

# Agronomie

## environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

## Défi alimentaire et Agronomie

Enjeux alimentaires : quels défis pour l'agronomie ?

Rendements et qualité sont-ils conciliables ?

Nouvelles structurations et fonctionnement des bassins de production alimentaire.

Quelle utilisation de l'espace en zone rurale et périurbaine ?

Défi alimentaire, politiques agricoles, environnement.



## Analyse et conception des systèmes de production végétale à l'échelle des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires

*Analysis and design of crop production systems at the agro-food supply area scale*

Marianne Le Bail \* & Pierre Yves Le Gal\*\*

\*AgroParisTech, UMR 1048, 16 rue Claude Bernard 75231 cedex 05, France - [lebaill@agroparistech.fr](mailto:lebaill@agroparistech.fr)

\*\*Cirad, UMR 0951, 73 Av. J-F. Breton, F-34398 Montpellier

### Résumé

Comme pour les questions environnementales, la gestion des productions agricoles requiert l'analyse du fonctionnement d'un territoire, ici le bassin d'approvisionnement agro-alimentaire, pour le diagnostic et la conception de nouvelles organisations de la production adaptées aux évolutions des demandes et des ressources. On montre que la simple somme des comportements individuels des agriculteurs et des utilisateurs de leurs récoltes ne suffit pas à dégager des solutions durables. L'article illustre les outils et les méthodes de l'agronome pour l'analyse de ces systèmes d'approvisionnement dans leurs trois composantes complémentaires : les composantes physiques et agricoles des bassins d'approvisionnement ; les stratégies, objectifs et ressources des entreprises qui en constituent les acteurs ; les outils et dispositifs de coordination qui les organisent et contribuent à l'atteinte de leurs objectifs. Deux études de cas illustrent l'intérêt de ces démarches interdisciplinaires pour l'aide à la décision des acteurs privés ou publics.

**Mots-clés :** territoire, bassin d'approvisionnement agro-alimentaire, qualité, conception, scénario, modélisation.

### Abstract

Both environmental and food issues require to address crop production management at the territory scale, here the supply area of agro-food chains, for the diagnosis and the design of new organizations adapted to the changes of food demand and environmental and socioeconomic resources. It is shown that simply summing farmers' and processors' individual behavior is not sufficient to design sustainable solutions. The article illustrates the concepts and methods used by agronomists for analyzing these supply systems

based on three complementary components: physical and agricultural components of the supply area; strategies, objectives and resources of the stakeholders (farmers and firms) interacting in the supply area; coordination tools and devices for achieving common objectives. Two case studies illustrate the relevance of these concepts and methods for understanding and supporting decision-making of private or public stakeholders in the case of the supply of sugarcane mill and the coexistence of genetically modified (GM) and non-GM production respectively.

**Key words :** territory, agro-food supply area, quality, conception, scenario, modeling.

## Introduction

Classiquement, les agronomes s'appuient sur une définition des objectifs de production à l'échelle de l'exploitation agricole et sur leur déclinaison à la parcelle pour finaliser la conception de nouveaux systèmes de culture. L'objectif de cet article est de montrer pourquoi et comment l'analyse du fonctionnement des bassins d'approvisionnement des filières utilisatrices des récoltes des agriculteurs est utile au diagnostic et à la conception de nouveaux systèmes de production. En première analyse, nous désignons ici sous le terme de bassin d'approvisionnement d'une entité (usine, organisme de collecte, ville, etc.) le périmètre, éventuellement fluctuant dans le temps, dans lequel les agriculteurs qui approvisionnent l'entité, produisent la ou les cultures qui fait (font) l'objet de l'échange. On verra d'abord pour quelles questions de telles analyses de l'environnement des exploitations d'un territoire donné sont nécessaires avant de faire des propositions conceptuelles et méthodologiques pour mener à bien ces analyses, avant de présenter deux cas d'application et une discussion.

## Pourquoi et pour quelles questions a-t-on besoin d'une analyse à l'échelle d'entités combinant les décisions et les choix techniques des agriculteurs et des utilisateurs des récoltes ?

L'analyse des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires part du constat que la simple agrégation des comportements individuels des agriculteurs et des utilisateurs des récoltes dans ces territoires ne permet pas de comprendre certains processus et de résoudre certaines questions dans

lesquels ces deux types d'acteurs sont engagés. Par exemple, la recherche d'une augmentation globale de la production de sucre d'une sucrerie de canne confronte l'intérêt propre de chaque planteur de canne à sucre à livrer le maximum de sa production au pic de richesse de la canne, et celui de l'usine qui vise au contraire à étaler ses approvisionnements pour réduire ses investissements en équipement de transformation. Si l'objectif agronomique à la parcelle cherche à maximiser les couples {rendement en canne ; taux de sucre}, le passage au bassin d'approvisionnement amène à considérer des périodes de coupe en début et fin de campagne où la production de sucre sera sub-optimale. L'industriel peut chercher à valoriser la diversité de son bassin, tant en terme de conditions naturelles que de variabilité des exploitations, pour atténuer les conséquences de l'étalement de la campagne de coupe sur la production annuelle totale de sucre. Mais il doit dans tous les cas concevoir des outils qui lui permettront de coordonner les livraisons de ses fournisseurs sur l'espace du bassin et le temps de la campagne (Gaucher *et al.*, 2004 ; Le Gal *et al.*, 2008).

Autre exemple, la demande du marché en salade de types variés sur une large période de huit mois de l'année s'est accrue en Languedoc-Roussillon. Elle pourrait conduire les exploitations vers une spécialisation en salade sous la pression des investissements nécessaires en serres et en main d'œuvre permanente spécialisée. L'analyse du fonctionnement du bassin d'approvisionnement permet de comprendre pourquoi une diversité de types d'exploitation perdure au sein des organisations de producteurs. Il apparaît que les acteurs (opérateurs de première mise en marché, organisations de producteurs et agriculteurs) mettent en place des dispositifs répartissant les contraintes du marché (produire aux bornes de la saison de production quand l'offre est faible et la demande forte, des variétés plus ou moins sensibles aux maladies, en réduisant les traitements chimiques des sols, etc.) entre des exploitations dont les ressources et les risques vis-à-vis du marché et de la production sont en quelque sorte « complémentaires » (Navarrete *et al.*, 2006, Tordjman *et al.*, 2005).

La nécessité d'appréhender l'organisation territoriale entre les acteurs paraît évidente quand les

phénomènes biophysiques étudiés sont spatialisés, comme dans le cas des flux de gènes. Certaines pratiques doivent être coordonnées dans l'espace où circulent les pollens. Mais même dans ce cas, la tentation est grande d'ajouter des mesures à la parcelle sans considération de l'ensemble des liens matériels et immatériels entre acteurs. C'est le cas des propositions de légiférer sur la seule fixation d'une distance d'isolement standard, applicable par tous à la parcelle, pour ménager la coexistence entre cultures OGM et non OGM sur un même territoire. Trop faible elle ne suffirait pas à juguler certaines pollinisations croisées, trop forte elle aurait un effet d'entraînement qui finit par faire basculer le territoire dans le tout OGM ou le sans OGM (Demont *et al.*, 2008).

Dans ces différentes situations, la combinaison fut-elle optimisée, des objectifs, des ressources et des pratiques propres de chacun ne suffit pas à dégager des solutions durables, voire même débouche sur des antagonismes à l'échelle du bassin d'approvisionnement.

Les questions faisant interagir producteurs et industriels autour d'une production agricole amènent donc à chercher des solutions à un niveau d'organisation supérieur à celui de l'exploitation agricole. Comment représenter ces entités et comment les analyser pour conduire ces interventions ?

### **Comment représenter ces bassins d'approvisionnement pour conduire une analyse hiérarchisée des points qui posent problème aujourd'hui ou dans une perspective de changement ?**

Passer du couple parcelle-exploitation au bassin d'approvisionnement d'unités agro-industrielles, offre un changement de focale débouchant sur trois points de vue précieux pour l'analyse.

Le premier amène à s'intéresser aux caractéristiques du milieu qui structurent cet espace, ainsi qu'à la répartition des cultures, voire des systèmes de culture en son sein, au-delà des limites des exploitations agricoles. L'analyse vise à identifier une répartition spatiale des quantités et qualités potentielles de la matière première agricole, signalant des différentiels, des spécificités distribuées

ou des risques. Les composantes physiques et techniques des parcelles fournissent ainsi un premier point de vue sur le bassin d'approvisionnement.

Pour l'agronome, ce premier point de vue est alimenté par des bases de données (sols, climat, occupation des sols et pratiques culturales - Mignolet *et al.*, 2007 ; Leenhardt *et al.*, 2010), des diagnostics agronomiques régionaux (identification de facteurs limitants et des ordres de grandeur de leurs effets - Doré *et al.*, 2008) et des modèles spatialisés de potentiels ou de risques (Angevin *et al.*, 2008 ; Cheeroo-Nayamuth *et al.*, 2000 ; Colbach *et al.*, 2005).

À l'exception peut-être de certains périmètres industriels intégrant production et transformation de matière première agricole (périmètres sucriers en Afrique de l'Ouest, bassin légumiers de Bondoule en Russie, plantations pérennes industrielles d'Asie de Sud-Est par exemple), les bassins d'approvisionnement ne peuvent être considérés comme une seule « grande ferme » avec une logique centralisée. La répartition des cultures et des pratiques culturales est la résultante des logiques d'action d'un ensemble d'agriculteurs dotés d'une diversité d'objectifs et de ressources limitées et des logiques d'action d'acteurs économiques (transformateurs et collecteurs impliqués dans différentes filières) ou territoriaux (impliqués dans la gestion des ressources). Cet ensemble de stratégies, d'objectifs et de ressources des acteurs (agriculteurs, collecteurs, industriels) constitue un second point de vue sur le bassin d'approvisionnement.

En association avec l'économie ou les sciences de gestion ou de la cognition, l'agronomie alimente ce second point de vue par : (i) des bases de données (statistique agricole par exemple) (Laurent et Thinon, 2005 ; Mignolet *et al.*, 2007 ; Ploeg *et al.*, 2009) ; (ii) des analyses des décisions techniques et des typologies des exploitations (Aubry *et al.*, 1998, 2006 ; Capillon et Valceschini, 1998), (iii) des modèles de décision (Rossing *et al.*, 1997 ; Carberry *et al.*, 2002 ; Chatelin *et al.*, 2005 ; Navarrete et Le Bail, 2007) rendant compte de la diversité des décisions techniques des agriculteurs dans le territoire considéré, à travers la combinaison d'objectifs, de ressources (foncières, matérielles, humaines voire cognitives), et de signaux (éco-

nomiques, réglementaires, informationnels) envoyés par les acteurs avec lesquels ils sont en relation plus ou moins formalisées ; (iv) des études de cas ou des modèles d'entreprise permettant de rendre compte des logiques d'approvisionnement des collecteurs des récoltes (Audsley et Annetts, 2003 ; Higgins *et al.*, 2004 ; Coleno, 2008).

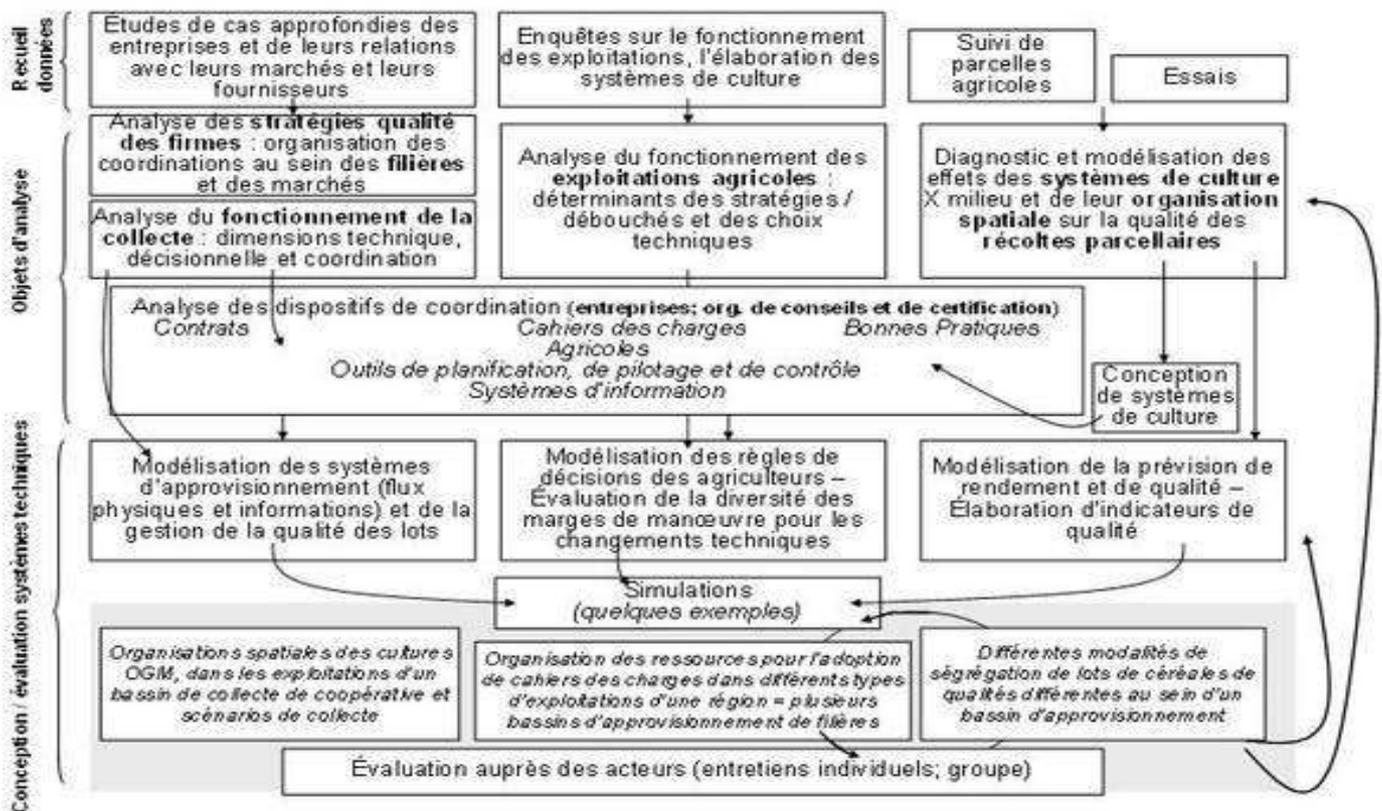
A ce stade, la représentation du bassin d'approvisionnement demeure encore pointilliste, basée sur les stratégies individuelles, certes influencées par des « facteurs externes », un « contexte » ou des « enjeux » locaux ou plus éloignés, voire même distribuées non aléatoirement dans le bassin<sup>1</sup>. Il y manque la trame qui lie les acteurs ensemble. Ces relations s'appuient sur des instruments plus ou moins formels élaborés dans le temps par les uns et les autres pour articuler les logiques individuelles vers la gestion des flux de produits récoltés. Cet ensemble d'outils et de dispositifs de coordination forme un troisième point de vue sur le bassin d'approvisionnement.

Les démarches de qualification des pratiques, les outils de contractualisation et leurs cahiers des charges plus ou moins adaptés à la diversité des exploitations, les chartes, les indicateurs du suivi des productions en quantité et en qualité, les modèles de prévision ou de planification des flux sont des objets mixtes à l'interface des sciences biotechniques et des sciences économiques et sociales à la conception desquels les agronomes peuvent contribuer (Le Bail et Makowski, 2003 ; Le Bail et Valceschini, 2004 ; Aubry *et al.*, 2005).

La combinaison de ces trois points de vue en un système local d'approvisionnement pour le diagnostic et la conception d'innovation techniques et organisationnelles (Le Bail, 2005 ; Doré *et al.*, 2006) permet d'éclairer la complexité de ces bassins d'approvisionnement et d'en donner une représentation adaptée et adaptable à de nombreuses situations. La figure 1 propose un panorama de méthodes combinées pour appréhender les différentes dimensions de ce système, en tirer des éléments de diagnostic, proposer de nouvelles organisations et les évaluer.

---

<sup>1</sup> La « spatialisation » des typologies d'exploitation à cette échelle intermédiaire est peu pratiquée



**Figure 1.** Analyser le système local d'approvisionnement en intégrant trois catégories d'objets et des collaborations interdisciplinaires

Les travaux évoqués dans ce diagramme embrassent rarement l'ensemble d'un tel schéma. Si les travaux sur la coexistence entre cultures OGM et non OGM ont bien abordé le diagnostic du fonctionnement des entreprises de collecte et celui des exploitations (Meynard et Le Bail, 2001, Méssean et al., 2006), le diagnostic à l'échelle des systèmes de culture de l'effet de l'introduction des OGM sur les performances a été peu développé en l'absence quasi générale des OGM sur le territoire. Dans ce cas les simulations se basent sur la modélisation des flux de gènes (cf infra). Les travaux sur la qualité des blés et des orges par contre ont bien intégré les phases d'analyse « entreprises » et « diagnostic régional des effets des systèmes de culture » avant de proposer de nouveaux systèmes de culture et des indicateurs de tri des lots dans le bassin mais avec une implication sans doute trop faible des acteurs dans la phase de conception (Le Bail et Meynard, 2003, Makowski et al., 2009). Dans le cas des travaux sur les systèmes maraîchers languedociens (Navarette et al., 2006, 2007) les trois phases d'analyses ont été mises en œuvre. Par contre si l'on a pu imaginer des solutions libérant des marges de manœuvre à l'échelle des bassins dans le cadre des systèmes existants, la conception de nouveaux systèmes de culture réduisant l'usage des pesticides et leur mise en pratique dans le territoire sont encore en cours (Collange et al., 2011). Dans l'exemple de la canne à sucre en Afrique du Sud (Le Gal et al., 2008) l'accent a été mis sur les dispositifs de coordination entre acteurs plus que sur les dimensions exploitations et parcelles. Cette intervention a inclus des articulations interdisciplinaires avec l'économie autour des systèmes de paiement de la canne (Lejars et al., 2010).

All the stages presented in the diagram are seldom accomplished in the research works described in this article. If the work on the coexistence between GMO and not GMO approached the diagnosis on grain companies and farms (Meynard et Le Bail, 2001, Méssean et al., 2006), the diagnosis of the effect of the introduction of GMO on the performances of cropping systems was faint in the nearly absence of the GMO on the territory. In this case simulations are based on the modeling of gene flows. Work on wheat and the barley quality on the other hand integrated well the phases of analysis of "firms" and "regional diagnosis of the effects of cropping systems" before proposing new cropping systems and indicators for segregating cereal batches in the supply area but with a too weak implication undoubtedly of the stakeholders in the phase of design (Le Bail et Meynard, 2003, Makowski et al., 2009).. In work on the Languedocian market-gardening systems (Navarette et al, 2006; 2007) the three phases of analyses was used. On the other hand the design of new cultivation systems reducing the use of the pesticides and their practical application in the territory are still in hand (Collange et al, 2011). In the example of sugar cane in South Africa (Le Gal et al., 2008) the emphasis was placed on the means of coordination between stakeholders more than on the farm and field scales. This work included interdisciplinary articulations with the economy around the systems of payment of cane (Lejars et al., 2010).

## Deux exemples de mise en œuvre de cette grille d'analyse des bassins locaux d'approvisionnement

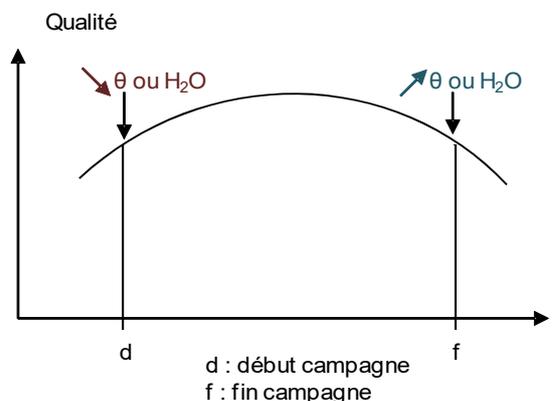
Deux exemples contrastés vont illustrer comment l'usage de ce type d'approche permet de répondre à des questions impliquant de nombreux agriculteurs et le ou les opérateurs auxquels ils vendent leurs récoltes.

### Comment augmenter la production de sucre à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement sucrier en Afrique du Sud en modifiant les règles d'attribution des droits à livrer individuels ?

Les travaux conduits à La Réunion puis en Afrique du Sud sur quelques bassins d'approvisionnement sucriers sont partis de l'hypothèse que les modalités de gestion de l'approvisionnement des sucreries, au cœur des relations entre industriel et producteurs, influençaient la production de sucre à l'échelle du bassin en lien avec les caractéristiques agro-physiologiques de la canne. Ces travaux ont inclus une phase de compréhension de ces modalités de gestion, puis une phase d'aide à la réflexion des acteurs en vue de nouveaux modes d'organisation permettant d'augmenter la production totale de sucre d'un bassin.

#### Comprendre le fonctionnement d'un bassin d'approvisionnement sucrier

La canne à sucre est une graminée à croissance continue, dont le cycle entre deux coupes est divisé en deux phases (Fauconnier, 1991) : une période de croissance où s'élabore le rendement en canne, et une période de maturation où la plante produit du saccharose. La production de sucre est stimulée par un stress hydrique combiné ou non à une baisse des températures. Les conditions climatiques influencent donc à la fois la durée du cycle entre deux coupes, en relation avec le type de variété cultivée, et le profil de la courbe de production du saccharose au cours du temps. Les sites où la pluviométrie et les températures sont contrastées durant l'année présentent des courbes en cloche, avec un pic plus ou moins marqué selon les années (Figure 2).



$\Theta$  = température de l'air ;  $H_2O$  = humidité du sol

Figure 2. Exemple schématique de courbe de qualité de la canne à sucre et de calage d'une campagne de récolte

Les industriels et les producteurs ont *a priori* intérêt à caler les livraisons autour du pic de richesse, afin de maximiser la quantité de sucre produite à l'échelle individuelle comme à celle du bassin d'approvisionnement. Cet objectif se heurte dans la pratique à plusieurs contraintes. D'abord la durée de la campagne de coupe résulte d'un compromis technico-économique entre les quantités de canne à transformer et les capacités de transformation, transport et récolte investies par les différents acteurs qui interviennent tout au long de la chaîne logistique. Ensuite l'industriel recherche une régularité de ses approvisionnements tout au long de la campagne, des sur-stockages ou un fonctionnement à sous-capacité augmentant ses coûts de production. Enfin, les pics de variation de la richesse en sucre ne coïncident pas nécessairement partout sur un bassin d'approvisionnement du fait de conditions climatiques contrastées.

Pour remplir son objectif de régularité des apports tout en tenant compte des contraintes de capacité le long de la chaîne, l'industriel met en place une procédure de planification de ses approvisionnements comprenant (i) une estimation des quantités à transformer pour l'année ; (ii) le choix d'une durée de campagne (volume total estimé de canne à broyer, divisé par la capacité hebdomadaire de broyage) et de dates de début et fin de la campagne ; (iii) une allocation de droits à livrer par producteur durant la campagne en fonction de règles préétablies (Gaucher, 2002). Les règles en cours au moment de l'intervention consistent à diviser la production estimée par producteur par

la durée de la campagne, définissant un droit à livrer hebdomadaire.

Ces outils de gestion des approvisionnements sont complétés par des systèmes de paiement de la canne qui visent plusieurs objectifs : (i) couvrir les coûts de production des producteurs et des industriels, (ii) partager la valeur totale produite par l'industrie sucrière sud-africaine entre producteurs et industriels, (iii) partager la part des producteurs entre eux, (iv) inciter les grandes exploitations à livrer de la canne de bonne qualité et ce (v) régulièrement tout au long de la saison, et (vi) ne pas pénaliser les petites exploitations qui livrent leurs cannes en peu de fois durant la saison.

Cette interdépendance verticale entre industriel et producteurs se combine avec une interdépendance horizontale entre les producteurs, dans la mesure où (i) les décisions prises ou les aléas rencontrés par une exploitation en matière de récolte ont des répercussions sur l'ensemble des fournisseurs d'un même bassin d'approvisionnement et (ii) la valeur totale créée par le bassin, dont dépendent les revenus de chacun, est liée aux efforts individuels pour améliorer la qualité des livraisons. Les décisions prises indépendamment par un producteur concernent alors essentiellement ses rythmes de replantation, la conduite de la fertilisation, l'irrigation et l'entretien de ses parcelles (désherbage, lutte contre les bio-agresseurs). Ses choix variétaux sont par contre conditionnés par son organisation de récolte s'il souhaite maximiser la qualité moyenne de ses livraisons, ce que l'encouragent à faire les systèmes de paiement mis en place.

#### *Explorer de nouveaux modes d'organisation des droits à livrer*

La question discutée avec l'industriel et les représentants des producteurs du bassin de Sezela en Afrique du Sud était la suivante : comment valoriser la diversité de courbes de qualité de la canne au sein du bassin, actuellement non exploitée par l'organisation des approvisionnements, pour augmenter la quantité de sucre produite sans investissement agricole ou industriel supplémentaire ? Pour explorer différentes alternatives d'organisation des flux de canne entre producteurs et sucrerie, un outil de simulation, dénommé Magi®, a été conçu (Lejars *et al.*, 2008). Il est fondé sur un modèle conceptuel reproduisant l'approvisionnement d'une sucrerie de canne à

partir de trois maillons : les unités de production (UP), les opérateurs intermédiaires (OI) et l'usine. Les UP sont définies comme des entités individuelles caractérisées par une quantité de canne, une courbe de qualité et une capacité de récolte. Ces UP peuvent varier en fonction des scénarios simulés : typologie d'exploitations, zones géographiques de qualité homogène, voire exploitations individuelles. Sur cette base le modèle calcule la production de sucre issue d'un mode d'organisation donné en commençant par la phase de planification et de pilotage des livraisons. Celle-ci fournit la répartition hebdomadaire des apports de canne, qui sont ensuite transformés en quantités de sucre en fonction de leur qualité et des pertes au cours de la transformation.

L'étude s'est déroulée en plusieurs étapes. Dans un premier temps trois zones homogènes du point de vue de la qualité de la canne ont été définies, à partir de variables topographiques (altitude), climatiques (pluviosité et température) et économiques (type d'exploitation). Chaque exploitation a été affectée à une zone et les courbes de qualité ont été reconstituées pour chaque zone et chaque campagne de 2000 à 2003. L'analyse de ces courbes a confirmé qu'une zone présentait des cannes plus riches en début de campagne. Sur la base de ce constat et après discussion avec l'industriel, trois scénarios faisant varier les règles d'allocation des droits à livrer définies pour chacune des zones ont été simulés à l'aide de Magi®. Le principe consiste à jouer sur le positionnement et la durée des périodes de livraison par zone, tout en conservant un droit à livrer hebdomadaire constant durant ces périodes et une quantité totale de canne livrée respectant la capacité maximale de broyage de l'usine. Chaque scénario a été simulé pour les années 2000 à 2003. Les résultats ont été comparés à un scénario de référence correspondant à la situation réelle du bassin d'approvisionnement pour chacune des années (tableau 1). Les gains obtenus varient, selon l'année, de 0,1 à 2,5 % de la production totale d'équivalent sucre, représentant jusqu'à 1 million d'euros.

Ces résultats ont été présentés pour discussion à un groupe de travail composé de représentants de l'industriel et des producteurs. Chacun a convenu des conséquences positives des alternatives

proposées sur la production de sucre, mais les producteurs ont soulevé deux points non étudiés, la réduction de la durée de campagne, et la base de comparaison utilisée dans le système de paiement de la canne en cours en Afrique du Sud (Le Gal et al., 2005). *In fine* les acteurs ont préféré conserver leur mode d'organisation uniforme des livraisons, du fait que les gains espérés d'une organisation plus complexe étaient jugés insuffisants et trop variables d'une année sur l'autre au regard des modifications à mettre en œuvre. Les évolutions ont surtout concerné l'organisation logistique au quotidien, un problème qui fut traité sur un autre bassin d'usine en combinant Magi® et un logiciel de simulation logistique pour évaluer les conséquences d'un passage de la récolte manuelle à la récolte mécanique de la canne (Le Gal et al., 2009).

Cette expérience montre comment la contribution des agronomes à des réflexions portant sur l'organisation des flux de matière première agricole à l'échelle du bassin d'approvisionnement permet de fournir des informations nouvelles aux acteurs, qu'ils peuvent mettre en débat au sein de leurs instances de négociation. Cette intervention a soulevé également des questionnements vis-à-vis des « agronomes parcelle », qu'ils portent sur l'utilisation de modèles de cultures développés sur la canne (Langellier et Martiné, 2007 ; Singels et al., 2005) ou sur des connaissances précises comme les effets potentiels d'infestations de bio-agresseurs (Way et Goebel, 2003).

	S1	S2	S3
2000	3187	6015	1150
2001	2421	5062	2407
2002	752	1021	363

**Tableau 1.** Gains simulés d'équivalent-sucre (tonnes) par scénario d'approvisionnement à Sezela sur trois années (2000-2002)

*Les valeurs représentent les gains en tonnes d'équivalent-sucre calculés par scénario en comparaison avec la situation observée chaque année, caractérisée par des droits à livrer uniformes sur l'ensemble du bassin d'approvisionnement. S1, S2 et S3 se distinguent par des livraisons décalées de manière variable durant la campagne de coupe, entre une zone côtière et une zone de plateau, la première présentant des valeurs de qualité de la canne inférieures à celles de la seconde pendant la première moitié de la campagne (voir Le Gal et al., 2008 pour plus de détails)*

*The amounts represent the profits in tons of equivalent-sugar calculated by scenario in comparison with the situation observed each year (characterized by uniform rights to deliver on the whole of the supply basin). S1, S2 and S3 are characterized by variable ways to shift deliveries between supply areas: "coastal area" presenting lower values of quality of the cane than those of the "plateau area" during the first half of the crop campaign (see Le Gal et al., 2008 for more details).*

### **Comment élaborer des scénarios de coexistence OGM - non OGM dans les territoires européens de production de maïs ?**

La Commission Européenne a fixé en 2003 le principe général de la coexistence entre OGM et non OGM comme la nécessité pour les états de mettre en œuvre les moyens appropriés pour que les agriculteurs aient le choix de produire ou pas des OGM et pour que les consommateurs puissent aussi choisir entre les produits issus d'OGM et les produits conventionnels. Autrement dit les états sont invités à organiser la séparation entre les deux types de produits de sorte que la « présence fortuite » d'OGM dans les produits conventionnels ne dépasse pas le seuil de 0,9%.

Si l'on connaît assez bien les mesures qui peuvent être mises en œuvre à l'échelle de la parcelle pour différentes cultures aux dynamiques de fécondation variées (Beckie and Hall, 2008), la faisabilité de ces mesures et leur efficacité à l'échelle des territoires agricoles sont assez peu étudiées, la rareté des situations à observer en Europe ne facilitant pas le diagnostic des risques. Le projet européen SIGMEA a pour partie consisté à élaborer des scénarios à l'échelle régionale pour éclairer la décision publique en matière d'adaptation des règles nationales et soutenir le débat entre partenaires locaux des filières (Messéan et al., 2009).

Cette recherche a permis de combiner les trois dimensions distinguées ci-dessus pour caractériser ce qui fait système dans un bassin d'approvisionnement, de manière à dégager progressivement les facteurs clés physiques, techniques et organisationnels dont la combinaison joue sur les performances des territoires en matière de faisabilité de la coexistence. Ce travail a été particulièrement développé sur le colza et le maïs, productions sur lesquelles portent les développements suivants.

*L'espace technique : fonctionnement des flux de gènes et diagnostic de la sensibilité comparée des territoires*

A défaut d'observation de terrain, puisqu'en France très peu d'agriculteurs ont implanté des maïs OGM, l'élaboration de modèles spatialement explicites des flux de gènes entre différents points d'un paysage a servi de support au diagnostic comparé des risques de pollinisation croisée entre différents types de paysages (Angevin *et al.*, 2008). L'utilisation de ces modèles permet de classer des paysages régionaux (ordre de grandeur 20-30 km<sup>2</sup>) les uns par rapport aux autres en terme de niveau de risque de pollinisation croisée pour différents seuils de pureté (0,1%, 0,4%, et 0,9%) visés pour la moyenne des récoltes des parcelles de maïs conventionnel du bassin. Les différences entre régions dépendent des caractéristiques structurales des paysages (taille moyenne et forme des parcelles, caractéristiques du climat (vent en particulier) et des choix d'assolement (part de maïs, types variétaux et leur dynamique de floraison) (Le Bail *et al.*, 2010). Le risque augmente avec la part de maïs OGM testée mais certaines organisations paysagères permettent de minimiser la part des maïs conventionnels dépassant les seuils de pureté visés. Elles sont plus « résistantes » aux flux de gènes.

*L'espace des stratégies et des décisions : fonctionnement des exploitations agricoles et des organismes de stockage*

Si l'analyse des risques de mélange entre OGM et non OGM dus aux pollens (et au niveau de pureté des semences) est plutôt bien rendue par les modèles précédents, ils ont été complétés par l'analyse experte ou par enquête pour tenir compte des autres sources de mélanges liées aux pratiques des agriculteurs (au semis, à la récolte, et au stockage -Angevin *et al.*, 2002) ou aux pratiques des organismes collecteurs (transport, séchage et stockage - Meynard et Le Bail, 2001). Ces compléments amènent à caractériser des niveaux de risques et des modes de gestion attribuables aux caractéristiques des exploitations (Messéan *et al.*, 2006) et des appareils de collecte (Le Bail et Valceschini, 2004 ; Coleno *et al.*, 2009).

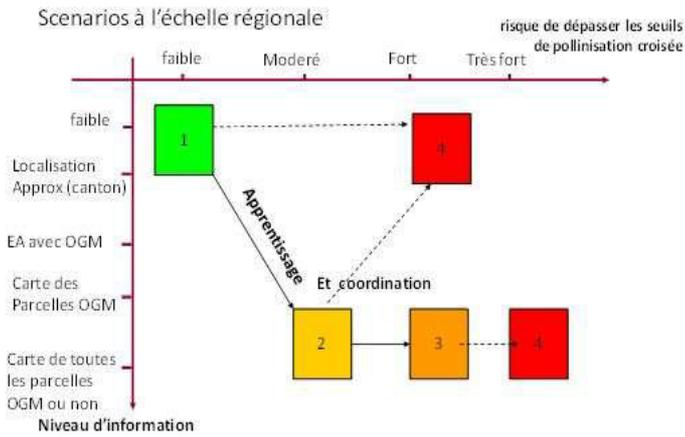
*L'espace des coordinations : scénarios et jeux de rôles*

Les deux premières étapes de la recherche permettent de repérer des risques liés au fonction-

nement biophysique du système et aux contraintes organisationnelles des différents types d'acteurs. Par contre, elles ne rendent pas compte de la manière dont ces acteurs s'organiseraient ensemble pour gérer la coexistence. Dans le cadre de SIGMEA, cette dernière analyse a été conduite via une méthode de jeu de rôles. En Alsace nous avons invité à ce jeu des agriculteurs, des responsables de coopératives ou de négoce, un entrepreneur de travaux agricoles et un conseiller agricole. En s'appuyant sur les travaux précédents, on a octroyé à ces différents acteurs des ressources (en parcelles, assolement, matériel de récolte, moyens de collecte, marchés) qu'ils ont mobilisées lors de trois étapes successives de jeu : avant semis, pour les choix d'assolement (et la part d'OGM), à la récolte (le rythme et l'ordre de récolte et le lieu de livraison) et à la collecte (la fabrication des lots et le choix des marchés visés) (Lécroart et Le Bail, 2007).

Cette démarche a permis d'identifier trois facteurs dont la gestion dans le collectif pèse fortement sur la capacité à contrôler les risques de flux de gènes et de mélanges entre OGM et non OGM, surtout quand la part d'OGM dans la SAU de la culture s'étend : l'information sur la cartographie des assolements (et particulièrement l'emplacement des maïs OGM) ; la coordination verticale et horizontale de l'organisation temporelle des cycles culturaux et des récoltes, et l'apprentissage sur un horizon temporel interannuel du niveau de risque des comportements, que les acteurs contrôlent de mieux en mieux (Le Bail *et al.*, 2009).

Cette approche nous a finalement permis de proposer des scénarios contrastés, combinant des niveaux de risques et des pratiques de gestion individuelles et collectives de ces risques, à la réflexion de partenaires régionaux ou impliqués dans la réflexion sur les réglementations nationales (Figure 3).



**Figure 3.** Scénarios de gestion de la coexistence maïs GM / maïs conventionnels en fonction du risque de pollinisation croisée, du niveau d'information, de coordination et d'apprentissage des acteurs (d'après Le Bail et al., 2009; Lécroart et Le Bail, 2007).

Le scénario 1 ne suppose pas de mesures particulières hormis de séparer les lots en provenance des parcelles semées dans les deux types de maïs et de s'assurer de la pureté des semences d'origine; le scénario 2 suppose des mesures post-récolte pour s'assurer du seuil de pureté de maïs conventionnel visé (écarter les petites parcelles ou les rangs les plus proches des parcelles OGM par exemple); le scénario 3 suppose des mesures préventives (prévoir des rangs de maïs non OGM autour d'une parcelle OGM, choisir les emplacements de parcelles conventionnelles et OGM les unes par rapport aux autres, décaler les floraisons, etc.); le scénario 4 ne permet plus la coexistence.

L'apprentissage permet progressivement de mieux identifier les situations à risques d'une année sur l'autre et d'adapter plus étroitement les mesures. La coordination entre acteurs est indispensable pour accroître l'efficacité des mesures préventives jusqu'au moment où les coûts de cette coordination ne sont plus supportables par les acteurs.

Scenario 1 does not imply particular measures except separating the batches coming from the fields sown in the two types of corn and making sure of the purity of the seeds sown; scenario 2 implies post-harvest measurements to make sure of the purity threshold of conventional corn (to draw aside the crops of small fields or the crops of rows closest to GMO fields for example); scenario 3 implies preventive measures (to anticipate non GMO corn rows around a GMO field, to choose the sites for conventional and GMO fields, to shift flowerings periods, etc); scenario 4 does not allow the coexistence anymore. The training gradually makes it possible to better identify the situations with cross pollination risks and to adapt measures more precisely. Coordination between stakeholders is essential to increase the effectiveness of the preventive measures up to when the costs of this coordination are not bearable by the actors anymore.

## Quelles orientations pour la conception ou l'évaluation d'innovations ces approches permettent-elles? Quelles sont leurs limites?

Nous avons proposé un cadre de représentation d'un système local d'approvisionnement fondé sur trois niveaux emboîtés et des dispositifs intégrant une modélisation plus ou moins spatialisée des phénomènes, une représentation des règles de décision des agriculteurs et des modes de coordination entre acteurs, incluant éventuellement des modèles numérisés tels que Magi®. Ce cadre permet de discuter des marges de manœuvre que les acteurs peuvent trouver à l'échelle d'un bassin face aux questions que posent le fonctionnement des composantes physiques et agricoles des paysages et, au-delà, des leviers de maîtrise individuelle et collective mobilisable ou acceptable par chacun à l'aune de ses objectifs, ressources et compétences propres. Aborder les questions de production à l'échelle des bassins d'approvisionnement permet de :

- Mieux prendre en compte les interdépendances et prescriptions croisées entre acteurs au sein de ce territoire ;
- Identifier des leviers d'action à d'autres échelles que les exploitations agricoles ou les entreprises agro-industrielles, accroissant les marges de manœuvre en particulier par une meilleure gestion des ressources rares ;
- Élaborer des dispositifs de conception participative, comprenant à la fois des outils d'analyse et des outils d'aide à la réflexion prospective ;
- Dépasser les logiques propres des parties prenantes pour aller vers des formes d'actions collectives contribuant à résoudre les problèmes, en dégagant des voies d'augmentation de la valeur produite par un bassin d'approvisionnement et des modes de gestion économes des ressources de production ;
- Prendre en compte la diversité des exploitations sous un angle à la fois explicite (typologies) et positif (s'appuyer sur la diversité pour créer de la valeur) ;
- Mobiliser les connaissances agronomiques 'plante' et 'parcelle' à des échelles plus larges, tout en mesurant les déficits de connaissance liés à ces changements d'échelle.

Ce point de vue pose la question, à résoudre au cas par cas, de savoir où et par qui (i) sont formulés les objectifs du système intégrant l'ensemble des acteurs et (ii) choisies les solutions. Ce n'est pas toujours l'utilisateur des récoltes qui fixe l'ensemble des règles. Elles résultent de processus d'apprentissage mutuel et de négociation, conduits parfois au sein de collectifs explicites où sont représentées les parties prenantes et qui fixent les objectifs et décident des solutions, parfois dans des configurations plus informelles. Dans tous les cas, des tensions, des conflits et des rapports de pouvoir sont aussi en jeu. Cette question de la « gouvernance » des bassins d'approvisionnement est donc stratégique.

Elle l'est d'autant plus que le territoire concerné recoupe des territoires, théâtres d'autres activités : bassins d'approvisionnement d'autres filières, bassin de ruissellement érosif, zone de captage d'eau potable, interfaces ville-campagne. La superposition de ces analyses de « bassins » aux fonctions diverses (alimentaires, environnementales, énergétiques, etc.) serait un pas de plus vers une analyse nécessairement interdisciplinaire des conditions de développement durable des territoires. Cette montée du niveau de complexité ne doit cependant pas se faire au prix d'un déficit opérationnel. L'intégration toujours plus large de composantes du système territorial doit s'accompagner à nos yeux d'une capacité à fournir aux acteurs les éléments de réflexion et d'information prospective qui leur permettront d'agir en meilleure connaissance de cause.

## Remerciements

Les auteurs remercient Jacques Caneill et Guy Trébuil pour leur relecture fine de cet article.

## Bibliographie

Angevin, F., Colbach, N., Meynard, J. M., and Roturier, C., 2002. Analysis of necessary adjustments of farming practices. In "Scenarios for co-existence of genetically modified, conventional and organic crops in European agriculture" (IPTS, ed.), pp. 128. European Commission, Brussels.

Angevin, F., Klein, E. K., Choimet, C., Gauffreteau, A., Lavigne, C., Messean, A., and Meynard, J. M. 2008. Modelling impacts of cropping systems and climate on maize cross-pollination in agricultural landscapes: the MAPOD model. *European Journal of Agronomy* **28**, 471-484.

Aubry, C., Galan, M. B., and Maze, A., 2005. HACCP methodology and quality/environmental specifications for crop farms. Implications for the design of good agricultural practices guidelines. *Cahiers Agricultures* **14**, 313-322.

Aubry, C., Paillat, J. M., and Guerrin, F., 2006. A conceptual representation of animal waste management at the farm scale: the case of the Reunion Island. *Agricultural Systems* **88**, 294-315.

Aubry, C., Papy, F., and Capillon, A. 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems* **56**, 45-65.

Audsley, E., and Annetts, J. E., 2003. Modelling the value of a rural biorefinery - Part I: The model description. *Agricultural Systems* **76**.

Beckie, H. J., and Hall, L. M., 2008. Simple to complex: Modelling crop pollen-mediated gene flow. *Plant Science* **175**, 615-628.

Capillon, A., and Valceschini, E., 1998. La coordination entre exploitations agricoles et entreprises agro-alimentaires : un exemple dans le secteur des légumes transformés. *Etud. Rech. Syst. Agraires* **31**, 259-275.

Carberry, P. S., Hochman, Z., McCown, R. L., Dalgliesh, N. P., Foale, M. A., Poulton, P. L., Hargreaves, J. N. G., Hargreaves, D. M. G., Cawthray, S., Hillcoat, N., and Robertson, M. J., 2002. The FARMSCAPE approach to decision support: farmers', advisers', researchers' monitoring, simulation, communication and performance evaluation. **74**.

Chatelin, M. H., Aubry, C., Poussin, J. C., Meynard, J. M., Masse, J., Verjux, N., Gate, P., and Bris, X. I. (2005). DeciBLE, a software package for wheat crop management simulation. *Agricultural Systems* **83**, 77-99.

Cheeroo-Nayamuth, F. C., Robertson, M. J., Wegener, M. K., and Nayamuth, A. R. H., 2000. Using a simulation model to assess potential and attainable sugar cane yield in Mauritius. *Field Crops Research* **66**.

Colbach, N., Fargue, A., Sausse, C., and Angevin, F., 2005. Evaluation and use of a spatio-temporal model of cropping system effects on gene escape from transgenic oilseed rape varieties: example of the GeneSys model applied to three co-existing herbicide tolerance transgenes. *European Journal of Agronomy* **22**, 417-440.

Coleno, F. C., 2008. Simulation and evaluation of GM and non-GM segregation management strategies among European grain merchants. *Journal of Food Engineering* **88**, 306-314.

Coleno, F. C., Angevin, F., and Lecroart, B., 2009. A model to evaluate the consequences of GM and non-GM segregation scenarios on GM crop placement in the landscape and cross-pollination risk management. *Agricultural Systems* **101**, 49-56.

Collange, B., Navarrete, M., Peyre, G., Mateille, T., and Tchamitchian, M., 2011. Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. *Crop Protection* **30**, 1251-1262.

- Demont, M., Daems, W., Dillen, K., Mathijs, E., Sausse, C., and Tollens, E., 2008. Regulating coexistence in Europe: Beware of the domino-effect! *Ecological Economics* **64**, 683.
- Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., and Roger Estrade, J., eds., 2006. "L'agronomie aujourd'hui." Quae - INA-PG, Paris.
- Dore, T., Clermont-Dauphin, C., Crozat, Y., David, C., Jeuffroy, M. H., Loyce, C., Makowski, D., Malezieux, E., Meynard, J. M., and Valantin-Morison, M., 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for sustainable development* **28**, 151-161.
- Fauconnier, R., 1991. La canne à sucre. Paris, Maisonneuve et Larose.
- Gaucher S., Le Gal P.-Y., Soler L.-G., 2004. Modelling supply chain management in the sugar industry. *Sugar Cane International*, 22(2) : 8-16.
- Gaucher, S., 2002. Organisation de filières et politiques d'approvisionnement. Analyse appliquée au cas des filières agro-alimentaires. Thèse en ingénierie et gestion. Paris, École des mines de Paris.
- Higgins, A., Antony, G., Sandell, G., Davies, I., Prestwidge, D., and Andrew, B. , 2004. A framework for integrating a complex harvesting and transport system for sugar production. *Agricultural Systems* **82**, 99-115.
- Langellier, P., Martiné, J.F., 2007. Crop modelling assessment of the potential regional irrigated sugarcane production increase. *Sugar Cane Int* 25, 8-12.
- Laurent, C., and Thinon, P., 2005. *Agricultures et territoires*, Lavoisier, Paris.
- Le Bail, M., 2005. Chapitre 12 : Gestion spatiale de la qualité des produits végétaux : approche agronomique. In : *Agricultures et territoires* (C. Laurent and P. Thinon, eds.). Hermès, Paris.
- Le Bail, M., and Makowski, D., 2004. A model based approach for optimizing segregation of soft wheat in country elevators. *European Journal of Agronomy* **21**, 171-180.
- Le Bail, M., and Valceschini, E., 2004. Efficacité et organisation de la séparation OGM/non OGM. *Economie et Société série "systèmes agroalimentaires"* **26**, 489-505.
- Le Bail, M., Lécroart, B., Gauffreteau, A., Angevin, F., and Messean, A., 2010. Effect of the structural variables of landscapes on the risks of spatial dissemination between GM and non-GM maize. *European Journal of Agronomy* **33**, 12-23.
- Le Bail, M., Lécroart, B., Rémy, B., and Sausse, C., 2009. Playing games to design GM/non GM coexistence scenarios. In "Farming Systems Design Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems August 23-26 2009 - ", pp. 287-288, Monterey, CA, USA.
- Le Bail, M., and Meynard, J.-M., 2003. Yield and protein concentration of spring malting barley: the effects of cropping systems in the Paris Basing (France). *Agronomie* **23**, 13-27.
- Le Gal P.-Y., Le Masson J., Bezuidenhout C.N., Lagrange L.F., 2009. Coupled modelling of sugarcane supply planning and logistics as a management tool. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68, 168-177.
- Le Gal P.-Y., Lyne P.W.L., Meyer E., Soler L.-G., 2008. Impact of sugarcane supply scheduling on mill sugar production: a South African case study. *Agricultural Systems*, 96(1-3) : 64-74.
- Le Gal P.-Y., Papaïconomou H., Meyer E., Lyne P., 2005. Combined impact of alternative relative cane payment systems and harvest scheduling on growers' revenues. *Proceedings South African Sugar Technologists Association* 79, 416-427.
- Lécroart, B., and Le Bail, M., 2007. Final reports on the coherent scenarios for the management of coexistence and rescue scenarios - Asace Maize. In "SIGMEA : Sustainable Introduction of GM crops into European Agriculture - WP7 : Elaboration of scenarios ", Vol. D 7.4 & D7.5, pp. 5-49. SIGMEA - STREP program N° 501986.
- Leenhardt, D., Angevin, F., Biarnes, A., Colbach, N., and Mignolet, C., 2010. Describing and locating cropping systems on a regional scale. A review. *Agronomy for sustainable development* **30**, 131-138.
- Lejars C., Le Gal P.-Y., Auzoux S., 2008. A decision support approach for cane supply management within a sugar mill area. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60, 239-249.
- Lejars, C., Auzoux, S., Siegmund, B., Letourmy, P., 2010. Implementing sugarcane quality-based payment systems using a decision support system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70, 225-233.
- Makowski, D., Le Bail, M., Barbottin, A., Jeuffroy, M.-H., Barrier, C., Bouchard, C., and Pasquier, C., 2009. Chapitre 3. Utilisation de modèles pour prédire la qualité du blé. In "Concevoir et construire la décision : Démarches en agriculture, agroalimentaire et espace rural" (B. H. Elisabeth de Turckheim, Antoine Messéan, coord., ed.). Quae - Inra, Paris.
- Messéan, A., Angevin, F., Gómez-Barbero, M., Menrad, K., and Rodríguez-Cerezo, E., 2006. "New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture (Eur 22102 EN)," Rep. No. Eur 22102 EN.
- Messéan, A., Squire, G. R., Perry, J. N., Angevin, F., Gomez, M., Townend, P., Sausse, C., Breckling, B., Langrell, S., Dzeroski, S., and Sweet, J., 2009. Sustainable introduction of GM crops into european agriculture: a summary report of the FP6 SIGMEA research project. *OCL* **16**, 37-51.
- Meynard, J.-M., and Le Bail, M., 2001. "Isolement des collectes et maîtrise des disséminations au champ." Programme de recherche "Pertinence économique et faisabilité d'une filière sans utilisation d'OGM" - INRA, INP, FNSEA, ACTA, Paris.
- Mignolet, C., Schott, C., and Benoît, M. (2007). Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Science of The Total Environment* **375**, 13-32.
- Navarrete, M., and Le Bail, M., 2007. SALADPLAN: a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping. *Agronomy for sustainable development* **27**, 209-221.

Navarrete, M., Le Bail, M., Papy, F., Bressoud, F., and Tordjman, S., 2006. Combining leeway on farm and supply basin scales to promote technical innovations in lettuce production. *Agronomy for sustainable development* **26**, 77-87.

Ploeg, J. D. v. d., Laurent, C., Blondeau, F., and Bonnafous, P., 2009. Farm diversity, classification schemes and multifunctionality. *Journal of Environmental Management* **90**, S124-S131.

Rossing, W. A. H., Meynard, J. M., and Ittersum, M. K. v., 1997. Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *European Journal of Agronomy* **7**.

Singels, A., Donaldson, R.A., Smit, M.A., 2005. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. *Field Crop Research* **92**, 291-303.

Tordjman, S., Navarrete, M., and F., P., 2005. Les formes de coordination technique entre une structure de première mise en marché et ses fournisseurs : le cas de la salade en Roussillon. *Cahiers Agricultures* **14**, 479-84.

Way, M.J., Goebel, F.R., 2003. Patterns of damage from *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in the South African sugar industry. *Proc S Afr Sug Technol Ass* **77**, 239-240.