croissance continue bien qu'à un rythme moins rapide qu'au cours du siècle passé. Certes, le contexte est bien différent de celui de la fin du Moyen-Âge : il reste encore des terres disponibles dans le monde, la recherche agronomique poursuit activement ses travaux, les épidémies ont jusqu'ici toujours été conjurées et les conflits armés sont tout de même plus rares.

Deux aspects inquiétants sont cependant à surveiller attentivement : la dégradation des sols qui réduit les surfaces cultivées ou au moins leur fertilité, et les premières manifestations des changements climatiques qui semblent conduire à un certain plafonnement des rendements dans les pays développés alors que les techniques culturales ne sont pas en cause.

Si ces menaces s'avéraient réelles, il en résulterait une multitude de conséquences pour l'ensemble des consommateurs et plus particulièrement les populations les plus défavorisées, et elles sont nombreuses. Les conséquences seront encore accrues dans les pays qui sont de gros importateurs de produits alimentaires qui dépendent des marchés internationaux.

## **La production agricole pourra-t-elle satisfaire les besoins alimentaires du monde en 2050 ?**

L'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime que, pour satisfaire les besoins alimentaires, la production agricole doit augmenter de 60% d'ici 2050<sup>5</sup>. Malgré son inévitable imprécision, ce chiffre incontestablement fort élevé, repose sur trois éléments :

- l'augmentation de la population mondiale qui devrait passer de 7 milliards de personnes aujourd'hui à 9 milliards environ en 2050 ;
- le constat qu'il existe toujours près de 1 milliard de personnes qui souffrent encore de la faim, ce qui est scandaleux ;
- l'accroissement de la demande de viande provenant notamment des nouvelles classes moyennes qui se constituent dans les pays émergents.

Ajoutons que le chiffrage des besoins alimentaires ne prend pas en compte ceux résultant de l'accroissement de la production de biocarburants.

### **1. Peut-on réduire la demande potentielle ?**

Avant d'envisager un accroissement de la production, on peut d'abord s'interroger sur une éventuelle réduction de la demande. Dans ce domaine, plusieurs solutions viennent spontanément à l'esprit. Malheureusement, toutes s'avèrent très difficiles, sinon impossibles à mettre en œuvre.

#### **1.1. Est-il possible de freiner la croissance de la population mondiale ?**

Nous savons que les pays, les uns après les autres, passent par une transition démographique qui ramène le taux de fécondité des femmes aux environs de 2 ou 2,1 lequel assure le maintien de la population sans accroissement de celle-ci. Cette évolution va évidemment se poursuivre au cours des prochaines décennies. Les démographes ont intégré ces changements et estiment d'ailleurs que la population mondiale devrait atteindre un maximum entre 2050 et 2070 avec de 9 à 10 milliards d'habitants.

Peut-on imaginer accélérer ce phénomène ? Malheureusement, dans ce domaine, il est très difficile de modifier le cours « naturel » des choses. Il est vrai que la politique de l'enfant unique en

---

<sup>5</sup> Intervention de José Graziano da Silva, Directeur général de la FAO, à l'occasion de la présentation du rapport sur les perspectives agricoles pour la période 2012-2021 (Rome mai 2013). De même, la Wheat initiative, un consortium international créé par les pays du G20, estime également nécessaire que la production de blé augmente de 60 % d'ici 2050.

Chine constituait à l'époque où elle a été décidée, une décision politique majeure qui a été imposée à la population. Il est incontestable qu'elle a permis de freiner la croissance démographique dans ce pays. Mais les méthodes brutales voire inhumaines appliquées étaient possibles dans un contexte particulier qui n'est plus de mise aujourd'hui. D'ailleurs, le gouvernement chinois envisage d'assouplir de manière significative cette politique. De plus aucun autre pays ne l'a mise en œuvre et les tentatives de l'Inde dans ce domaine ont vite dû être abandonnées devant les protestations de la population.

Il apparaît donc très difficile de forcer la marche de l'histoire en recourant à des méthodes coercitives aux résultats au demeurant souvent incertains. Nous pensons donc qu'il n'y pas lieu d'espérer une réduction de la croissance de la population du globe au-delà de celle qui est prévue par les démographes et qui conduit à environ 9 milliards d'habitants en 2050<sup>2</sup>.

### **1.2. La réduction des pertes et gaspillages ouvre-t-elle plus de perspectives ?**

Ce n'est pas sûr. En effet les pertes sont importantes dans les pays en développement parce que les conditions de récolte et de stockage y sont défectueuses. On estime ces pertes entre 15 et 30% de la production. En théorie, on peut améliorer les choses et il serait évidemment souhaitable de le faire. Pour progresser dans ce domaine, il faut, dans chaque village, réaliser une multitude de petits investissements et convaincre les hommes et les femmes de changer leurs pratiques ancestrales de travail. Cela demande des efforts financiers et surtout humains considérables que la plupart des gouvernements ne peuvent ou ne veulent pas réaliser. Dans la pratique, seules les productions destinées à l'exportation font l'objet de mesures de protection contre les aléas climatiques et les prédateurs. En revanche, pour les cultures vivrières, il n'est pas raisonnable d'espérer un progrès significatif à court ou même à moyen terme.

Le gaspillage concerne plutôt les pays développés. Certes, les entreprises de transport et les grandes industries agroalimentaires l'ont réduit au minimum. Mais il n'en est pas de même de la grande distribution et des consommateurs. Dans les supermarchés, les dates de péremption des produits alimentaires sont strictement respectées. Il en résulte que les invendus sont détruits au plus tard le jour de cette péremption telle qu'elle est affichée sur le bordereau de vente. Dans les familles, c'est encore pire : de nombreux produits alimentaires sont achetés, stockés au réfrigérateur ou au congélateur et, n'étant pas toujours consommés dans les délais mentionnés, sont jetés sans autre forme de procès. Quant aux cantines scolaires, c'est un tiers de la nourriture qui passe chaque jour à la poubelle.

Là encore, toutes les recommandations n'ont jusqu'ici eu aucun effet. Il ne faut donc pas espérer qu'il en sera différemment dans les années futures.

### **1.3. La lutte contre le surpoids et l'obésité est mal partie**

Le surpoids et l'obésité augmentent considérablement les quantités de produits alimentaires consommés bien au-delà des besoins nécessaires. Aujourd'hui, la FAO estime que l'excès pondéral touche 1,4 milliards de personnes dans le monde, plutôt les pauvres dans les pays riches et les « riches » dans les pays pauvres. Et cette « maladie » prend chaque année plus d'ampleur. Son développement est tel que sa simple stabilisation constituerait déjà une avancée considérable que rien ne laisse pour l'instant espérer. Voilà donc encore une fausse bonne solution qui ne peut rien nous apporter en matière de réduction de la consommation alimentaire.

### **1.4. La croissance des superficies consacrées aux biocarburants peut être maîtrisée**

A ce jour, les biocarburants n'occupent qu'une superficie relativement limitée (30 millions d'hectares soit 2 % de la surface cultivée dans le monde). Leur impact sur les surfaces destinées aux produits alimentaires est donc pour l'instant très réduit. Mais si les projets en cours d'études ou prévus devaient tous se concrétiser, les prélèvements sur les surfaces cultivées commenceraient à poser de sérieux problèmes.

D'ailleurs ce serait peut-être une erreur industrielle puisque la mise au point de biocarburants de seconde génération sera sans doute bientôt au point. Or ils ne présenteront pas les mêmes inconvénients puisqu'ils utiliseront des produits d'origine cellulosique. Il faudra simplement éviter d'implanter massivement des cultures arbustives à rotation rapide sur de bonnes terres agricoles.

**Au total, inutile de se faire trop d'illusions : il n'est pas raisonnable d'espérer réduire de manière substantielle la croissance de la demande alimentaire au cours des prochaines décennies. C'est donc sur l'accroissement de la production qu'il faut compter pour nourrir correctement l'humanité en 2050.**

<sup>2</sup> Les dernières publications des Nations unies sont encore plus pessimistes : les démographes estiment maintenant qu'en 2050 la population mondiale s'élèvera à 9,55 milliards de personnes (dans leur scénario médian) et surtout que, contrairement aux estimations précédentes, elle devrait continuer de croître pour atteindre 10,85 milliards en 2100.

## 2. Les quatre grands facteurs de l'accroissement de la production agricole

Les produits alimentaires consommés dans le monde proviennent des cultures, de la production des pâturages enfin de la pêche ou de l'aquaculture. On n'évoquera que pour mémoire la chasse ou la cueillette dans les zones forestières<sup>3</sup>, l'élevage des insectes ou la production d'algues.

### Utilisation du territoire (superficies émergées) dans le monde

	1961	2009	2050
<b>Surfaces cultivées</b>	<b>1351</b>	<b>1533</b>	<b>1660 (prév.)</b>
<b>Pâturages</b>	3120	3356	3300 ( ? )
<b>forêts</b>	4374	4039	4000 ( ? )
<b>Autres</b>	4168	4043	4053 ( ? )
<b>TOTAL</b>	13013	13013	13013

**Unité : million d'hectares**

Ce tableau permet de constater l'importance des superficies consacrées aux pâturages (plus de deux fois les superficies cultivées). Il est donc logique de s'interroger sur l'accroissement de la production de lait et de viande qui pourrait être réalisé grâce à une amélioration de la productivité de ces espaces. Certains sont de qualité comme les prairies de l'Europe du Nord-Ouest ou celles de la Nouvelle Zélande. Malheureusement la grande majorité d'entre eux sont extrêmement peu productifs car situés dans des régions défavorisées (montagnes, steppes, voire déserts...). Ce sont généralement des espaces collectifs qu'il est très difficile d'améliorer et qui sont même souvent en voie de dégradation. Les seuls équipements réalisés sont des puits pour abreuver les troupeaux. Mais même ces investissements peuvent s'avérer contreproductifs. En effet, la densité du cheptel est très souvent excessive, ce qui conduit à un surpâturage, source de dégradation de la flore. Ainsi au Sahel, autour des puits, toute végétation a disparu ce qui oblige les animaux à faire de longs parcours pour se nourrir.

En conclusion, la production des pâturages devrait plutôt diminuer afin de reconstituer le couvert végétal. Il ne faut donc pas compter sur elle pour accroître la production agricole dans le monde, bien au contraire.

**Heureusement, il existe d'autres facteurs d'accroissement de la production qui peuvent jouer un rôle vraiment positif. Ils sont au nombre de quatre mais ont un poids très différents les uns des autres. Ce sont l'accroissement des superficies cultivées, les nouveaux équipements d'irrigation, le développement de l'aquaculture, l'amélioration des rendements.**

#### 2.1. Les superficies cultivées vont augmenter, mais sans doute lentement

Au cours des 50 dernières années, les superficies cultivées dans le monde ont effectivement augmenté, mais dans des proportions relativement modestes.

En effet, d'après la FAO, elles sont passées de 1367 millions d'hectares en 1961 à 1533 millions en 2009, soit une augmentation de 166 millions (+12,14 %). Le rythme d'accroissement est donc très faible (+0,25 % par an). Pour l'avenir, beaucoup d'organismes ou instituts d'études internationaux ont travaillé sur ce sujet. Ils ont réalisé différents scénarii avec des conclusions très différentes : ainsi l'IFPRI n'exclut pas une diminution des surfaces cultivées, la FAO ou l'ISV penchent plutôt pour une augmentation modérée (entre 70 et 140 millions d'hectares d'ici 2050). Enfin la plupart des scénarii de l'étude INRA-CIRAD concluent à la possibilité d'une forte augmentation des surfaces cultivées<sup>4</sup>.

Cette dernière hypothèse repose sur le fait qu'il existe encore de nombreuses terres non cultivées dans le monde (peut-être 1000 millions d'hectares). Ainsi dans le scénario central de leur modèle AGRIMONDE 1, repris également par Laurence Roudart, l'INRA et le CIRAD prévoient un accroissement des surfaces cultivées de 590 millions d'hectares d'ici 2050 (dont il est vrai 224 destinés aux biocarburants !).

<sup>3</sup> Cela n'enlève pas l'intérêt de l'agroforesterie qui assure, notamment dans les pays en développement, un complément alimentaire ou fourrager utile grâce à des plantations d'arbres au milieu ou en bordure des champs cultivés.

<sup>4</sup> Cf. publication du Centre d'études et de perspectives du ministère de l'Agriculture (n°28, juin 2011).

Dans d'autres scénarii de ces mêmes instituts, les superficies qui seraient mises en culture sont encore plus élevées : +970 millions d'hectares si on met en culture des terres « peu convenables » ou même +1875 millions d'hectares si on ajoute le défrichement d'un tiers des massifs forestiers. Toutes ces hypothèses « optimistes » reposent sur les faits suivants :

- il existe dans plusieurs grandes régions du monde (Amérique du Sud, Afrique subsaharienne, Sibérie...), d'importantes disponibilités de terres avec des caractéristiques pédo-climatiques acceptables et parfois excellentes ;
- les machines modernes sont capables de défricher sans difficultés particulières ces terres, y compris en s'attaquant aux forêts équatoriales ;
- l'inévitable pression démographique (qui aura comme conséquence une hausse des prix agricoles au cours des prochaines années) incitera les agriculteurs individuels mais aussi les investisseurs collectifs publics ou privés à multiplier les défrichements nouveaux aux dépens des terres incultes, des pâturages ou des forêts. Les achats ou locations de terres observées ces dernières années militent dans ce sens. Ainsi entre 2000 et 2010, 71 millions d'hectares (dont 80% destinés à la production agricole) ont été achetés ou loués par des étrangers dans le monde en vue de les mettre en culture. Sur ce total, l'Afrique compte pour près de la moitié.

On peut cependant s'étonner que les différents scénarii d'accroissement des superficies cultivées ne fassent jamais allusion aux terres abandonnées en raison de l'érosion, de la désertification, de l'excès de sel ou du relief. Enfin il ne faut pas oublier les prélèvements résultant de l'urbanisation.

Ainsi c'est le solde final qui importe tel qu'il résulte, de l'opération suivante vraisemblable **pour la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle** :

Nouvelles surfaces mises en culture <b>annuellement</b> :	+ 12 millions d'hectares
Moins surfaces abandonnées :	- 6 millions d'hectares
Prélèvements de l'urbanisation :	- 2,5 millions d'hectares
Solde positif annuel :	+ 3,5 millions d'hectares

Au total, sur 48 ans (c'est-à-dire de 1961 à 2009) on obtient une augmentation de la superficie cultivée de 3,5 millions d'ha x 48 années = 168 millions d'hectares, donc pratiquement exactement celle observée par la FAO au cours de cette période (166 millions d'hectares).

**Qu'en sera-t-il pour la période 2009-2050 ? Nous avons retenu l'hypothèse centrale d'un accroissement modéré des superficies cultivées dans le prolongement de celui observé au cours du demi-siècle précédent. Il en résulterait une augmentation d'environ 130 millions d'hectares conduisant en 2050 à 1660 millions d'hectares cultivés soit une augmentation de 8,5 %. Ce n'est pas négligeable mais bien loin des 60 % nécessaires.**

Toutefois on ne peut exclure *a priori* les hypothèses plus « expansionnistes » (par exemple avec +590 millions d'hectares, celle avancée par AGRIMONDE 1). En effet des changements significatifs sont déjà amorcés avec d'importantes mises en culture au Brésil et en Argentine, 1 million d'hectares de forêt défrichées au cours de ces 10 dernières années en Indonésie et en Malaisie, de multiples accaparements de terres par des investisseurs étrangers en Afrique... Mais il faut aussi prendre en considération les calculs des agronomes qui s'inquiètent de la dégradation de nombreuses terres par salinisation, désertification ou mauvaises techniques agricoles... Ainsi dans son livre « Sauvons l'agriculture »<sup>5</sup>, Daniel Nahon avance le chiffre de 8 à 16 millions d'hectares anéantis chaque année, soit en 40 ans, 320 à 640 millions d'hectares qui auraient disparu d'ici 2050. S'il en était ainsi, l'accroissement de superficie cultivée serait très fortement réduit, voire aurait disparu.

Il apparaît donc qu'il est bien difficile d'avoir des certitudes sur l'évolution des surfaces cultivées. Car les hypothèses retenues conduisent soit à un accroissement plus ou moins important, une stagnation, voire une régression. Faute de certitude, nous en resterons à notre hypothèse de 130 millions d'hectares cultivés supplémentaires en 2050.

**Quelle que soit l'hypothèse qui sera vérifiée, l'accroissement net des superficies cultivées ne devrait jouer qu'un rôle relativement mineur dans l'accroissement nécessaire de la production agricole au cours des prochaines décennies (+8,5 % alors que la FAO estime nécessaire d'accroître cette production de 60 % d'ici 2050).**

<sup>5</sup> Sauvons l'agriculture, par Daniel Nahon (Odile Jacob, 2012)

## 2.2. L'apport trop modeste des investissements nouveaux dans l'irrigation

L'irrigation permet de cultiver la terre de manière beaucoup plus intensive qu'avec les cultures pluviales. C'est même, comme en Egypte, le seul moyen pour obtenir une production agricole dans un environnement particulièrement hostile. L'irrigation est parfois très ancienne mais son développement a pris beaucoup d'ampleur au cours des dernières décennies grâce à une politique de grands travaux dans de nombreux pays. On estime actuellement qu'un peu moins de 20% des terres cultivées sont irriguées mais qu'elles produisent environ 35% de la production agricole totale.

On peut supposer que cet effort d'investissements va se poursuivre au cours des prochaines années mais selon un rythme moindre. En effet, depuis le début des années 2000, l'accroissement annuel des surfaces irriguées a nettement diminué : nous ferons donc l'hypothèse que, d'ici 2050, les superficies irriguées continueront de croître, mais seulement à un rythme identique à celui observé ces dernières années.

### La place des terres irriguées dans le monde

	1962	1998	2009	2030 (prévisions)	2050 (hypothèse)
Terres arables utilisées	1351	1506	1533	1620	1660
<b>Terres irriguées</b> part dans le total dont,	<b>142</b> (10,5%)	<b>271</b> (18%)	<b>285</b> (est.) (18,6%)	<b>310</b> (19,1%)	<b>330</b> (19,9%)
Pays en développement	103	202	215 (est.)	235	250
Pays industriels et en transition	39	69	70 (est.)	75	80

Source : FAO (sauf année 2050)

Unité : million d'hectares

### La production possible sur les terres irriguées

En 2050, les terres irriguées pourraient donc couvrir 330 millions d'hectares, soit 20% de la surface cultivée totale prévisible. En valeur absolue, ce chiffre est certes en augmentation sensible par rapport à la situation présente, mais en valeur relative, la part des terres irriguées ne se modifie guère. Les 330 millions d'hectares irrigués pourraient cependant contribuer pour 40% à la production agricole mondiale, proportion un peu plus élevée que celle d'aujourd'hui (35%).

### Part des cultures pluviales et irriguées dans les superficies et la production agricole totale

	2009		2050	
	Surface (million d'ha)	Part dans la production	Surface (million d'ha)	Part dans la production
Total monde	1533	100%	1660	100%
Dont pluvial	1248	65%	1330	60%
irrigué	285	<b>35%</b>	330	<b>40%</b>

### Des équipements d'irrigation de plus en plus délicats à réaliser

Les équipements d'irrigation actuels sont parfois très anciens et utilisent donc des techniques simples mais éprouvées. Depuis un demi-siècle, de nombreux aménagements nouveaux ont été réalisés. Il s'agit alors soit d'une multitude de forages individuels ou collectifs comme en Inde ou aux Etats-Unis, soit de périmètres aménagés le long des fleuves et rivières en aval de petits ou de grands barrages (en Chine, au Pakistan, en Turquie aujourd'hui, demain en Ethiopie...).

La création de nouveaux forages est possible mais leur débit est limité et leur multiplication risque souvent d'abaisser le niveau de la nappe phréatique donc de les assécher plus ou moins rapidement. C'est le cas au Pendjab en Inde, en Chine du Nord ou en Arabie Saoudite. Dans ce dernier pays, il s'agit d'une nappe fossile maintenant à peu près épuisée, d'où une diminution de la production de blé des deux

tiers entre 2007 et 2010. A terme, le même problème se posera pour l'aquifère Ogallala des hautes plaines du centre des États-Unis qui est utilisé sans retenue ainsi que pour la nappe fossile du Sahara central que la Lybie prévoit d'exploiter massivement.

Il reste les barrages. Or dans beaucoup de pays, les nouveaux sites possibles sont peu nombreux. De plus, le coût de leur construction est très élevé, les équipements à réaliser en aval sont conséquents, la diffusion des techniques agronomiques nouvelles est longue et les aménagements des bassins versants pour éviter leur rapide envasement délicats et coûteux. Il faut aussi prendre en considération les conséquences des travaux sur l'environnement telles que le déplacement des villages noyés par la montée des eaux en amont des grands barrages, la pollution des nappes phréatiques ou la réduction des quantités de poissons en aval. Il est donc indispensable de réaliser des études préalables approfondies sur les coûts, les avantages et les inconvénients de la construction de chaque futur barrage.

L'accroissement des surfaces irriguées peut s'effectuer de différentes façons :

- par la mise en culture de nouvelles terres incultes ou quasi incultes (ex. bassins du Tigre et de l'Euphrate),
- par l'introduction de l'irrigation dans des zones déjà cultivées mais avec des rendements médiocres (ex. Sahel africain),
- par une irrigation de complément dans des zones à rendement déjà élevé (ex. Bassin parisien).

Il est évident que le gain de production résultant de l'irrigation sera très différent selon les cas de figure. Ainsi la mise en culture de nouvelles terres apporte un accroissement net de production très important alors qu'une simple irrigation de complément ne permet d'obtenir que quelques quintaux supplémentaires par hectare les années sèches et rien les années pluvieuses.

Mais l'apport de l'irrigation peut être encore accru si un gros effort est entrepris pour réduire les pertes d'eau et en optimiser l'utilisation par les plantes. En effet, près de la moitié de l'eau utilisée par l'agriculture (70% du total de l'eau consommée dans le monde) n'atteint pas les cultures en raison de l'absence de revêtement des parois des canaux d'irrigation, de fuites dans les canalisations ou de l'évaporation.

**En résumé, l'accroissement de la production agricole grâce au développement de l'irrigation sera significatif puisque selon nos hypothèses cet accroissement pourrait atteindre 8,5% de la production actuelle.**

### 2.3. La contribution non négligeable de l'aquaculture

La pêche et l'aquaculture ont connu un essor remarquable depuis plusieurs décennies et ont permis d'apporter une alimentation plus équilibrée à de nombreuses populations pauvres du monde. Mais la surpêche est maintenant devenue une réalité et d'ailleurs, depuis une dizaine d'années, les captures commencent à baisser. Cette baisse va se poursuivre car la dégradation des grands fonds marins causée par la pêche industrielle ne permet plus aux poissons de se reproduire correctement et de croître jusqu'à l'âge adulte. Certes, l'aquaculture a pris le relais notamment grâce à d'énormes investissements dans le Sud-Est asiatique. Ce développement ne va pas s'interrompre malgré les dégâts occasionnés sur les mangroves des rivages marins pourtant sources de vie pour les pêcheurs locaux. Il est donc à prévoir que l'aquaculture compensera et au-delà la réduction de la pêche.

## Évolution comparée des apports de la pêche et de l'aquaculture

SOURCE/ FAO

	2000	2011	2050 (prévisions)
Pêche	95,6	90,4	70 ( ?)
Aquaculture	35,5	63,6	130 ( ?)
TOTAL	131,1	154,0	200
Dont alimentation humaine			
%	74%	84,5%	85%
Tonnage	96,9	130,8	170

Unité : million de tonnes

La production de poissons et autres produits de la mer pourrait donc augmenter de 40 millions de tonnes entre 2011 et 2050. Ces 40 millions de tonnes se substituent par exemple à 40 millions de tonnes de poulets qui auraient dû être nourris avec des céréales et des tourteaux. C'est donc environ 100 millions de tonnes de grains qui seraient économisées, soit approximativement 3% de la production agricole mondiale, toutes productions confondues. Ce n'est pas rien, mais c'est peu au regard de l'ensemble des besoins.

**On peut donc estimer que l'aquaculture pourrait contribuer pour près de 3 % à l'accroissement de la production agricole mondiale en 2050.**

**Au total, les trois premiers facteurs contribueraient pour seulement un tiers (soit +20 %) au nécessaire accroissement de la production agricole. Il reste environs 40% qui devront être obtenus grâce à l'augmentation des rendements. Examinons donc si cet objectif peut être atteint au milieu du 21<sup>e</sup> siècle.**

#### **2.4. L'importance majeure de la poursuite de l'amélioration des rendements des cultures**

Après avoir, pendant des siècles, progressé très lentement, les rendements des principales cultures ont très fortement augmenté depuis un demi-siècle. C'est d'ailleurs grâce à ces augmentations que la plupart des famines ont été évitées, que l'on a pu nourrir une population totale qui a plus que doublé (3 milliards en 1960, 7 milliards en 2012) et qu'une fraction croissante de celle-ci dispose maintenant d'une alimentation plus riche et plus diversifiée. Il convient cependant de nuancer quelque peu ce constat fort optimiste :

- l'augmentation des rendements est particulièrement marquée dans deux groupes de pays. Tout d'abord dans les pays industriels qui ont déjà largement modernisé leur agriculture. Et d'autre part dans ceux des pays en développement qui ont réalisé la « révolution verte » comme l'Inde ou l'Indonésie à partir des années 1960-1970 (et un peu plus tard la Chine). En revanche, en Afrique par exemple, l'accroissement des rendements a été souvent faible et plus tardif. Enfin l'agriculture des pays de l'ex bloc soviétique a connu des baisses de rendement prolongées et la reprise s'accompagne souvent d'à-coups brutaux. Dans ces pays, il existe donc un potentiel d'accroissement futur incontestable, même si dans de nombreuses régions les conditions climatiques difficiles constituent un réel handicap ;
- le premier facteur d'augmentation des rendements est le progrès génétique. Or la recherche s'est principalement portée sur quelques grandes cultures comme le blé, le maïs, le riz, le soja ou le palmier à huile. Pour de nombreuses autres productions, les efforts de la recherche agronomique sont restés modestes voire insignifiants. C'est le cas du mil, du sorgho et de la plupart des tubercules (à l'exception de la pomme de terre). Il est évident que pour ces productions, d'importantes marges de progrès sont encore possibles. Mais même si on s'en donne les moyens, l'obtention de résultats significatifs demandera de nombreuses années auxquelles s'ajouteront les délais de mise en application sur le terrain.

Sur le long terme, on peut effectivement constater que les augmentations de rendement sont très différentes selon les productions ainsi que le montrent les tableaux suivants.

#### **Rendements moyens mondiaux (quintaux)**

	1961	2011	Progression en un demi-siècle
Blé	10,9	32,0	+194 %
Maïs	19,4	51,8	+167%
Soja	11,3	26,6	+135%

Encouragés par ces bons résultats, les agriculteurs ont augmenté les surfaces cultivées dans plusieurs de ces productions, notamment celle de maïs (170 millions d'hectares en 2011 contre 106 en 1961).

#### **Rendements moyens mondiaux (quintaux)**

	1961	2011	Progression en un demi-siècle
Sorgho	8,9	15,3	+72 %
Mil	5,9	8,7	+47 %
Ignames	72,0	116,0	+61 %

Le fort modeste accroissement des rendements de ces plantes depuis 1961 explique que les surfaces qui leur sont consacrées aient parfois diminué. C'est le cas du sorgho alors que, avec des rendements améliorés, cette céréale pourrait constituer un excellent substitut à la culture du maïs lorsque la pluviométrie est insuffisante et l'irrigation impossible. Pour le mil, plante par excellence des zones sahéliennes, les superficies qui lui sont consacrées diminuent même d'un tiers, passant de 43 millions d'hectares en 1961 à 32 en 2011.

**Examinons plus particulièrement les évolutions récentes des rendements de trois céréales (le blé, le maïs et le riz) qui ont fait l'objet d'un effort important de recherche agronomique et essayons de déterminer si cette augmentation des rendements semble pouvoir se poursuivre au cours des prochaines années.**

### **Évolution des rendements du blé**

Le rendement moyen mondial a beaucoup augmenté depuis un demi-siècle passant de 10,9 quintaux en 1961 à 25 quintaux en 1990 puis à 32 quintaux en 2011. Toutefois, le rythme d'augmentation a très sensiblement diminué depuis une vingtaine d'années (près de 3% d'augmentation annuelle entre 1961 et 1990 et à peine 1% depuis 1990). De plus les évolutions sont très différentes selon les pays. En analysant les résultats des 15 plus gros producteurs dans le monde, on est amené à distinguer trois cas de figure :

#### **1. les pays dont les rendements en blé continuent d'augmenter, quoique parfois un peu moins rapidement que par le passé.**

En Argentine et semble-il au Canada, la progression se poursuit sans problème. Aux Etats-Unis et en Inde l'augmentation continue également mais à un rythme un peu plus faible (depuis 25 ans aux Etats-Unis et depuis 10 ans en Inde). En Russie, on observe également une poursuite de l'augmentation des rendements mais avec beaucoup d'aléas climatiques qui entraînent des variations fortes d'une année à l'autre.

#### **2. les pays où ces rendements stagnent depuis quelques années.**

C'est le cas depuis 1996 (soit maintenant 15 ans) de la France, de l'Allemagne ou du Royaume-Uni, et semble-t-il, mais depuis 4 ans seulement, de la Chine. Ajoutons le Kazakhstan où, sans doute pour des raisons climatiques, les rendements, stagnent depuis 30 ans mais avec des écarts très marqués d'une année à l'autre.

Pour la France, et par rapport au *trend* antérieur à 1996, ce sont 14 quintaux par hectare qui ont été perdus entre 1996 et 2008. Les travaux d'André Gallais<sup>6</sup> ont montré que, si l'évolution des itinéraires techniques n'est pas négligeable, l'essentiel de cette moindre croissance des rendements résulte de l'augmentation de la température. Ainsi des changements climatiques mineurs ont une incidence réelle sur les rendements car ils concernent des périodes critiques dans la vie de la plante (baisse de la photosynthèse au moment du remplissage du grain, risque d'échaudage plus important). A noter que les cultures de printemps ne sont pas affectées car elles bénéficient d'une période culturale allongée.

#### **3. les pays dont les rendements ont plutôt tendance à baisser.**

Il s'agit de l'Australie qui subit des sécheresses, semble-t-il, de plus en plus fréquentes et de plus en plus marquées. On peut ajouter l'Ukraine, quoique pour ce pays il est difficile de faire la part entre d'éventuels changements climatiques et les conséquences des bouleversements politiques et économiques après son accession à l'indépendance en 1991.

### **Évolution des rendements de maïs**

Les rendements du maïs dans le monde croissent rapidement et régulièrement depuis 1961. Toutefois un léger fléchissement est à noter à partir des années 1980.

#### **1. Les pays où l'augmentation des rendements est rapide et régulière.**

Pour les États-Unis, de loin le principal producteur mondial, la croissance des rendements se poursuit sans à-coup depuis un demi-siècle. Ces dernières années, l'utilisation de variétés transgéniques résistantes à la pyrale associée à un faible impact des changements climatiques dans les régions productrices de maïs, ont

<sup>6</sup> Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France (séance du 5 mai 2010)

permis la poursuite de cette progression. Les rendements continuent également d'augmenter au Brésil, en Argentine (mais avec d'importants écarts selon les années), en l'Indonésie, au Mexique (sauf au cours des 4 dernières années) et en Inde malgré un fléchissement depuis 2 ans. En Ukraine, l'augmentation a été importante dans les années 2000, mais cette croissance peut simplement correspondre à une remise en marche de l'agriculture après la crise des années 1990.

## **2. Les pays qui connaissent un certain fléchissement de l'accroissement des rendements.**

C'est le cas de la France (mais aussi des autres pays du Sud de l'Europe) depuis une bonne dizaine d'années et plus récemment de la Chine. Pour la Russie et après le choc de la disparition de l'URSS, les rendements ont certes augmenté fortement mais restent très sensibles aux aléas climatiques.

Selon André Gallais<sup>7</sup>, en France et sur la base de l'évolution entre 1996 et 2011, la perte de croissance des rendements moyens est de 7 à 8 quintaux par hectare par rapport à la tendance des progrès réalisés entre 1960 et 1995. Cette moindre croissance est particulièrement marquée au sud de la Loire. Quelles sont les causes possibles de cette évolution ? On peut incriminer des modifications dans les itinéraires techniques (économie d'intrants, réduction des superficies irriguées dans le Sud Ouest...), le changement climatique (sécheresses fréquentes au sud de la Loire, coups de chaud à une période critique...), et peut-être un ralentissement du progrès génétique.

### **Évolution des rendements du riz**

Depuis 1961 et pour l'ensemble du monde, la croissance des rendements en riz est rapide et très régulière. La persistance du progrès technique et la pratique de l'irrigation qui met cette culture à l'abri de la plupart des aléas climatiques, expliquent cette régularité. Ce qui différencie les pays les uns des autres, tient à la période du décollage des rendements par rapport à la stagnation ou à la faible croissance antérieure : la fin des années 1970 pour la Chine, l'Inde et l'Indonésie, les années 1980 pour le VietNam, les États-Unis et le Brésil, les années 1990 pour le Bangladesh, enfin les années 2000 pour la Russie et l'Ukraine.

A noter qu'aux États-Unis, les rendements du riz stagnent depuis 5 ou 6 ans. La situation est encore plus critique en France où les rendements du riz ne progressent plus depuis une vingtaine d'années au point que l'avenir de cette culture est menacé. Enfin, beaucoup plus important, en Chine, la progression des rendements est devenue très faible depuis une douzaine d'années.

**La satisfaction des besoins alimentaires de l'humanité au milieu du 21<sup>e</sup> siècle dépendra donc largement de la poursuite à un rythme élevé de l'accroissement des rendements des cultures au cours de prochaines décennies. On a vu que, pour diverses raisons dont les changements climatiques, rien n'est moins sûr et que déjà une menace se profile depuis quelques années<sup>8</sup>. Si cette menace se confirme, que pourra-il se passer ?**

<sup>7</sup> Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France (séance du 30 mai 2012)

<sup>8</sup> Selon l'OCDE et la FAO (étude de juin 2013), la production agricole mondiale devrait s'accroître de 1,5 % en moyenne par an d'ici 2022 contre 2,1 % de 2003 à 2012. Cependant pour ces Organisations, les approvisionnements en matières premières agricoles devraient suivre le rythme de la demande mondiale. Mais des aléas climatiques associés à une insuffisance des stocks pourraient entraîner un accroissement de la volatilité des prix (avec des augmentations de 15 à 40 %) et donc des difficultés pour certains pays importateurs.

## **Deuxième partie**

### **Les multiples conséquences d'une production agricole insuffisante**

#### **1. Les effets mécaniques**

**Si malheureusement la production agricole se trouvait dans l'impossibilité de satisfaire la demande des consommateurs, il en résulterait tout un ensemble de conséquences de nature à bouleverser de nombreux équilibres sources de stabilité dans le monde.**

##### **1.1. Une forte augmentation des prix agricoles et alimentaires**

Une production agricole même seulement un peu insuffisante pour satisfaire la demande solvable, conduit inévitablement à une augmentation forte des prix de marché. C'est ce qui s'est passé pour les céréales et les oléagineux en 1974 ou en 2007-2008 et se poursuit depuis 2010<sup>1</sup>. L'insuffisance des stocks de report et la spéculation qui, ces dernières années, se développent sur les matières premières agricoles, accroissant évidemment ce phénomène.

Inversement, une récolte légèrement excédentaire entraîne une très forte baisse des prix comme ce fut le cas pour les céréales en 2009 ou le sucre en 2012.

Au-delà de ces variations accidentelles, on observe, depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle, une tendance générale à l'augmentation des prix des céréales et des oléo-protéagineux. Si la production peine à suivre la demande, cette évolution va se poursuivre. De plus, elle risque de se combiner avec un accroissement de la volatilité des prix agricoles qui aurait des conséquences extrêmement négatives à la fois pour les producteurs petits ou moyens et pour les consommateurs.

##### **1.2. Une augmentation générale du prix des terres cultivables**

Tout au long du 20<sup>e</sup> siècle, la baisse des prix agricoles a réduit les marges et laminé le montant des fermages. Mais depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle et surtout depuis 2006, la situation a déjà profondément changé. Et dans l'avenir, la poursuite de l'augmentation des prix des produits agricoles aurait aussi comme conséquence l'amplification de ce phénomène. Car, dans un certain nombre de pays, les prix des terres et des loyers sont très directement fonction des marges dégagées dans l'activité agricole. Une forte augmentation des prix permet un accroissement des marges des producteurs. Inversement, lorsque les prix baissent, le prix des terres et celui des loyers décroissent.

Ainsi, aux États-Unis, les prix des terres et ceux des fermages varient beaucoup et parfois d'une année sur l'autre, en fonction de la conjoncture dans le secteur agricole. En France, les mouvements sont plus amples avec notamment pour le prix de la terre un point bas en 1995, puis une reprise depuis cette date. Dans les pays émergents, les prix partent toujours de très bas puis croissent à mesure qu'une agriculture moderne se développe. La hausse des cours des matières premières agricoles depuis une quinzaine d'années confirme et amplifie cette avancée. Par exemple, au Brésil, depuis 1995, les prix des terres labourables ont connu une envolée importante, passant de 1200 réals en 1998 à 4800 en 2006<sup>2</sup>.

##### **1.3. Des rentes de situation pour les grands propriétaires et les gros producteurs**

Les principaux bénéficiaires d'une hausse des prix agricoles sont évidemment les gros producteurs mais aussi les propriétaires fonciers qui profiteraient d'une véritable rente de situation.

Les producteurs sont incités à investir dans des équipements nouveaux (parfois au-delà du raisonnable), à acquérir de nouvelles terres, voire à investir hors de l'agriculture. Les propriétaires fonciers s'appuieraient sur l'accroissement des marges pour exiger une augmentation des fermages ou des métayages et, en cas de vente de leur bien, bénéficieraient d'une plus-value substantielle. Ces profits, sans aucune

<sup>1</sup> Le même phénomène s'est produit au printemps 2013 pour la poudre de lait, après une sécheresse exceptionnelle en Nouvelle Zélande.

<sup>2</sup> Sergio Peirera Leite et Valdemar Wesz Junior « Les dynamiques foncières et l'expansion de l'agroindustrie du soja au Brésil », Cahiers Agriculture, vol 22, n°1, 2013.

charge supplémentaire, peuvent s'interpréter comme un transfert de revenus du secteur primaire vers le secteur tertiaire.

#### **1.4. La grande misère des consommateurs pauvres**

Lorsque les prix des produits agricoles flambent, les prix alimentaires suivent. Dans les pays industrialisés, cette augmentation est relativement modérée car les prix finaux intègrent de nombreux services qui ne sont pas soumis aux mêmes aléas. En revanche, dans les pays pauvres, les prix alimentaires sont beaucoup plus directement fonction de ceux des produits de base. Les consommateurs pauvres prennent donc de plein fouet les variations de prix de marché.

Les conséquences pour les pauvres sont d'autant plus fortes que l'essentiel de leurs maigres revenus (parfois jusqu'à 70%) est consacré aux achats de produits alimentaires et plus particulièrement de céréales.

#### **1.5. Une forte pression pour accroître le défrichement des forêts**

Si l'ensemble des besoins alimentaires ne sont pas satisfaits, la recherche de nouvelles terres à cultiver va s'amplifier. Cela signifie la mise en culture de terres encore incultes ou sous-exploitées par des populations peu ouvertes au progrès, le retournement de prairies lorsque les conditions pédoclimatiques le permettent et le défrichement de forêts jusqu'ici préservées.

Le risque de défrichement des forêts amazonienne, congolaise et indonésienne, déjà fort malmenées depuis un siècle, sera grand. Or ces forêts sont des réservoirs de biodiversité animale et végétale. Elles stockent beaucoup de CO<sub>2</sub>. Grâce à l'évapotranspiration de leur végétation très dense, elles assurent une pluviométrie plus élevée et plus régulière dans les zones tropicales avoisinantes. Enfin, les sols forestiers sont fragiles et se dégradent rapidement lorsqu'ils ne sont plus couverts par une végétation exubérante. Ils risquent donc de n'être fertiles que pendant peu d'années. Abandonnés, ils se couvrent alors d'une végétation arbustive dégradée sans aucun intérêt agronomique.

#### **1.6. La multiplication des très grandes exploitations agricoles capitalistes**

Les opportunités de profit dans l'agriculture étant destinées à augmenter considérablement au cours des prochaines années, l'intérêt des investisseurs pour le secteur agricole ne se démentira pas. Fonds d'investissements à la recherche de profits strictement financiers et pays déficitaires en produits agricoles mais disposant de fonds souverains richement dotés, poursuivront leurs recherches pour créer de très grandes exploitations agricoles. Ce phénomène qui est récent (la grande augmentation des prix agricoles a débuté il y a moins de 10 ans) mais de grande ampleur, va se poursuivre et s'amplifier<sup>3</sup>.

Les investisseurs ont largement profité et profitent encore du bas prix des terres (hier en Amérique du Sud, aujourd'hui en Afrique) ou des loyers (comme dans les pays de l'ex-URSS) et surtout de celui de la main d'œuvre. Mais ils ont besoin de grands espaces pour s'installer ainsi que de terres de bonne qualité et bien arrosées. Ils recherchent aussi les zones sous-exploitées par une population réduite et incapable de faire valoir ses droits ancestraux jamais formalisés. Le retournement des prairies pour les mettre en culture et même le défrichement des grandes forêts tropicales ne leur posent pas de problème technique. Autre solution adoptée : le regroupement d'exploitations déjà de bonne dimension économique ou la création d'élevages industriels.

L'objectif est de créer des structures juridiques de plusieurs dizaines de milliers, voire de plusieurs centaines de milliers d'hectares, ces structures étant constituées d'unités opérationnelles certes plus petites, mais néanmoins bien plus grandes que dans notre vieille Europe occidentale.

**Ces évolutions fortes et parfois dramatiques conduiraient nécessairement les gouvernements à réviser leurs politiques agricoles en atténuant les effets dévastateurs de certaines décisions passées. A un certain moment, il apparaîtra même inévitable de changer complètement les bases sur lesquelles reposent ces politiques agricoles depuis des décennies.**

<sup>3</sup> Cf André Neveu « Agriculture mondiale : un désastre annoncé », Éditions Autrement, 2012.

## 2. Des politiques agricoles profondément révisées

### 2.1. Un choix déterminant : firmes capitalistes ou petite agriculture paysanne ?

Avec la multiplication des tensions entre l'offre et la demande de produits alimentaires dans le monde au cours des prochaines années, la crainte de voir émerger une agriculture duale va se renforcer : d'une part vont se multiplier les très grandes exploitations capitalistes à la recherche du profit mais aussi revendiquant leur rôle dans l'accroissement de la production et la lutte contre les pénuries. A l'opposé, subsisteront les centaines de millions de micro exploitations assurant un revenu minimum et la subsistance à plus de deux milliards de ruraux, notamment dans les pays en développement. En revanche, les exploitations moyennes, créées sur le modèle européen né il y a plusieurs siècles, seront laminées car incapables de résister à la concurrence des grandes exploitations.

Que vont faire les différents gouvernements face à une lutte bien inégale ? A la lumière du présent, on peut imaginer des positions très différenciées :

- certains ont déjà annoncé la couleur : la très grande exploitation capitaliste est l'avenir de leur agriculture. Ainsi en Argentine où se multiplient les pools de semis. De même en Russie et en Ukraine où les entreprises capitalistes se sont installées sur les dépouilles des kolkhozes et des sovkhozes tandis que les propriétaires de lopins individuels survivent dans la plus grande pauvreté ;
- d'autres ont une position plus ambiguë, favorisant l'agroindustrie et l'agriculture capitaliste qui rapportent des devises, mais soutenant aussi quelque peu la petite paysannerie pour des raisons politiques. Le meilleur exemple est le Brésil qui confirme chaque jour un peu plus son engagement en faveur de l'agro-industrie et de l'ouverture des marchés, mais continue d'installer chaque année plusieurs dizaines de milliers de petits agriculteurs. De même, de nombreux pays africains prétendent soutenir leur petite paysannerie et dans le même temps accordent pour des montants modiques d'immenses espaces à des investisseurs étrangers. Dans les pays d'Europe centrale et orientale, une coexistence délicate et peut-être provisoire, s'est également instaurée entre les anciennes coopératives reconverties et un grand nombre de petites exploitations ;
- en revanche, le soutien à la petite paysannerie reste la doctrine officielle au Japon, en Norvège, en Suisse mais aussi en Arménie ou en Inde. Ce soutien se manifeste par un protectionnisme plus ou moins efficace, des subventions directes et une organisation des marchés intérieurs ;
- enfin de nombreux pays n'ont pas adopté de doctrine claire dans ce choix entre très grandes exploitations capitalistes et agriculture paysanne. Ce sont souvent des pays qui restent confiants dans la capacité de leurs moyennes exploitations bien modernisées pour résister à la concurrence des plus grandes. C'est le cas des États-Unis et du Canada dont les exploitations sont déjà de bonne dimension économique et bénéficient d'aides budgétaires substantielles. Le développement récent des élevages industriels laitiers montre cependant qu'ils ne sont pas à l'abri de changements rapides. On peut aussi citer les pays d'Europe occidentale dont les exploitations moyennes peuvent apparaître comme encore relativement protégées par la Politique agricole commune.

Il est évident qu'au fil des années, la position des différents pays peut se modifier. Néanmoins, les choix qui sont faits aujourd'hui engagent assez largement l'avenir. A mesure que le temps passera, il sera difficile (et coûteux) de revenir dessus, pour autant qu'on le souhaite.

### 2.2. La nécessaire régulation des marchés agricoles

Une forte augmentation des prix des produits alimentaires sera d'autant plus difficilement supportable par les consommateurs pauvres que ces prix fluctuent fortement. De même, la volatilité des cours sur les marchés internationaux n'encourage pas les agriculteurs à investir car ils ne peuvent faire des anticipations sérieuses sur leurs marges futures. Seuls les spéculateurs avertis (et chanceux) tirent profit de ces mouvements de prix. Mais ce faisant, ils les accentuent considérablement. Une telle situation deviendra vite insupportable. C'est pourquoi, la régulation des marchés agricoles, abandonnée depuis plus de 20 ans, s'imposera à nouveau.

Les systèmes de régulation mis en œuvre dans le passé sont certes nombreux et les mécanismes retenus très divers. Ils concernent parfois un produit particulier (le café ou le cacao par exemple), un groupe de pays (les pays européens, les pays à économie dirigée...), voire un seul pays (l'Inde par exemple).

Ils passent par la fixation des prix par les États, par des barrières douanières étanches, ou la constitution de stocks de report.

Mais l'efficacité des différents systèmes mis en place s'est avérée souvent médiocre en raison de leur coût, de la complexité de leur fonctionnement et trop souvent des détournements des fonds engagés. Beaucoup ont été abandonnés ou sont sur le point de l'être comme dans l'Union européenne.

Pourtant, les réflexions sur de nouveaux mécanismes commencent à redevenir d'actualité. Par exemple, on envisage de nouveau la création de stocks de réserves dédiés à l'équilibre offre-demande de produits agricoles, en supposant qu'ils n'auront pas d'action directe sur la spéculation et la régulation des prix<sup>4</sup>. Jusqu'ici, les grands pays exportateurs et les organisations internationales comme l'OMC s'opposent à ce mode d'intervention qui coûte cher et surtout est contraire à la loi de la libre fixation des prix sur les marchés. Mais il est vraisemblable que si les marchés agricoles deviennent erratiques, un changement de l'idéologie dominante et donc des pratiques s'imposera peu à peu.

### **2.3. Productions vivrières ou cultures d'exportation ?**

Depuis les années 1980, de nombreux pays en développement ont donné la priorité aux cultures d'exportation sources de devises fortes, quitte à importer de grandes quantités de produits alimentaires de base comme les céréales, l'huile ou le sucre. Une augmentation du prix de ces matières premières associée à une volatilité accrue sur les marchés internationaux devrait inciter les gouvernements à remettre en cause ce choix et donner à nouveau la priorité au développement des productions vivrières. Ces productions devront vraisemblablement être soutenues et les marchés intérieurs protégés contre les aléas internationaux.

Pour effectuer ce changement de politique agricole, les gouvernements concernés seront amenés à revendiquer « le droit à la souveraineté alimentaire ». Il faudra s'opposer à la pression des grands pays exportateurs soucieux de préserver leurs avantages commerciaux et convaincre les organisations internationales (FMI, Banque mondiale, OMC...) de renoncer, là encore, à considérer le libéralisme économique comme la seule voie pour assurer le développement économique dans le monde.

### **2.4 Des politiques foncières protégeant les petits agriculteurs**

Le développement de l'agriculture paysanne n'est possible que si la sécurité de l'accès à la terre est garantie aux familles de petits agriculteurs. Cette sécurité passe par leur maintien sur les terres qu'ils cultivent, souvent depuis des générations, associé à des coûts d'achat ou de location modérés. Or une production agricole insuffisante génère une envolée du prix du foncier et des loyers au moment même où il sera demandé aux petits agriculteurs un effort de modernisation et d'intensification.

Il sera donc nécessaire que les gouvernements interviennent vigoureusement pour que la charge financière que constitue l'accès au capital foncier reste modérée. C'est d'ailleurs une telle politique que la France a conduite après la Seconde Guerre mondiale avec la loi sur le fermage et le métayage, à une époque où il importait de relever l'économie française et la production agricole en particulier.

La protection des petits paysans peut aussi passer par un strict contrôle des agrandissements d'exploitations, l'interdiction des acquisitions de terres par les sociétés d'investissement, voire par des réformes foncières plus radicales mais toujours hasardeuses.

Dans tous les cas, il faut à la fois de l'imagination et beaucoup de volonté de la part des responsables politiques, surtout lorsque l'agriculture a été pour partie « colonisée » par des investisseurs étrangers qui ont bien l'intention de profiter des prix agricoles élevés pour accroître leurs profits.

### **2.5. Des aides à la consommation pour les populations les plus défavorisées**

Une forte augmentation du coût de l'alimentation aurait des effets désastreux pour les populations les plus déshéritées. Dans cette hypothèse, les gouvernements seront alors conduits à subventionner les produits alimentaires de base afin d'assurer le minimum vital à ces populations ou de procéder à des distributions de bons d'achats de produits alimentaires.

C'est d'ailleurs déjà ce qui se passe en Tunisie ou en Égypte par exemple. Dans ce dernier pays, par ailleurs premier importateur mondial de blé et un des plus gros consommateurs de pain, le gouvernement vend très bon marché de la farine à des boulangers sous licence.

---

<sup>4</sup> Cf. « Sécurité alimentaire : pour des stocks de réserve » par Bernard Valluis (FARM, avril 2013).

Ceux-ci peuvent ainsi produire quotidiennement 240 millions de galettes à un prix extrêmement bas (0,5 centime d'euro) destinées aux dizaines de millions d'égyptiens vivant sous le seuil de pauvreté.

Aux États-Unis même, un programme d'assistance nutritionnelle permet à plus de 46 millions de personnes de bénéficier gratuitement, par exemple, de produits laitiers, de fruits ou de légumes.

Ces différentes solutions présentent évidemment de nombreux inconvénients que leurs détracteurs ne manquent pas de dénoncer : coût extrêmement élevé pour le budget de l'État, difficulté de réserver ces produits aux ménages qui en ont réellement besoin, détournements aux différents stades du processus de la distribution, y compris à celui des ménages qui, comme en Égypte, revendent le pain rassis pour la nourriture des animaux.

Il reste qu'une forte hausse des prix des produits alimentaires conduirait inévitablement les gouvernements à multiplier ce genre d'initiatives dès lors qu'il existe une nombreuse population pauvre. La tranquillité sociale est à ce prix.

## Conclusion

Une production alimentaire insuffisante pour couvrir les besoins de l'humanité au cours des prochaines décennies est une éventualité que les gouvernements et les organisations internationales doivent envisager sérieusement. Car il est tout à fait possible que la croissance des rendements des cultures, de loin le principal facteur d'augmentation de la production agricole, s'avère insuffisante, notamment en raison des changements climatiques.

Si cette hypothèse s'avérait exacte, tout l'équilibre actuel du système agroalimentaire mondial, et au-delà celui d'un certain nombre de pays, serait remis en cause. Les profonds bouleversements qui en résulteraient risqueraient d'être extrêmement graves pour les populations les plus défavorisées, notamment dans les pays pauvres gros importateurs de produits alimentaires.

De telles situations conduiraient les gouvernements à prendre un certain nombre de dispositions afin de remédier aux effets les plus pénalisants pour les populations concernées. Des politiques agricoles profondément différentes devraient être adoptées. Cela suffirait-il à éviter des mouvements sociaux dévastateurs ou même des conflits armés, par exemple pour l'accès à la terre ou à l'eau d'irrigation ? Ce n'est pas certain.

Mais par rapport aux siècles passés, les gouvernements du 21<sup>e</sup> siècle ont un énorme privilège : ils sont capables de prévoir les dangers qui les menacent, d'envisager des solutions nouvelles, de prendre à temps les décisions qui s'imposent et de dégager les moyens financiers et humains nécessaires à leur mise en œuvre. C'est un avantage considérable sur nos ancêtres du Moyen-Âge.

## NOTE ACADÉMIQUE

### AGRICULTURAL SCIENCE AND THE ACADEMIES OF SCIENCE IN AUSTRALIA

by Graham Faichney<sup>6</sup>

#### Introduction

In Australia, there is no peak body for the agricultural sciences that is the exact equivalent of the French Academy of Agriculture. However, for the physical and biological (including medical and agricultural) sciences and their applications, the peak body to which a scientist may be elected is the Australian Academy of Science. For the applied sciences and engineering, the peak body is the Australian Academy of Technological Sciences and Engineering. The two Academies overlap to some degree in their coverage of the applied sciences and it is not unknown for a person to be elected to each Academy.

#### The Australian Academy of Science

The Academy of Science was founded in 1954 by Australian Fellows of the Royal Society of London. It was granted a Royal Charter which established it as an independent body but with government endorsement. The Academy's Constitution was modelled on that of the Royal Society of London. It receives government grants towards its activities but has no statutory obligation to government.

#### Objectives and Functions

The objectives of the Academy are to promote science through the recognition of outstanding contributions to science, improving education and public awareness, contributing to science policy debate and maintaining international relations. The Council, which is elected by the Fellows of the Academy, manages the business of the Academy to implement its objectives. The decisions of the Council are carried out by the secretariat in Canberra, supervised by the Executive Committee. The objectives of the Academy are met through a range of activities, not least of which is the contribution of scientific advice to government for the purposes of policy development through submissions to government ministers and parliamentary inquiries. In providing that advice, the Academy's Fellowship assists government not only to formulate evidence-based policy and inform decision-making, but also assists to inform domestic and international public debate. The President of the Academy is, by virtue of that position, a member of the Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council. The Council advises the Prime Minister on important scientific issues. The Academy has published many reports on public issues such as national research policy setting, stem cell research, human cloning, pesticides, ecological reserves, food quality, genetic engineering, space science and climate change.

---

<sup>6</sup> Overseas Member of the French Academy of Agriculture, formerly a Chief Research Scientist (CRS) in the former Division of Animal Production, CSIRO, Sydney, Australia.  
Membre étranger de l'Académie d'Agriculture de France, ancien Chercheur scientifique en chef (CRS) dans l'ancienne Division de la Production animale, CSIRO, Sydney, Australie.

## **Fellowship – election of Fellows**

The Fellowship of the Academy is made up of just under 450 of Australia's top scientists, distinguished in the physical and biological sciences and their applications. Each year twenty scientists, judged by their peers to have made an exceptional contribution to knowledge in their field, are elected to Fellowship of the Academy. Election is subject to a searching examination of the candidate's published works, including reference to leading scientific researchers around the world. This examination is undertaken by one of thirteen committees of Fellows called Sectional Committees. The Sectional Committees are arranged so that the Academy encompasses the many specialised fields of science within broad subject areas. Three of these Committees cover agriculture and its plant and animal sciences. Also, no more than two Fellows may be elected every three years on the basis of distinguished contributions to science by means other than personal research. A small number of distinguished foreign scientists with substantial connections to Australian science are elected as Corresponding members. The strict limitation imposed on the number of new Fellows elected each year is one of the instruments that assist in ensuring the scientific standing of Fellows. Upon election, a scientist is designated as a Fellow of the Academy and may use the post-nominal FAA.

## **Programs and activities**

Fellows contribute to the Academy in an honorary capacity by serving on Council, committees and as advisors. In addition to the Sectional Committees, the Academy maintains National Committees which are widely representative of its disciplines. The broad aims of these Committees are to foster a designated branch or theme of natural science in Australia and to serve as a link between Australian scientists and overseas scientists in the same field. Each Committee may have up to eight members including its chairman, who is a Fellow, and representatives of its corresponding scientific societies. The aims of the Committees are to liaise with the appropriate national and international bodies and societies, to propose and encourage scientific activities in Australia, to ensure the maximum participation by Australian scientists in relevant activities of the international body and to keep the international body informed at appropriate times of Australian opinions and plans. Their activities may include discipline reviews, forums, conferences and workshops and the preparation of submissions to government enquiries. They provide advice to Council and contribute to science policy issues.

The Academy has a program of international scientific and technological collaborations which aim to improve Australian access to science and technology and to increase awareness of Australian research. The program gives Australian researchers the opportunity to collaborate with foreign colleagues, to widen research perspectives and experience, to exchange ideas, to be recognised in the international arena, to gain information and knowledge of techniques that will stimulate and advance Australian research, and to be involved in large international projects. The Academy manages international programs with countries in Europe, North America, China, Japan, Korea and Taiwan.

The Academy produces an on-line education web-site for schools and has programs to support the teaching of science in Australia. It produces reference books, works on the history of science in Australia and a variety of reports and conference proceedings. The Academy shares editorial responsibility with CSIRO for the twelve Australian Journals of Scientific Research and each year awards a series of medals, lectures and prizes to early-career and career scientists.

## **The Australian Academy of Technological Sciences and Engineering**

Founded in 1976 as the Academy of Technological Sciences, it was renamed the Academy of Technological Sciences and Engineering in 1987.

## **Objectives and Functions**

The Academy was established to foster excellence in technological sciences and engineering to enhance Australia's competitiveness, economic and social well-being and environmental sustainability and to recognise and promote the achievements of Australian scientists, engineers and technologists.

It provides a national forum for discussion and debate of issues critical to Australia's future. It aims to selectively provide robust, independent and informed advice to government, industry and the community, to improve education in the technological sciences and engineering, to promote technological sciences and engineering linkages globally, to foster technology transfer and to champion excellence in technological sciences and engineering. It maintains a strong interest in major policy areas including Climate Change Impact, Water, Energy and Education. The Academy also has working groups discussing a number of key themes such as Health & Biotechnology and Information & Communication Technology. It also maintains links with a wide variety of international bodies and worldwide expertise in technological sciences and engineering through active international programs and exchanges.

### **Fellowship – election of Fellows**

The Academy is made up of some 800 members who are elected to Fellowship in recognition of their impact and excellence of achievement. Fellowship of the Academy is by peer nomination. Fellows annually nominate potential Fellows and, after a rigorous process, successful candidates are elected to Fellowship. Upon election, a Fellow may use the post-nominal FTSE.

### **Programs and Activities**

The Academy maintains international networks through exchange programs and workshops. Recent programs have involved Japan, China, Korea and India. Nationally, it has State Divisions whose committees manage the Academy's affairs in each State. The Academy seeks to contribute to regional, state and national debate and to this end it undertakes projects and organises forums in its priority areas. Currently, these are Climate Change Impact, Water, Energy and Education. These forums provide a platform for Fellows with similar and related interests to update their knowledge, assist in their professional development and to debate issues. They identify areas where the Academy should become involved, through initiating projects, preparing advice to governments or others, or raising awareness through symposia, publications, etc. This would require identifying the niche where the Academy would be seen as relevant, authoritative and being capable of mustering the required resources. They provide independent advice for the Academy, providing input in developing the scope and terms of reference for new projects, advice to project directors in the course of the work and comment on draft reports prior to publication. The forums assist in the preparation of submissions to inquiries and other forms of advice that the Academy is periodically requested to provide or chooses to prepare. The Academy presents each year the ATSE Clunies Ross Award for the application of science and technology for the economic, social or environmental benefit of Australia. This Award recognises the achievements of scientists, technologists and innovators across Australia.

### **Conclusion**

Australian scientists who achieve eminence in the agricultural sciences may be recognised by election to Fellowship of either Academy. In this field, the Australian Academy of Science tends towards the more basic disciplines and the Australian Academy of Technological Sciences and Engineering has its emphasis on the more applied and technical aspects of agricultural science.

Despite the importance of agriculture to Australia's culture and economy, it has not been an area of priority for the Federal and State governments. However, although relatively few of the Fellows of both Academies are agricultural scientists, both Academies are now focussing more attention on the key areas of climate change and its likely effects, land use, food security and water resources.

### **Acknowledgements**

*The information in this note was taken from the web sites of the Australian Academy of Science ([www.science.org.au](http://www.science.org.au)) and the Australian Academy of Technological Sciences and Engineering ([www.atse.org.au](http://www.atse.org.au)).*

## AN INTRODUCTION TO THE LARGE KANGAROOS OF AUSTRALIA

by Graham Faichney<sup>1</sup>

Kangaroos are herbivores belonging to the marsupial subfamily Macropodinae and range in size from about 3 to 80 kg. They are adapted to open forest, woodland and grassland habitats. The smaller species are nocturnal but the larger species are crepuscular. Two of the four species of well-known large kangaroos, the red kangaroo (*Macropus rufus*) and the euro (*M. robustus erubescens*) live in the arid and semi-arid regions of the country and two, the eastern grey kangaroo (*M. gigantea*) and the western grey kangaroo (*M. fuliginosus*) live in woodland and open forest areas of the east and south.

### Reproduction

It is the anatomy of the female reproductive tract which is the defining characteristic of marsupials, first recognized by de Blainville in 1816 (cited by Tyndale-Biscoe, 2005). In marsupials, the female has two vaginas and two uteri. The young are born very small after a short gestation, about 33 days in red kangaroos, passing through a median birth canal which is effectively a third vagina. Newborn kangaroos weigh less than 0.01% of maternal weight whereas newborn eutherian mammals weigh about 5% of maternal weight. Upon emergence from the mother's urogenital opening, the cloaca, the newborn makes its way to the mother's pouch where it attaches to a teat. Its life in the pouch is the equivalent of gestation in eutherian mammals. During the first third of pouch life, the joey (as the infant kangaroo is called) remains attached to the teat and develops its immune and nervous systems. The second third of pouch life, during which its physiological functions develop, begins when it relinquishes the teat and lasts until it begins to venture out of the pouch and nibbles grass. During the final third of its pouch life, the joey completes its physical growth to independence, taking milk from the same teat but eating more and more grass until it is too big to re-enter the pouch and is finally weaned, at about 235 days for red kangaroos. The composition of the milk the joey sucks from the teat changes during its development. While attached to the teat during the first phase, the milk secreted by the gland is a dilute fluid high in sugars and low in fat. By the time the joey is weaned, the milk is rich in proteins and fat but contains little sugar.

A feature of reproduction in kangaroos is embryonic diapause. The desert dwelling species, the red kangaroo and the euro, ovulate and mate shortly after parturition. The resulting embryo remains in diapause until the previous offspring leaves the pouch, at which time it resumes development and is born about 32 days later. The female mates again and the cycle is repeated so that, in good conditions, she may have a suckling at foot, an attached young in the pouch and a quiescent embryo in a uterus. If conditions deteriorate so that milk secretion stops and the joey dies, another will be born and enter the pouch, mating will occur and a new embryo will enter diapause. This enables these species to adopt an opportunistic breeding strategy that ensures that the female is always ready to start breeding unless conditions become so bad that she becomes anovulatory. By contrast, the eastern grey kangaroo and the western grey kangaroo are seasonal breeders and give birth in early summer. The eastern grey, whose range extends north into the dry tropics, may mate again in late lactation when conditions there are very favorable. The embryo then will remain dormant until its older sibling leaves the pouch. Thus it retains the capacity for diapause. However, the western grey, which is confined to the winter rainfall regions across southern Australia, does not ovulate during lactation and has lost the capacity for diapause.

### Nutrition

The body temperature of marsupials, including kangaroos, is about 2°C lower than that of eutherian mammals. Their basal metabolic rate (BMR) is also lower, being about 70% of the BMR of eutherians so that their maintenance requirements and voluntary feed intakes are lower. However, summit metabolism is similar in marsupials and eutherians so their lower BMR does not restrict their ability to cope with low

---

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

environmental temperatures. The low BMR is associated with a relatively low maintenance requirement for protein which is an advantage when available feed is low in protein. As in ruminants, kangaroos have evolved a forestomach fermentation system to manage the digestion of fibrous plant material. Its superficial resemblance to the rumen misled early observers to think of its functions in the same terms as for ruminants. In fact, the anatomy and function of the kangaroo stomach is more like the colon of monogastric animals such as the horse than the rumen of sheep and cattle. It has a small sacciform section and an enlarged tubiform section for fermentation which leads to the hind-stomach where acid and enzyme secretion occurs in a gastric pouch proximal to the pylorus.

In ruminants, food swallowed after initial mastication mixes in the rumen with residues from previous meals. Thereafter, residues are regurgitated, remasticated and swallowed in a co-ordinated process, rumination, which progressively reduces feed particles to less than a critical size for passage from the rumen. In kangaroos, food is masticated more thoroughly than in ruminants and there is no critical size for the passage of particles to the small intestine. Food entering the stomach is not mixed throughout the contents, particles from separate meals tending to remain separate as mixing is radial rather than axial. Although regurgitation, called merycism, does occur occasionally, it is not a co-ordinated activity like rumination and is not needed for particle comminution. Its role in digestion is not known but it has been suggested that it may aid digestion by stimulating saliva flow and buffering the acids produced by fermentation in the forestomach. In ruminants, reducing equivalents released during the fermentation of feed are converted to methane by methanogenic archaea in the rumen and methane emissions may account for more than 8% of the gross energy intake of sheep and cattle. However, kangaroos emit very little methane, usually not more than 1-2% of their gross energy intake. The passage of particulate matter through their tubiform stomach is relatively more rapid than through the rumen and may prevent the maintenance of an effective population of methanogenic archaea there. The most likely pathway for the removal of reducing equivalents is through reductive acetogenesis. The more rapid rate of passage of particles means that, unlike sheep, kangaroos can maintain their food intake as its fibre content increases. Although digestibility decreases, they are better able to survive on poor quality diets than sheep. Kangaroos share with ruminants the ability to utilize non-protein nitrogen compounds in the diet and in urea recycled from the blood by their incorporation in microbial cells during fermentation in the forestomach. This process enables them to conserve nitrogen when dietary sources are limited and also water as less is needed for urea excretion.

### **Locomotion**

In the field, kangaroos are notable for their large hind legs and their bipedal hopping gait. Their movement is less efficient energetically than the quadrupedal gait of other mammals at low speeds when kangaroos use their tail as a fifth leg while bringing their large hind legs forward while walking. However, when speed of movement is greater than 10 km/h, hopping is more efficient as its energy cost remains constant from 10 to 30 km/h while, for quadrupeds, the energy cost of running increases progressively as speed increases. Kangaroos achieve this efficiency by recovering the energy stored in the tendons of the hind legs which are stretched as the legs bend at the end of each stride, more energy being stored at each stride as speed increases. Kangaroos cannot walk backwards and always move their hind legs together when walking or hopping but appear to kick their hind legs independently when swimming.

### **Population and distribution**

The population of large kangaroos is estimated annually by aerial survey and varies widely with seasonal conditions. Nationwide, values from 35-50 million have been reported in recent years. Plant growth is a function of rainfall and, in the arid regions, its unpredictability means that the amount of feed available is variable to which conditions the red kangaroo and euro are well adapted. Modifications brought about since European settlement began in 1788 by the provision of watering points, land clearing and pasture improvement for sheep and cattle husbandry in all regions have resulted in increases in kangaroo populations well beyond the numbers pre-settlement. The red kangaroo is distributed throughout the better watered plains of the arid zone across the continent. The distribution of the euro includes the areas occupied by the red kangaroo but it lives in the hills and ranges rather than on the plains. Its range also extends into the tropics and a sub-species of the euro, the eastern wallaroo (*M. robustus robustus*), extends its distribution to the east coast. The grey kangaroos are found in the eastern and southern parts of Australia where rainfall is

seasonal and predictable. The eastern grey kangaroo lives in Queensland, New South Wales, Victoria and Tasmania. The western grey kangaroo, the least numerous of the four species, occurs only where there is winter rainfall. It does not occur in eastern Victoria or Tasmania but is found from western Victoria and western New South Wales through South Australia to Western Australia. The ranges of the four species overlap in western New South Wales.

### **Competition with livestock and population management**

As kangaroos are found in association with domestic livestock, there is a perception that they compete for the available feed. Their food selection differs from that of cattle but is quite similar to that of sheep. Studies have shown that direct competition between kangaroos and sheep is insignificant when the available biomass exceeds 200 kg of dry matter per hectare but the perception of competition remains. Such low levels of available biomass can occur in the dry pastoral regions due to their low and variable rainfall and both kangaroos and sheep suffer. As well as apparently competing for feed, kangaroos can damage fencing and crops in their early growth stages in the higher rainfall regions, reinforcing the perception that kangaroos are agricultural pests. Community concern for native animals has increased in recent decades to challenge this perception leading to continuing discussions on what measures if any should be implemented for kangaroo management. Such measures could be aimed at total protection, mitigation of damage or harvesting as a renewable resource. Total protection is impractical in view of the widely held perceptions of kangaroos as pests and would probably be unenforceable. Damage mitigation would require estimates of likely future damage which would be impossible in the pastoral zones given the unpredictability of rainfall. Attempts to reduce local impacts would not have a lasting impact because of the mobility of kangaroos but harvesting for population control is now managed on a broad scale by several State governments. Kangaroos have been hunted for fifty thousand years and are a traditional part of the diet of indigenous Australians. The sale of kangaroo meat for human consumption was illegal in Australia for many years but was legalized in South Australia in 1980 and in all other States in 1993. Kangaroo meat is sold as a game meat. It has a strong flavour, is low in fat and has a high concentration of conjugated linoleic acid compared to other foods. The kangaroo industry is well established and has developed export as well as local markets. The meat has been exported since 1959 and some 70% of it is exported now, much of it to France and Germany. Although harvesting by licensed shooters is controlled so that not more than 10-15% of the population can be taken each year, the variation of kangaroo populations due to fluctuating seasonal conditions is such that continuity of supply cannot be guaranteed. It is important that the harvesting of kangaroos continues to be controlled to ensure that they remain as the iconic faunal symbol of Australia.

### ***Acknowledgements***

*Information for this note was drawn from works by Hume (1999) and Tyndale-Biscoe (2005). More details can be found in these works, for other marsupials as well as for kangaroos. Caughley, Shephard and Short (1987) report studies in western New South Wales of kangaroos and sheep on the rangeland property, Tandau, compared to kangaroos on the contiguous sheep-free Kinchega National Park.*

### **References**

- (1) CAUGHLEY, G., SHEPHERD, N, SHORT, J. 1987. – *Kangaroos: their ecology and management in the sheep rangelands of Australia*. Cambridge University Press, Cambridge.
- (2) HUME, I. D. 1999. – *Marsupial Nutrition*. Cambridge University Press, Cambridge.
- (3) TYNDALE-BISCOE, H. 2005. – *Life of Marsupials*. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.

## ANALYSES D'OUVRAGES

### RÉGULER LES PRIX AGRICOLES<sup>1</sup>

par Jacques Berthelot

Jean-Marc Boussard<sup>2</sup>. – La volatilité des prix des matières premières agricoles est proverbiale. Récemment, sa manifestation la plus violente aura été le pic de prix observé en 2008, qui a conduit de nombreux analystes à envisager des solutions « pour que cela ne se renouvelle pas ». Jacques Berthelot s'inscrit dans ce mouvement.

Il essaie d'abord d'expliquer la crise de 2008, à ses yeux due à l'augmentation de la consommation de « biocarburants », ainsi qu'à la spéculation liée à l'existence des « marchés dérivés », tout cela dans un monde dépourvu de stock depuis plusieurs années. Il déduit de ce diagnostic que les prix ne sont pas prêts de redescendre, ce qui nourrit la spéculation foncière à l'échelle mondiale qui se traduit elle-même par le « *land grabbing* », en particulier en Afrique. Il ne faudrait cependant pas confondre volatilité et hausse des prix moyens. Cette dernière est inévitable, compte tenu des intérêts en jeu. Mais chaque état souverain peut se protéger de la première, en isolant son marché par des droits de douane variables, qui constituent contre la volatilité une parade beaucoup plus efficace que les stocks publics, nationaux ou internationaux.

Il y a beaucoup de vrai et quelques incohérences dans ce raisonnement. Il est tout à fait vrai que des politiques de protection frontalières peuvent éviter les errances du marché international à un marché national. C'est même, à vrai dire, l'une des justifications les plus solides des protections aux frontières. Je n'ai jamais compris par quelle aberration les autorités internationales les ont toujours considérées comme intrinsèquement perverses, quand bien même ces mêmes autorités admettaient à la rigueur les protections *ad valorem* qui ne font que garantir des rentes. De fait, comme le remarque l'auteur, ces protections variables existent bien sans dire leur nom dans beaucoup de pays même « libéraux », et c'est très bien comme cela !

Mais il faut savoir pourquoi on veut protéger un marché intérieur, et c'est là que les raisonnements de l'auteur, sans être faux, manquent de profondeur. En fait, il ne dit rien des causes profondes de la volatilité des prix agricoles, et cela affaiblit son plaidoyer, car, évidemment, avant d'envisager de guérir une maladie, il faut en connaître les causes. Or s'il est certain que le faible niveau des stocks a été le déclencheur de la crise de 2008, tandis que les spéculateurs et la demande de biocarburants n'ont pas arrangé les choses, il y a beaucoup d'autres raisons pour qu'une telle flambée se soit produite à un moment ou à un autre, même en l'absence de ces adjuvants.

La plus importante est que tous les agriculteurs du monde, d'autant plus prudents qu'ils sont plus pauvres, sont néanmoins des spéculateurs forcés quand ils plantent sans connaître le prix de leur récolte. De ce fait, plus le risque est grand, moins ils sont tentés d'accroître leur production. C'est bien pour cela que la stabilisation des prix est si importante, permettant aux producteurs de faire le meilleur usage possible de leurs ressources. C'est aussi le plus sûr moyen de faire baisser les prix à long terme pour la satisfaction des consommateurs, comme le montre l'épisode extraordinaire de la période 1945-1990, (jamais vu dans l'histoire depuis qu'il y a des mercuriales), au cours de laquelle les prix moyens réels des produits de base ont été divisés par quatre en quarante ans, parce que les producteurs mondiaux, dans leur immense majorité, bénéficiaient de prix stables.

Il est donc regrettable que Jacques Berthelot n'ait pas essayé d'aborder ce problème. Il n'en demeure pas moins que ce livre fourmille de statistiques et d'informations sur les accords internationaux (son érudition en la matière est fantastique !) ou sur le rôle des lobbyistes de tout poil. C'est aussi ce qui rend ce livre à la fois précieux et de lecture agréable.

<sup>1</sup> Cet ouvrage est préfacé par Mamadou Cissokho, président honoraire du ROPPA (Réseau des organisations paysannes et des producteurs de l'Afrique de l'Ouest. Éditions L'Harmattan, 2013, 170 pages.

<sup>2</sup> Vice-Président de l'Académie d'Agriculture de France, directeur de recherche honoraire de l'INRA.

## **LES PLANTES ET LEURS NOMS HISTOIRES INSOLITES<sup>1</sup>**

par François **Couplan**

Charles Descoins<sup>2</sup>. – Cet ouvrage de 220 pages, abondamment illustré, écrit par un botaniste professionnel, s'adresse à des personnes qui possèdent déjà de bonnes connaissances de botanique et sont capables d'identifier une plante et de la nommer par son nom scientifique ou vernaculaire.

Mais si ces personnes font preuve de curiosité, elles peuvent se demander comment les premiers descripteurs ont élaboré les noms scientifiques des plantes et quels usages ou traditions populaires ont été à l'origine de leurs noms vernaculaires.

C'est à cette double interrogation que l'auteur essaie de répondre tout au long de l'ouvrage, examinant, tour à tour, en six chapitres, une sélection de plantes sauvages, les légumes et les fruits les plus courants, les épices, quelques plantes ornementales et « d'autres plantes » dont on ne voit pas pourquoi elles n'ont pas été intégrées à celles du premier chapitre.

On apprend ainsi que les noms de genre sont le plus souvent formés à partir de racines grecques et latines, quelquefois arabes, dont l'association évoque un caractère morphologique de la plante. Le nom d'espèce apporte des précisions sur la couleur des fleurs, la période de floraison, les usages et rappelle quelquefois le nom d'un botaniste auquel on a dédié cette plante.

Les noms vernaculaires, quant à eux, sont construits soit en francisant simplement le nom latin du genre, soit en ne retenant que le caractère le plus visible de la plante sans se soucier de son appartenance à telle ou telle famille botanique. Mais certains noms sont aussi construits à partir de légendes issues de la mythologie grecque ou latine plus ou moins déformées au cours du temps. Cela donne alors l'occasion, comme l'annonce l'auteur, de nous raconter des « histoires insolites ».

Contrairement à l'habitude qui consiste à présenter les plantes par familles botaniques, l'auteur a choisi l'ordre alphabétique, ce qui permet de retrouver rapidement la plante à laquelle on s'intéresse.

Malgré son caractère forcément répétitif, l'ouvrage se lit avec intérêt et l'auteur sait maintenir, au cours des pages, la curiosité du lecteur.

Une bibliographie bien choisie permet à ceux qui le souhaitent de compléter leurs connaissances sur le sujet et un index général, en fin d'ouvrage, en facilite encore la compilation.

Ouvrage à recommander à tous les curieux qui s'intéressent à l'étymologie sans pour autant être spécialistes de cette discipline.

---

<sup>1</sup> Éditions Quae, Collection Guide pratique, 2012, 224 pages.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

## LES RÉVOLUTIONS AGRICOLES EN PERSPECTIVES<sup>1</sup>

Ouvrage collectif dirigé par Henri **Regnault**, Xavier **Arnauld de Sartre**  
et Catherine **Regnault-Roger**<sup>2</sup>

Bernard Le Buanec<sup>3</sup>. – Ce livre, publié en 2012, fait suite au colloque « Regards croisés sur les révolutions agricoles » qui s'est tenu le 9 décembre 2011 dans le cadre d'une démarche transdisciplinaire réunissant trois laboratoires de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Après une introduction replaçant le débat général des révolutions agricoles il reprend les présentations de différents intervenants ainsi que la transcription du débat de clôture.

Ces textes ont des approches différentes. Certains se concentrent sur une ou plusieurs technologies (« Création et amélioration variétale- transgénèse et sécurité alimentaire » par Philippe Joudrier, « Protection des cultures et révolutions agricoles » par Catherine Regnault-Roger), d'autres ont une approche géographique et temporelle (« Les rendements agricoles décroissants : réalité historique ou affabulation des classiques anglais » par Henri Regnault et « Une révolution agricole incomplète ? Leçons d'Argentine » par Christophe Albaladejo et Xavier Arnauld de Sartre), d'autres ont une approche politique plus globale (« Troisième révolution agricole, politiques publiques et échanges internationaux » par Michel Petit, « Des prix agricoles élevés et volatils : la révolution agricole de demain » par Hervé Guyomard et « La pensée agronomique et l'agroécologie : une mise en tension des régimes de la recherche scientifique » par Bernard Hubert.

Chacun de ces articles peut se lire indépendamment. Mais c'est bien évidemment la lecture de l'ensemble, avec son approche transdisciplinaire qui fait tout l'intérêt de cet ouvrage qui vient à point nommé alors que se pose en France et dans le monde la question de la réorientation des systèmes agricoles vers une agriculture « écologiquement intensive » pour utiliser le concept développé par Michel Griffon.

Tout d'abord il apparaît clairement que, dans le domaine agricole, il vaut mieux parler d'évolution plutôt que de révolution si l'on donne à ce dernier terme la définition de changement brusque et important. Les évolutions existent, elles sont progressives et les innovations techniques viennent souvent accompagner et accélérer des changements en cours comme par exemple dans la Pampa argentine. Il ne faut pas penser pouvoir changer un système agricole de façon très rapide. De plus des systèmes différents peuvent coexister sur un même territoire sans créer de difficultés insurmontables. Certaines technologies sont bien acceptées dans un endroit et strictement refusées dans un autre.

Ceci est dû, et c'est à mon avis la grande leçon de ce livre, au fait que les « révolutions agricoles » sont complexes. Ce ne sont pas seulement des phénomènes techniques et agronomiques mais aussi des phénomènes économiques, juridiques et sociaux complexes, les deux dimensions formant systèmes. Leur intrication est elle que l'on ne sait plus très bien différencier ce qui est la cause ou le résultat de l'évolution.

Il est illusoire de penser qu'une amélioration technique simple transformera rapidement un système agricole. Il faut penser ce système dans sa globalité et faire preuve de patience. De plus, différents systèmes cohabiteront certainement dans tous les pays. Je recommande donc la lecture de ce livre enrichissant, en particulier à ceux qui ont à réfléchir aux défis auxquels l'agriculture mondiale doit aujourd'hui face pour nourrir une humanité en croissance et de plus en plus urbanisée, dans un monde agricole fini, tout en préservant la planète.

<sup>1</sup> Éditions France-Agricole, 2012, 180 pages.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

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

## DICTIONNAIRE ENCYCLOPÉDIQUE DE SCIENCE DU SOL<sup>1</sup>

par Clément **Mathieu** et Jean **Lozet**

Daniel Tessier<sup>2</sup>. – Le dictionnaire encyclopédique de Science du sol de C. Mathieu et J. Lozet est la cinquième édition revue et augmentée d'un ouvrage édité pour la première fois en 1986 qui compte aujourd'hui 733 pages et 5 000 entrées, ce qui en fait le dictionnaire de science du sol le plus complet en langue française. Au moment où chacun cherche à s'informer sur l'importance des milieux et en particulier des sols, tant pour la production agricole que pour des questions environnementales, cet ouvrage arrive à point pour informer tout citoyen soucieux d'avoir à sa disposition des définitions précises et validées sur les sols et leurs principales fonctions.

Un point important concerne la définition du sol quant à ses origines liées au long processus d'évolution et aux différentes étapes de sa formation. Comprendre le sol c'est aussi avoir des repères pour retracer son histoire et mieux connaître son degré d'évolution dans une perspective de prévision à moyen terme de ses caractéristiques et de ses propriétés. Il est en particulier nécessaire de disposer d'un vocabulaire précis qui intègre les nouveaux mots et concepts au fur et à mesure qu'ils se créent ou s'élaborent.

Ce dictionnaire est un ouvrage didactique qui devrait être mis à la disposition de tous les enseignants des collèges et lycées de France. Le « sol » fait partie du programme de sciences de la vie et de la terre des lycées. L'Éducation nationale a introduit le sol dans les programmes des classes de seconde, de première scientifique et de terminale scientifique des lycées. Dans ce dictionnaire le professeur pourra aisément trouver, à partir de mots clés, ce que le sol a de spécifique tant par ses caractéristiques que par son approche scientifique. Plutôt que d'effectuer de longues recherches dans de nombreux livres et publications, l'enseignant aura directement accès à des informations précises et validées ainsi qu'à des photos, schémas, figures et tableaux. Il découvrira dans ce dictionnaire un certain nombre de synthèses ou tableaux directement utilisables. Il pourra les utiliser pour faire comprendre par exemple les conditions de développement des plantes et par delà la production des aliments. *In fine*, cet ouvrage devrait aider l'enseignant à replacer le sol et la production végétale, comme il est prévu dans le programme, dans le contexte de nourrir la planète, mais aussi de faire passer des messages très généraux sur l'importance du sol, sur la qualité des eaux, sur la problématique du recyclage des déchets par le sol, ainsi que sur des aspects géographiques relatifs aux différents paysages et à leur aspect esthétique.

Les personnes en charge des forêts, des parcs naturels et du conseil aux agriculteurs pourront trouver dans cet ouvrage un cadre conceptuel, avec des informations sur la vie dans le sol, notamment la faune et le système racinaire des plantes, afin d'en percevoir la variété et l'importance. On peut citer en exemple l'identification et l'importance de filaments mycéliens des champignons permettant d'explorer le sol et d'améliorer le prélèvement des éléments indispensables à l'alimentation minérale des plantes, la présence de nodosités sur les racines des légumineuses afin d'illustrer la fixation symbiotique de l'azote ou encore les rôles des vers de terre (lombrics) sur la dégradation des matières organiques et dans la circulation de l'eau et des gaz.

Pour les étudiants en licence ou en master ayant dans leur programme le sol, ce dictionnaire devrait être un ouvrage de base pour la traduction en français et en anglais de mots et expressions avec une acception validée par des nombreux chercheurs et professionnels de la science du sol.

Les étudiants en géologie et en génie civil trouveront le vocabulaire et les concepts utilisés pour décrire la distribution des sols dans les paysages et pour caractériser l'organisation verticale du sol en horizons. Ils pourront obtenir des informations sur des disciplines connexes comme le lien entre la constitution du sol et ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, mais aussi trouver des aspects spécifiques qui devraient les aider à mieux comprendre certains aspects physiques et mécaniques.

Le chercheur, quant à lui, peut avoir accès à un ensemble de références lui permettant soit d'alimenter sa réflexion, soit de préciser dans ses travaux scientifiques les sens des termes qu'il veut utiliser. A tous les pédologues, quels que soient leur spécialité et leur champ d'action, ce dictionnaire permet de faire aisément

<sup>1</sup> Éditions TEC & DOC, Lavoisier, 2011, 733 pages.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Directeur de recherche honoraire de l'INRA.

un balayage des techniques analytiques au moins parmi les plus classiques et les plus utilisées en Science du Sol. Avec raison, l'ouvrage ne fournit pas de méthodes analytiques mais permet de trouver rapidement un cheminement facilitant les recherches dans des manuels plus spécialisés. Grâce à ce dictionnaire de Science du Sol, le pédologue peut encore se familiariser avec des termes de pétrographie, de micromorphologie, de classification des sols, mots souvent complexes pour le profane, sans avoir besoin d'avoir recours à des ouvrages plus spécialisés.

Cet ouvrage apparaît donc incontournable, aussi bien dans le cadre scolaire que pour des applications connexes à l'agriculture. On peut aussi citer les études préalables à la réalisation d'ouvrages, les risques naturels, sans oublier la finalité agronomique du sol. Je le recommande vivement.

## **PRÉSENTATION DE THÈSES**

### **TERRITORIALISATION DU SECTEUR LAITIER ET RÉGIMES DE CONCURRENCE : LE CAS DES MONTAGNES FRANÇAISES ET DE LEUR ADAPTATION À L'APRÈS-QUOTA<sup>1</sup>**

par Marie **Dervillé**

Joseph Bonnemaire<sup>2</sup>. – Avec la hausse progressive des quotas laitiers jusqu'à leur suppression prévue en 2015, les producteurs laitiers perdent un outil de gestion de la concurrence entre producteurs et également entre territoires. Les quotas laitiers, introduits en 1984 pour réduire le coût de la politique laitière européenne (tarif douanier, intervention sur les marchés et subvention à l'écoulement des produits), reposent sur un ensemble de règles de gestion multi-acteurs et multi-niveaux, à l'origine de ressources collectives pour l'action : (i) stabilité des marchés à l'échelle européenne, (ii) soutien au développement d'une identité professionnelle nationale via l'élaboration des règles nationales d'allocation des droits à produire, (iii) contrôle des modèles productifs territoriaux au moyen d'une cogestion de ces droits à l'échelle des départements entre administration et profession, (iv) débouché à prix garantis pour les producteurs et approvisionnement sécurisé pour les transformateurs. La perte de cet instrument de régulation déstabilise les interactions entre acteurs et peut se révéler particulièrement problématique pour les systèmes laitiers de montagne où la productivité des facteurs génériques de production est plus faible qu'en plaine. Considérant que la concurrence ne repose pas uniquement sur les coûts et sur les facteurs génériques de production mais qu'elle suppose aussi la coopération des acteurs de marché dans l'élaboration de dispositifs de coordination (qualité, modèles d'entreprise) qui constituent le cadre des marchés, il est fait appel dans cette thèse aux travaux de N. Fligstein et de G. Allaire sur les institutions de marché et d'E. Ostrom sur la gestion des "biens communs". La notion de "régime de concurrence" est élaborée dans la thèse comme clé de voûte de l'analyse. Les régimes de concurrence désignent ici l'arrangement institutionnel des dispositifs de coordination à l'origine de la stabilité des marchés. Ils définissent les domaines de concurrence et les domaines de coopération. En étendant la notion de bien commun et en adaptant le concept de régime de droits de propriété à la capacité à exercer un contrôle sur les prix, ces arrangements institutionnels sont abordés comme un système de deux biens communs : la structure de gouvernance (à l'origine d'une capacité d'innovation) d'une part, et la réputation collective (à l'origine d'une prime de marché) d'autre part. La France laitière étant diversifiée, ces arrangements institutionnels varient d'un territoire à l'autre, selon les modèles de production et d'entreprise, l'orientation des marchés, la nature des structures professionnelles et

---

<sup>1</sup> Il s'agit d'une thèse en sciences économiques soutenue en 2012 à AgroParisTech (École doctorale Abies), réalisée à l'INRA de Toulouse, dans le cadre d'une convention CIFRE avec le CNIEL (Interprofession laitière), sous la responsabilité de Gilles Allaire, directeur de recherche à l'INRA, et co-dirigée par Gilles Bazin, professeur à AgroParisTech. Marie Dervillé est agro-économiste diplômée d'AgroParisTech.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Professeur émérite de l'enseignement supérieur agricole.

interprofessionnelles et, d'une manière générale, selon les relations entre les acteurs des filières. Les systèmes régionaux de production se caractérisent donc par différents régimes de concurrence.

La question de recherche qui structure la thèse est celle du contrôle, par les opérateurs de marchés, par les acteurs collectifs – privés ou coopératifs, sectoriels ou territoriaux et par l'acteur public – de la transformation des marchés laitiers dans leur diversité et des conséquences de ce contrôle et de ces transformations en matière de structuration spatiale du secteur et des modèles d'entreprise.

Il s'ensuit deux sous-questions qui sont plus particulièrement approfondies dans la thèse :

1/ quelle a été, au cours des dernières décennies, la contribution du cadre institutionnel (politique laitière européenne, politique de la montagne, politique de la qualité) et de son appropriation par les opérateurs et acteurs collectifs, à différentes échelles, à l'ancrage de la production laitière en montagne ?

2/ quelles sont les capacités de réponse des acteurs sectoriels et territoriaux (stratégies d'innovation, réputation collective et structures de gouvernance, qui sont à la base de la diversité des "régimes de concurrence"), et comment s'organise l'articulation des échelles d'action ?

L'hypothèse de recherche est que la viabilité des bassins de production de montagne repose sur l'activation de ressources collectives sectorielles et territoriales spécifiques permettant une différenciation des formes et des espaces de concurrence. Dans les systèmes régionaux de production qui sont déjà partiellement différenciés tels que Savoie et Jura (production sous appellation d'origine avec des dispositifs de gestion des volumes et des prix différents des quotas), l'impact de la libéralisation des marchés est atténué. L'adaptation à l'après-quota peut passer par un renforcement des dispositifs de coordination existants ; les innovations pourront être incrémentales. Au contraire, dans les autres montagnes (Massif central, Pyrénées, reste des Alpes), les dispositifs de coordination alternatifs aux quotas sont à construire ; les innovations risquent de devoir être radicales pour se révéler un tant soit peu efficaces.

La démonstration s'appuie sur différents outils: une analyse de la littérature bien sûr, un travail de terrain avec plusieurs dizaines d'entretiens semi-directifs et une observation participante bien raisonnée (notamment participation régulière aux travaux de la "commission montagne" de l'interprofession laitière), et enfin une démarche ambitieuse de mobilisation et de traitement statistique combiné de plusieurs bases de données relevant de registres différents mais exploités ici en complémentarité. Concrètement, cette démonstration est bâtie sur une combinaison de trois approches.

- une analyse historique de la transformation des politiques publiques et des marchés sur le temps long (économie des filières et dispositifs de coordination sur cinq décennies). Cette analyse met en évidence la nature institutionnelle de la concurrence et des facteurs de localisation du secteur (co-évolution entre fonctionnement des marchés et structuration spatiale du secteur) ;

- une analyse des capacités d'innovation (caractérisation du jeu des acteurs sectoriels et territoriaux et des stratégies et processus d'innovation qu'ils développent) dans trois territoires de montagne contrastés: Doubs, Cantal et Haute-Loire; analyse qui passe notamment par la réalisation de monographies précises ;

- une analyse fine des déterminants des dynamiques laitières locales. Celle-ci repose sur un travail considérable et très complexe d'analyse microéconomique de données individuelles géoréférencées, issues d'un rapprochement original de 10 bases de données différentes: Quotas (campagnes et transferts), BDNI, Contrôle laitier, MSA, ODR, INAO, INSEE... ; ce travail a donné lieu à de multiples traitements statistiques qui ont permis d'élaborer des indicateurs de ressources territoriales et d'identifier les déterminants individuels (structure, âge, contractualisation de MAE, accès au marché) et territoriaux de la restructuration laitière (profil sectoriel, système territorial de production, AOP).

Le mémoire de thèse est organisé en trois parties. La première partie pose le cadre théorique et méthodologique et retrace l'histoire des marchés laitiers. Ce cadre met en évidence les facteurs institutionnels de localisation des productions et souligne la nécessité d'étudier le rôle de l'action collective dans la différenciation et l'ancrage des systèmes régionaux de production. La deuxième partie analyse les changements induits par le durcissement du droit de la concurrence et la libéralisation des marchés laitiers. Cette analyse se déploie dans deux directions: une caractérisation et une étude de la transformation de trois cas de régimes régionaux de concurrence - le Doubs, le Cantal et la Haute-Loire - d'une part, une discussion de la capacité d'adaptation des acteurs (qui sont partie prenante de ces différents régimes) au changement des

formes de concurrence qui accompagne la disparition des quotas. Dans la troisième partie, l'auteure analyse les restructurations laitières en poussant l'investigation au niveau des comportements productifs individuels des producteurs en lien avec leur environnement. Ces comportements sont estimés statistiquement, à partir de données individuelles géoréférencées, par une démarche qui permet d'explicitier le poids de la dimension institutionnelle dans les caractéristiques de l'environnement socio politique, technique et économique des exploitations, ainsi que la stratégie productive de ces mêmes exploitations. Une typologie et une cartographie très fine des territoires laitiers de montagne ont ainsi pu être construites. La thèse met ainsi en évidence une diversité de situations et de dynamiques économiques et territoriales qui se traduit *in fine* par l'identification de 43 territoires de montagne distincts (environ 3-4 par département) que l'auteure répartit en quatre ensembles : montagnes à AOP fortes, montagnes à potentiel AOP, montagnes génériques denses, montagnes génériques peu denses.

L'originalité de la thèse réside dans un double choix opéré par Marie Dervillé : une approche d'économie institutionnelle qui permet d'explorer le rôle de l'action collective dans la capacité de réponse des territoires de montagne et un choix méthodologique de combiner une analyse des stratégies d'acteurs à partir d'études de cas et une analyse économétrique et statistique à partir de plusieurs jeux de données individuelles exhaustives d'exploitations. Ces choix ont permis les articulations d'échelles d'analyse indispensables à une compréhension nouvelle des interactions entre stratégies individuelles et stratégies collectives d'une part, entre stratégies collectives (privées, coopératives, territoriales) et cadre macro-institutionnel (politiques publiques) d'autre part.

La principale avancée scientifique de ce travail sur les territoires laitiers de montagne réside donc dans le développement d'une démarche économique novatrice d'analyse du fonctionnement des marchés et de leur transformation. Cette approche, centrée sur l'analyse des biens communs, a permis d'explicitier d'une part les domaines de coopération dans l'élaboration d'un cadre de marché et les domaines de concurrence dans l'acquisition de droits de propriété sur ces marchés et, d'autre part, le rôle des différents types d'acteurs (opérateurs privés, acteurs collectifs et acteur public) dans le contrôle de la création et de la répartition de la valeur sur les marchés. Ce cadre d'analyse permet d'expliquer dans le détail une réalité complexe tout en gardant un certain niveau de généralité : la démarche serait tout à fait applicable à des secteurs autres que le lait. L'originalité de la démarche de recherche réside aussi dans l'articulation de différentes méthodes d'analyse économique (trajectoires-types de développement et modèles économétriques spatialisés, pour ne citer que les deux principales). C'est la première fois qu'une telle modélisation de la diversité des dynamiques laitières françaises, avec un centrage particulier sur la diversité des profils de restructuration en montagne et avec un tel niveau de finesse, est obtenue.

Plus concrètement, cette thèse a permis d'apporter un éclairage sur les enjeux de l'adaptation à l'après-quota. Il ressort en particulier de l'analyse que la disparition des échelles de régulation européenne, nationale et départementale prive les producteurs de montagne d'une capacité de contrôle de la concurrence, et ceci d'autant plus que, dans le même temps, l'aval du secteur devient de plus en plus concentré et internationalisé. L'acteur public, suite à la crise laitière de 2009, a certes cherché à rééquilibrer le rapport de force entre opérateurs amont et aval par une incitation à l'action collective : c'est ainsi que le "paquet lait" a été adopté en février 2012. Toutefois cette thèse met bien en évidence que les régimes régionaux de concurrence sont contrastés et que les capacités de réponse, le sont par conséquent également. Il s'ensuit que, sur certains territoires, les producteurs vont vraisemblablement parvenir à constituer et activer des ressources spécifiques sectorielles (AOP, fermier, démarche montagne) ou territoriales (renforcement de la rémunération des services environnementaux). Cependant la saturation du marché AOP laisse entendre que les possibilités de segmentation identitaire ne sont pas infinies; quant à la rémunération de services environnementaux, elle dépend largement de la volonté et des possibilités de l'acteur public et des priorités de la profession agricole... C'est pourquoi il y a un enjeu d'intégration, de rassemblement de producteurs et de mise en commun de ressources sur une base territoriale pour être en mesure de proposer une offre de lait adaptée aux besoins de l'aval et de négocier une part de la valeur ajoutée générée par les stratégies de marques ou de segmentation fonctionnelle des entreprises. Mais, le changement institutionnel se faisant sur le temps long et à plusieurs échelles combinées d'organisation, il est à craindre que certains territoires ne soient désormais plus en mesure de mettre en œuvre une démarche collective appropriée.

Cette thèse démontre bien que la capacité de constituer un régime régional de concurrence, à exercer un contrôle de la restructuration laitière sur le territoire, ne dépend pas uniquement des capacités d'innovation des acteurs régionaux mais aussi des évolutions du cadre institutionnel et politique et de l'appropriation de ces évolutions par ces acteurs régionaux. Les résultats empiriques mis en évidence par ce travail ont été jugés importants à valoriser auprès des milieux professionnels. Toujours au titre des apports de ce travail, on peut noter que les résultats du travail de Marie Dervillé font indiscutablement ressortir un message clair au regard de l'actualité du secteur : la proposition politique actuelle construite autour du « paquet lait » apparaît à coup sûr insuffisante pour maintenir à terme le lait en montagne à l'exception des territoires AOP déjà dotés de dispositifs de coordination reconnus et efficaces; il ne suffit pas d'inciter à l'organisation collective territoriale, il faut accompagner son développement...

## **LE NOUVEL ESPRIT DU CAPITALISME AGRAIRE<sup>1</sup>**

### **Les formes de l'autonomie ouvrière dans les plantations de palmiers à l'huile en Indonésie**

par **Stéphanie Barral**

Bertrand Hervieu<sup>2</sup>. – La thèse de Stéphanie Barral interroge les conditions sociales du développement du capitalisme agraire à partir de l'analyse des organisations productives que sont les plantations agroindustrielles de palmiers à l'huile indonésiennes.

L'originalité de ce travail réside dans la compréhension des mécanismes et des déterminants de l'engagement des ouvriers agricoles dans le capitalisme. Adeptes de l'observation participante, Stéphanie Barral s'est immergée dans la population ouvrière de Sumatra nord, a résidé en son sein tout en réalisant un ensemble d'entretiens remarquables. Inspirée par les travaux de Luc Boltanski et Ève Chiapello sur « L'esprit du Capitalisme », Stéphanie Barral avance l'hypothèse d'un changement d'état du capitalisme en raison d'un développement des plantations et de l'évolution des modalités de la critique sociale. Deux dimensions définissent ? selon elle, l'idéal- type de plantation comme cadre de référence théorique de la thèse : le caractère totalitaire du contrôle qui s'impose aux ouvriers et à leur famille, et le conflit comme mode de régulation de ce type de capitalisme.

Stéphanie Barral met en évidence le renforcement du capitalisme de plantation et l'expansion des surfaces cultivées en raison de la capacité des firmes à neutraliser la critique sociale. L'accession à la petite propriété foncière, aux marges des plantations, bien que conduisant à un processus d'ascension sociale, n'entraîne pas pour autant une « déprolétarianisation ». En acceptant des espaces d'autonomie conquise pour les ouvriers, les firmes se préservent de toute critique sociale. Ainsi peuvent se renforcer les positions du capitalisme des plantations, n'effaçant pas les situations de dépendance mais les reconfigurant, les faisant passer d'un ordre traditionnel à un ordre nouveau du contrôle des salariés au service de l'entreprise.

Cette thèse illustre avec force les processus de restructuration des modes de production en agriculture dans la mondialisation et renouvelle l'approche des travaux – trop rares – sur le salariat agricole.

---

<sup>1</sup> Thèse sous la direction de Serge Paugam, directeur d'études à l'EHESS, directeur de recherche au CNRS. Co-dirigé par Robin Bourgeois, chargé de recherche au CIRAD. Soutenue le 18 octobre 2012, 480 p

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Inspecteur général de l'agriculture, CGAAER, 251, rue de Vaugirard, 75732 Paris cedex 15.

## VIE DE L'ACADÉMIE

### NÉCROLOGIES

**Jean Bézard.** – Élu membre titulaire de la section 8, Filières alimentaires en 2007, il était âgé de 83 ans. Professeur honoraire de l'Université de Bourgogne où il enseignait la physiologie de la nutrition. C'était un pédagogue toujours disponible et passionné par la recherche. Il a consacré sa carrière à l'étude des lipides et publié plus d'une centaine d'articles. Jean Bézard était par ailleurs un artiste peintre très prolifique.

**Pierre-Paul Malaval.** – Élu correspondant national en 1996, membre titulaire en 2000.

Né en 1931, décédé en 2012. Ingénieur du génie rural.

A été successivement Chef du département « aménagement du territoire » de l'ENGREF de 1965 à 1969, puis chef du département « formation continue » de l'ENGREF de 1970 à 1977, DG Adjoint puis DG du centre technique du bois de 1980 à 1987. Passage à la MISE de 1987 à 1993 et présidence de la section « forêts bois nature » du conseil général du GREF de 1993 à 1994.

**Konrad Mengel.** – Élu membre étranger en 1983, section 5. Né en 1929, de nationalité allemande, il est décédé en juillet 2012. Il était professeur à l'université de Glessen.

Ses travaux ont porté sur la nutrition minérale azotée et le rôle du phosphore en relation avec la photosynthèse, puis sur les problèmes métaboliques et de transfert.

**José Antonio Munoz-Delgado.** – Correspondant étranger de la section 8 depuis 1983. Il a été directeur de recherche au Conseil supérieur de la recherche scientifique espagnole. Vice-Président du Conseil supérieur de recherche scientifique, président du Conseil scientifique de l'Institut international du froid. Spécialisé dans le traitement des fruits et légumes par divers procédés techniques de conservation et de transformation ; il a collaboré avec divers organismes internationaux.

**Giuseppe Pellizzi.** – Élu membre étranger de la section 9, Industries des agrofournitures et des produits autres qu'alimentaires, en 1989, il était âgé de 85 ans. Professeur à la Faculté de mécanique agraire de l'Université de Milan. Directeur scientifique du Programme mécanique agricole du Conseil national de la Recherche et Président de la Commission internationale du Génie agricole et biologique.

**Michel Proffit.** – Correspondant national de la section 3 en 1964. Puis, après congé provisoire, il fut réintégré en section 10 et élu membre titulaire en 1982. Il fut Président de l'Académie en 1990.

Il était né en 1922. Ingénieur agronome et Agriculteur dans l'Eure où il a exploité un important domaine de cultures céréalières et industrielles.

Il a occupé différentes fonctions dans les associations syndicales agricoles et fut administrateur titulaire et président du *Herd book* de la race frisonne pie noire de 1967 à 1980 ainsi que président de la section d'orientation du Conseil supérieur de la recherche agronomique.

**Richard Moreau.** – Élu correspondant de notre Compagnie, 5<sup>e</sup> section en 1996. Né en 1932 à Besançon, âgé de 81 ans. Pharmacien de formation et Docteur d'État es sciences naturelles à Caen

Professeur de microbiologie appliquée à Paris XII, ses recherches ont surtout porté sur l'écologie microbienne des sols et les incidences des populations microbiennes sur l'activité métabolique des sols, en particulier des adhésines élaborées par certaines bactéries qui interviennent dans la structuration des terrains. Auteur de nombreuses publications dont un livre sur la forêt comtoise ; il s'est aussi intéressé à l'histoire de la microbiologie en collaboration avec l'Institut Pasteur.

**Georges Vabre.** – Correspondant de la section 10 en 1988, honoraire depuis 2000

Né en 1920, titulaire d'une licence en droit, il entre à la confédération des Associations viticoles de France dont il devient le directeur adjoint, puis le directeur en 1973.

Simultanément il devient Secrétaire général du Comité des professionnels viticoles de la C.E.E.

De 1973 à 1987 il est expert permanent au Comité consultatif viti-vinicole de la CEE.

En 1976 il est Secrétaire général administratif de l'Association nationale interprofessionnelle des vins de table et des vins de pays (ANIVIT).

**Pierre Zert**, né en janvier 1922 à Marainville (54) est décédé le 10 mai 2013 à l'âge de 91 ans.

Ingénieur agronome, il fit une partie de ses études durant la guerre. Car il fit aussi partie de la brigade Alsace6Lorraine et du maquis de l'Oisans ; à ce titre il a reçu la Croix de guerre 39/45.

Ancien Directeur général du Centre technique de la Salaison et de l'Institut technique du Porc jusqu'en 1985.

Élu membre titulaire de notre Académie en 1986, il a été l'un des éléments moteurs de l'évolution de notre Compagnie.

- Médaille d'or de l'Académie en 1977, il en fut Président en 1994. Il participa activement à la création de l'Association d'étude de l'Histoire de l'agriculture. Car il était féru de cette discipline. Il assura la responsabilité de la bibliothèque et des archives de notre Compagnie de 1996 à 2009.

L'amour des livres occupait ses jours. Il savait que l'écriture reste un des rares moyens de cristalliser le temps. Il se promenait avec plaisir dans le présent et le passé, à la recherche d'idées pour l'avenir. « Il est l'encyclopédie vivante de notre Académie » disait Michel Cointat lors de la remise de sa Légion d'honneur en 2001.

Commandeur du Mérite agricole

Officier de la Légion d'honneur

Chevalier du Mérite national

**Christian Lévêque**  
Président de l'Académie

## VISITE DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE (AAF) CHEZ BAYER AU CENTRE DE LA DARGOIRE À LYON

Un groupe de membres d' l'AAF était accueilli le jeudi 28 mars au centre de la Dargoire à Lyon par Bernard Ambolet, Directeur des affaires scientifiques chez Bayer CropScience (Bayer CS) et Président de la 4AF\*. Après une présentation du programme de la journée, un tour de table permet à nos hôtes de situer leurs visiteurs et aux académiciens de connaître les personnes qui assistent Bernard Ambolet, Marie-Pascale Latorse, experte en phytopathologie et Philippe Meresse, chimiste-responsable d'équipe dans le Département Soutien Recherche, en charge aussi de l'organisation de nombreuses visites sur le site de la Dargoire où Bayer ouvre largement ses portes pour expliquer ce que l'on y fait.

Bernard Ambolet rappelle que le groupe Bayer est basé à Leverkusen près de Cologne en Allemagne. Il est organisé en trois secteurs : santé, agriculture et produits de haute technologie (*high tech*).

111000 personnes sont employées dans le groupe pour un chiffre d'affaires de l'ordre de 40 milliards d'euros. Le secteur santé comprend quatre divisions :

- produits pharmaceutiques délivrés sous prescription médicale,
- produits d'automédication,
- produits vétérinaires,
- matériel pour le suivi médical comme, par exemple, des appareils de suivi de la glycémie afin de permettre aux personnes diabétiques de prendre en charge leur traitement.

Bernard Ambolet donne les points forts de Bayer dans le domaine de la santé.

Le secteur *high tech* produit des polyuréthanes très utilisés dans l'automobile et la construction et des polycarbonates, employés en substitution au verre (plafond de véranda, visière de casque, bloc d'optique de phare...).

Dans le secteur agricole, Bayer CS, s'intéresse à la production de produits phytosanitaires, aux agents de bio-contrôle et à l'amélioration des plantes.

Il occupe 20 000 personnes et consacre 10 % de son chiffre d'affaires de 8 milliards à la recherche/développement (R/D).

Bernard Ambolet rappelle les enjeux de l'agroéconomie – *accroissement de la population mondiale, besoins alimentaires et évolution des habitudes de consommation, développement des utilisations non alimentaires, préservation de l'environnement* - et les fortes contraintes auxquelles elle est soumise - *disponibilité des terres, changement climatique, épuisement des ressources naturelles, attentes sociétales* . Dans ce contexte, Bayer CS s'attache à développer des solutions qui permettent de répondre conjointement aux exigences de rendement, de qualité, de santé et de préservation de l'environnement.

L'amélioration des plantes concerne historiquement le canola, le coton, le riz (hybride) et les cultures légumières (avec la marque Nunhems). Depuis quelques années, Bayer s'intéresse également à d'autres espèces végétales : le soja, le colza et le blé. Ainsi la station de sélection de Milly-la-Forêt pour la sélection du blé en France a été rachetée à RAGT\*\* en 2012. De plus Bayer est partenaire du projet Breedwheat piloté par l'INRA de Clermont-Ferrand.

L'innovation dans les produits phytosanitaires porte sur les substances actives en constante évolution et répondant à des règles de plus en plus strictes, les formulations, par exemple les poudres mouillables (WP) ont été remplacées par les granulés dispersibles (WG), Les emballages pour limiter les risques pour les utilisateurs lors de la préparation des bouillies de traitement.

---

\* 4AF – Association des Amis de l'Académie d'Agriculture de France.

\*\* RAGT – Rouergue, Auvergne, Gévaudan, Tarnais, société semencière.

Les travaux sur les produits de bio-contrôle concernent les médiateurs chimiques utilisés dans les dispositifs de piégeage de type « *attract and kill* » contre lépidoptères et diptères, les micro-organismes (bactéries et champignons), les produits végétaux.

D'autres travaux portent sur les relations plante/milieu (symbioses) pour tenter de les favoriser, la connaissance et la surveillance des bio-agresseurs ; par exemple, modélisation de la croissance des maladies fongiques de la vigne et des céréales.

Beaucoup d'activités s'intéressent aux effets non intentionnels sur : les organismes non cibles, la résistance des bio-agresseurs, la préservation des ressources en eau (traitement des effluents – collaboration avec les fabricants de matériels...), la santé des consommateurs, la préservation des applicateurs.

À une question sur les contacts avec les organisations environnementales, il est répondu qu'il en existe et que Bayer contribue au rapprochement entre le monde agricole et d'autres parties prenantes : par exemple Bayer a co-écrit une charte agricole et apicole pour de bonnes pratiques.

Philippe Meresse revient sur l'implication forte de Bayer en Recherche dans le domaine de la protection des cultures.

Il y a un besoin permanent d'innovation, notamment à cause de l'apparition d'espèces résistantes aux produits conventionnels, des contraintes réglementaires (toxicité et écotoxicité), de l'adaptation aux techniques culturales.

Pour produire et conduire ses recherches, Bayer CS dispose de 13 principaux centres dans le monde parmi lesquels :

- Monheim en Allemagne qui héberge le siège de Bayer CS, pour les insecticides et une partie des fongicides,
- Francfort pour les herbicides,
- Lyon (siège de la direction pour la Région Europe) pour les fongicides,
- Sophia-Antipolis pour les études toxicologiques,
- Gand pour les biotechnologies,
- Saskatoon au Canada pour le Canola,
- Morrisville et d'autres centres aux USA,
- São Paulo au Brésil.

La recherche chez Bayer CS repose sur une expertise et des compétences clés dans de nombreux domaines:

- la découverte de nouvelles matières actives et de modes d'action originaux,
- la tolérance aux herbicides,
- la stimulation des défenses des plantes,
- l'action des agents biologiques,
- la sélection variétale,
- le développement d'outils d'aide à la décision.

L'innovation se traduit par un nombre important de brevets qui touchent tous les domaines.

Philippe Meresse rappelle l'historique du centre de la Dargoire, créé à l'origine par Rhône Poulenc, qui appartient aujourd'hui à Bayer, à la suite des regroupements, fusions et rachats qui ont profondément remodelé le secteur depuis une vingtaine d'années. Plusieurs matières actives ont été découvertes dans ce centre (3 molécules commercialisées au cours des 10 dernières années) et on peut noter que le premier OGM homologué au monde, un tabac résistant au bromoxynil, a été élaboré dans ces lieux.

L'effectif d'environ 200 personnes, de nationalités diverses, a un âge moyen de 41 ans. 21 millions d'euros y ont été investis en R/D entre 2005 et 2012 pour y installer des équipements de pointe alliant innovation et sécurité des utilisateurs. Il est aussi rappelé que 250/300 millions d'euros sont dépensés en R&D par molécule mise sur le marché et qu'il faut tester entre 100000 et 200000 molécules pour en commercialiser une seule. Dans ce coût l'écotoxicologie et la toxicologie représentent de l'ordre de 90 % de la dépense.

Il nous rappelle le processus de R/D :

- 1) synthèse de molécules et analyse de leur structure,
- 2) tests de détection des activités biologiques et le diagnostic du mode d'action biochimique de nouvelles molécules candidates,
- 3) validation de l'efficacité au champ qui permet de sélectionner la molécule à développer puis de l'optimisation des produits.

En parallèle, se font les premières analyses toxicologiques suivies des analyses de résidus et les études écotoxicologiques réglementaires pour la constitution du dossier d'homologation.

Dans les travaux en santé des plantes déjà signalés, l'approche nouvelle vise à aider la plante à mieux se défendre. Les recherches sont menées en collaboration avec le CNRS, l'INRA et différentes universités, écoles et autres organismes français et internationaux.

Le groupe visite ensuite le laboratoire de chimie où se fait la synthèse des molécules. Il est divisé en deux parties, l'une pour la synthèse classique, l'autre pour la synthèse automatisée, cette dernière ayant fait l'objet principal de la visite. Dans ce laboratoire d'automatisation/purification, à partir de la synthèse mise au point par les chimistes classiques, des chimiothèques de 30 à 80 molécules, analogues de structure proche, sont préparées au moyen de multiples automates. Ceux-ci vont prendre en charge les étapes de synthèse, traitement, transfert, concentration, pesée et purification des molécules.

L'analyse et la purification des produits sont effectuées par chromatographie liquide, qui aboutit à séparer les molécules sur une colonne de silice, couplée à la spectrométrie de masse, qui permet d'identifier les produits par leur masse moléculaire. Une fois isolés et pleinement caractérisés, les produits sont transférés dans des flacons normalisés qui seront envoyés à la logistique du centre avant d'être transmis au laboratoire de biologie qui va évaluer leur activité biologique.

Après cette visite un repas est pris en commun avec nos hôtes.

La visite se poursuit ensuite par le laboratoire de biologie dont la contribution dans le processus de R&D consiste à réaliser un criblage primaire *in vitro* et en serre sur plante/maladie, des études biochimiques afin de diagnostiquer le mode d'action biochimique des matières actives dépistées dans le criblage, à identifier de nouvelles cibles et supporter les projets en cours. Des études de biodisponibilité permettent en parallèle de définir les propriétés physicochimiques et comportementales des candidats sur plantes (pénétration, systémie, métabolisation, phytotoxicité).

Enfin, une équipe de biologistes moléculaires (Nouvelles technologies) utilise les biotechnologies pour mettre en place des outils de criblage pour la recherche de produits, notamment stimulateurs de défense des plantes, solutions complémentaires aux produits chimiques conventionnels.

Actuellement sont testées différentes maladies dommageables aux monocotylédones telles que la septoriose ou la rouille, et aux dicotylédones telles que l'alternariose ou la pourriture grise ou encore le mildiou.

Les trois premières étapes des opérations de pulvérisation des produits sont automatisées : chargement des plantes en pots sur des plaques, traitement par pulvérisation d'une solution à 500 ppm par plaques de plusieurs espèces végétales, tri par espèce, stockage en plateau pendant 24h avant inoculation par chacun des pathogènes concernés inoculation automatisée des plantes par leurs pathogènes respectifs mise en chambre climatique jusqu'à l'observation des symptômes des maladies sur les plantes témoins non traitées

Il y a bien des raisons de poursuivre la R/D dans ce domaine : un meilleur respect de l'environnement, l'évolution des maladies, les problèmes de résistance aux produits conventionnels uni-sites pour ne citer que celles-là. Aujourd'hui en effet, la pharmacopée agricole repose sur un nombre très restreint de modes d'action; l'enjeu est donc d'innover en trouvant des molécules efficaces ayant un nouveau mode d'action.

Après criblage primaire et détection d'une efficacité sur un ou plusieurs des patho-systèmes testés, un diagnostic biochimique est réalisé pour déterminer le mode d'action et la cible biochimique de la molécule dont dépendent les dérives potentielles de sensibilité des pathogènes qui peuvent se manifester par des problèmes de résistance sur le terrain.

L'optimisation des formulations et la définition de la redistribution des produits sur et dans les plantes traitées met en œuvre de nombreux autres outils avec, notamment une machine à pluie pour l'évaluation de la résistance au lessivage.

Retour en salle où Marie-Pascale Latorse nous présente quelques travaux s'appuyant sur les biotechnologies. Les nouvelles technologies se terminant en « omique » comme la génomique, la protéomique ou la métabolomique sont donc aujourd'hui utilisées pour trouver des solutions innovantes.

Pour augmenter la résistance des plantes aux agresseurs, il faut trouver des produits agromodulateurs. On fait appel à des plantes reportrices (indicatrices) de différentes voies métaboliques des plantes pour identifier des produits qui augmentent leur résistance à ces différents stress.

Dans le cadre de la réduction de l'usage des pesticides au niveau européen et français en particulier (Ecophyto 2018), la stimulation des défenses naturelles des plantes fait l'objet d'un regain d'intérêt comme approche complémentaire à l'usage des produits biocides conventionnels. Les plantes ont un système immunitaire inductible, résultat d'un véritable dialogue moléculaire.

Les plantes reportrices indiquent, par expression de fluorescence, l'effet positif d'un produit sur ces défenses naturelles. Des freins au développement de produits de ce type existent par le fait que ceux aujourd'hui, disponibles sur le marché, sont plutôt spécifiques. La recherche s'oriente vers des produits à spectre plus large aussi bien pour la plante que pour le pathogène.

Parmi les agents de biocontrôle, les microorganismes sont en cours d'exploration (achat d'Agraquest par Bayer en 2012). Leurs modes d'action peuvent être variés et complémentaires ; ils vont de l'antibiose à la stimulation des défenses des plantes en passant par l'hyperparasitisme, la compétition pour la nutrition et l'espace, la modification des surfaces. Aujourd'hui, Bayer propose, par exemple, le *Bacillus firmus* dans la lutte contre les nématodes et *Bacillus subtilis* (Serenade) contre diverses maladies fongiques.

Bernard Ambolet présente des pistes de recherche pour améliorer la nutrition, il faut trouver des stimulateurs de vitalité. Par exemple, la symbiose rhizobium/légumineuses permet de réduire l'apport d'engrais ou une symbiose mycorhizienne pour permettre aux racines de mieux exploiter le sol en milieu pauvre (en eau ou en éléments nutritifs).

La recherche porte sur des substances servant de signaux entre la plante et le symbiote à des doses très faibles.

Guillaume Fargeix et Isabelle Christian interviennent enfin pour parler des activités dites « *human safety* » (HS) . Elles portent sur l'analyse des résidus et l'évaluation des risques pour le consommateur et l'opérateur.

Le risque est le produit d'une toxicité (danger) par le niveau d'exposition. La finalité des essais est de répondre à deux questions : y a-t-il un risque acceptable par le consommateur par rapport à la dose journalière admissible (DJA) ? Quelle est la limite maximale de résidus (LMR) ?

Pour avoir une idée précise des résidus au champ, les analyses sont conduites sur deux groupes de huit essais dans le nord et le sud de l'Europe et ce, pendant deux ans.

Gérard Tendron, Secrétaire perpétuel, remercie Bernard Ambolet et tous les intervenants passionnants dans leurs exposés. Ils nous ont montré les progrès de la science et des techniques opératoires avec le développement de l'automatisation. Il a pu être constaté toute l'attention que porte Bayer aux méthodes alternatives de défenses des cultures. Devant l'essor de ces nouvelles méthodes de protection, les moyens chimiques interviendront de plus en plus en recours et ce, avec des produits étudiés pour un moindre impact sur l'environnement, montrant ainsi combien la sécurité de toutes ces techniques a progressé. Il remercie encore pour tout ce temps et cette disponibilité accordés au groupe de l'Académie qui prend le chemin du retour vers 17 heures.

## Les travaux de l'Académie d'Agriculture de France

L'Académie a pour mission essentielle de présenter le plus rapidement possible les travaux les plus récents et de confronter les expériences pour élaborer des synthèses en considérant divers aspects : scientifiques, techniques, économiques, sociaux, etc. Elle s'attache à l'ensemble « Agriculture, Alimentation, Environnement » et à son insertion dans la société et les territoires. D'essence biologique, elle couvre dans un esprit pluridisciplinaire les domaines scientifiques, techniques, économiques, juridiques et sociétaux s'y rapportant.

L'Académie tient séance publique le mercredi après-midi, 18, Rue de Bellechasse à Paris. Les ordres du jour sont disponibles sur son site Internet (<http://www.academie-agriculture.fr>). où l'on trouve les résumés des communications présentées en séances, ainsi que des notes proposées par des chercheurs et publiées dans les trois mois. Tous les textes publiés sont soumis à un Comité de lecture. L'Académie se réserve l'exclusivité des droits de reproduction des articles publiés sur son site Internet et dans ses Comptes Rendus.

L'abonnement au site permet de consulter le texte intégral de toutes les communications en séance, de toutes les notes de recherche, de conjoncture ainsi que les notes académiques. Des présentations et analyses d'ouvrages, l'annonce de publication d'ouvrages et de thèses y sont aussi disponibles, ainsi que des liens Internet avec les principales organisations traitant de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, tant françaises qu'étrangères.

# Publication éditée par l'Académie d'Agriculture de France

avec le concours de :

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

## Administration, rédaction et édition

Académie d'Agriculture de France  
18 rue de Bellechasse 75007 PARIS  
Tél. 01 47 05 10 37 – Télécopie : 01 45 55 09 78  
Courriel : [contact@academie-agriculture.fr](mailto:contact@academie-agriculture.fr)  
C.C.P. 3829-19 X Paris

**Secrétaire perpétuel et Directeur de la Publication** : Gérard Tendron  
Courriel : [secretaire-perpetuel@academie-agriculture.fr](mailto:secretaire-perpetuel@academie-agriculture.fr)

**Responsables de l'édition** : Christian Ferault et Jean-Claude Mounolou  
Courriel : [vice-secretaire@academie-agriculture.fr](mailto:vice-secretaire@academie-agriculture.fr)

**Trésorier perpétuel** : Jean-Paul Lanly  
Courriel : [tresorier-perpetuel@academie-agriculture.fr](mailto:tresorier-perpetuel@academie-agriculture.fr)

**Secrétariat de rédaction** : Christine Ledoux-Danguin  
Courriel : [christine.ledoux@academie-agriculture.fr](mailto:christine.ledoux@academie-agriculture.fr)

**Site Internet** : <http://www.academie-agriculture.fr>

Imprimerie de Montligeon – 61400 St Hilaire le Châtel

**Assistante de direction** : Corinne Migné  
Courriel : [corinne.migne@academie-agriculture.fr](mailto:corinne.migne@academie-agriculture.fr)

## ABONNEMENTS

Abonnement Comptes Rendus papier (membre de l'Académie)	10 €
Abonnement Comptes Rendus papier (non membre de l'Académie)	80 €
Abonnement Comptes Rendus papier (non membre de l'Académie – étranger)	100 €