

# Agronomie et conception de systèmes de production innovants: concepts, démarches et outils

**Le Gal P.-Y.**

*CIRAD, UMR Innovation, Montpellier, F - 34398 France – pierre-yves.le\_gal@cirad.fr*

## Introduction

L'agriculture mondiale est confrontée à des enjeux dont l'importance va aller en grandissant avec l'augmentation de la population mondiale et les conséquences du changement climatique. Nourrir 9,5 milliards d'individus en 2050 va nécessiter une augmentation significative de la production agricole, qu'elle soit végétale ou animale (World Bank, 2007). Cette augmentation devra bénéficier à tous, notamment aux plus démunis, fournir des produits de bonne qualité sanitaire et gustative et respecter l'environnement naturel, alors que les ressources, tant en terre, eau et énergie, se font plus rares (Vance, 2001; Leng, 2008). Dans ce contexte potentiellement conflictuel, comme l'ont souligné les « émeutes de la faim » en 2008, la recherche doit contribuer à la conception de systèmes agricoles innovants (Meynard et al., 2006), susceptibles d'atteindre ces objectifs de production tout en étant appropriables par des agriculteurs se distinguant par leurs contextes d'action (environnement, ressources mobilisables), leurs objectifs et leurs pratiques.

L'agronomie, en tant que discipline scientifique s'intéressant au champ cultivé et à la manière dont l'agriculteur gère sa conduite, se trouve en première ligne pour affronter ces défis (Doré et al., 2006). Si les concepts forgés dans les années 60s et 70s, notamment par M. Sebillotte et son équipe, conservent toute leur validité, ils doivent être mobilisés pour répondre à de nouveaux objectifs et prendre en compte les avancées obtenues dans d'autres domaines scientifiques, par exemple en modélisation. Ces concepts se sont accompagnés avec le temps d'une structuration de la discipline en trois grands « métiers » (Sebillotte, 2005) correspondant à trois échelles d'intervention de l'agronome, à savoir la parcelle, l'exploitation agricole et le territoire.

Ce glissement du champ cultivé vers des entités organisationnelles où l'agriculteur, individuel ou en interaction avec d'autres acteurs, tient une place centrale, soulève des questions méthodologiques qui concernent tant la gestion de systèmes de production existants que la conception de systèmes innovants. Cette communication fournit quelques réflexions sur les concepts (section 1), les démarches (section 2) et les outils (section 3) mobilisables par l'agronome soucieux d'accompagner les agriculteurs dans leurs processus d'innovation au niveau de leur exploitation ou d'ensembles englobants. Les exemples utilisés pour illustrer le propos concernent la gestion d'exploitations laitières dans le bassin de collecte laitier localisé sur le périmètre irrigué au Tadla (Maroc) et l'organisation de l'approvisionnement de sucreries de canne en Afrique du Sud.

## 1. Les concepts

### 1.1. De la parcelle à l'exploitation agricole

L'agronomie moderne s'est construite autour de deux axes de questionnement, à savoir (i) l'étude du fonctionnement du peuplement cultivé (relations climat-sol-plante) et (ii) l'étude

de l'action de l'homme sur le champ cultivé à travers les techniques mises en œuvre. Ces deux axes ont en commun le fait d'aborder la parcelle et sa gestion comme un système complexe, dont les performances agronomiques dépendent de la combinaison d'éléments et de leurs interactions dans le temps et l'espace. Cette posture est à l'origine des concepts d'itinéraire technique (Sebillotte, 1978) et de système de culture (Sebillotte, 1990) utilisés pour analyser le fonctionnement et les performances du champ cultivé (fonction de diagnostic) et pour concevoir des systèmes innovants répondant à de nouvelles contraintes ou de nouveaux objectifs, basés sur l'introduction d'inventions techniques conçus par la Recherche ou d'innovations conçus par les agriculteurs eux-mêmes.

Ces deux concepts sont d'abord mis en œuvre à la parcelle. Prendre en compte l'action de l'homme amène à distinguer le concept de technique, intervention dont les caractéristiques sont normées par la Recherche ou le Développement, du concept de pratique culturale, manière d'agir des agriculteurs dans leur contexte d'action spécifique (Milleville, 1987). Cette distinction ouvre sur l'étude des pratiques et de leur diversité au sein d'un même territoire agricole, qui entraîne des impacts variés sur les rendements des cultures. Les déterminants des pratiques sont analysés non plus à l'échelle parcelle mais à celle de l'exploitation agricole, niveau où l'agriculteur va concevoir et gérer son système de production en fonction de ses objectifs et stratégies. Le système de production est ici entendu au sens industriel, comme la combinaison d'activités productives à laquelle sont allouées les ressources disponibles au sein, ou acquises hors, de l'exploitation (Giard, 1988).

L'agronome s'intéresse alors à la manière dont l'agriculteur choisit et gère les composantes techniques de son système de production telles que les choix d'assolement et de rotations (Maxime et al., 1995), l'organisation du travail (Papy et al., 1988) ou la conduite de la sole d'une culture (Aubry et al., 1998, pour le blé d'hiver dans le bassin parisien). Ces travaux se fondent pour beaucoup sur le concept de modèle d'action, forgé par Sebillotte et Soler (1990) pour décrire la manière dont l'agriculteur planifie ses interventions dans le temps et dans l'espace de son exploitation agricole, sur la base d'un ensemble de règles descriptives de ses processus de décision. Mobilisés par l'agronome s'intéressant à la gestion technique des exploitations agricoles (Aubry, 2007), ces concepts permettent de représenter au mieux la façon dont l'agriculteur planifie et pilote concrètement ses interventions techniques, dont les enchaînements détermineront in fine ses rendements en relation avec la dynamique du milieu à la parcelle. Conçus initialement sur des exploitations de grande culture en milieu tempéré, ces concepts se sont avérés pertinents sur un ensemble de systèmes de production: gestion de la sole cotonnière au Cameroun (Dounias et al., 2002), organisation du travail en riziculture irriguée au Sénégal et en Camargue (Le Gal, 1997), irrigation du maïs dans l'ouest de la France (Labbé et al., 2000) ou conduite du pâturage dans des exploitations de polyculture-élevage (Cros et al., 2004).

## **1.2. De l'exploitation agricole aux échelles territoriales supérieures**

L'insertion des exploitations agricoles dans des entités plus vastes telles que les bassins d'approvisionnement des filières agro-alimentaires, les périmètres irrigués, les bassins versants ou les territoires villageois, est un phénomène général lié à plusieurs processus: exigences accrues des opérateurs aval vis-à-vis des matières premières agricoles collectées auprès des producteurs, tant en quantités, qualités que calendriers de livraison (Le Bail, 2005); nécessité de partager des ressources et infrastructures collectives lorsque l'atomisation des structures de production ne permet pas à chaque exploitation d'y accéder directement, comme sur les périmètres irrigués (Le Gal, 2002); interactions entre exploitations autour d'une ressource telle que l'eau sur les bassins versants (Joannon et al., 2006) ou les ressources fourragères sur les territoires agro-pastoraux (Dugué et al., 2004), avec des tensions possibles sur son usage et des impacts sur sa qualité.

Dans ces situations, la gestion multi-acteurs des ressources conduit à concevoir et mettre en

place des processus de coordination entre entités de gestion afin de dépasser la problématique bien connue de la tragédie des communs, où les ressources en accès libre se dégradent progressivement faute de régulation dans leurs usages (Hardin, 1968). Lorsqu'un coordinateur central existe, comme dans les bassins d'approvisionnement agro-industriels ou les périmètres irrigués, les interactions entre acteurs relèvent des relations entre clients et fournisseurs s'échangeant des ressources matérielles (eau, matière première agricole), financières (paiement de l'eau et des matières agricoles) et d'information liées à ces transactions physiques. Le concept de supply chain (Beamon, 1998) permet d'analyser ces relations dans des dimensions relevant de disciplines différentes. Ainsi l'agronome et le zootechnicien étudient la gestion des flux de matière première agricole, l'hydraulicien la gestion des flux d'eau, le gestionnaire la configuration des organisations nécessaires pour réguler ces flux, l'économiste les outils incitatifs orientant les comportements des agriculteurs, la sociologie les relations entre acteurs au sein de la chaîne.

A titre d'exemple, l'analyse agronomique d'un bassin d'approvisionnement sucrier (Le Gal et al., 2004) s'intéresse, d'une part, à la dynamique de la qualité de la canne dans l'espace du bassin et le temps de la campagne de récolte, d'autre part aux dispositifs de coordination mis en place par la sucrerie pour réguler les livraisons de canne afin de maximiser son approvisionnement en fonction de ses capacités journalières de broyage. On montre l'existence de règles formelles d'allocation des droits individuels à livrer, passant par une phase de planification avant le démarrage de la campagne. Le cas le plus fréquent consiste à allouer à chaque exploitation une quantité hebdomadaire de canne à livrer, fonction de sa production totale espérée et de la durée de la campagne. Ces quantités sont ensuite ajustées en fonction des aléas rencontrés en cours de campagne. Ces règles ont une incidence à la fois sur l'organisation de la récolte à l'échelle individuelle (capacités des équipements et de la main-d'œuvre, choix des parcelles à couper, organisation des chantiers de coupe, chargement et transport), et sur le sucre produit à l'échelle du bassin en fonction de la qualité de la canne coupée et livrée une semaine donnée.

Sur les périmètres irrigués, l'utilisation du concept de supply chain permet de combiner dans une même approche la relation entre gestionnaire du périmètre et agriculteurs pour la distribution de l'eau et les relations entre agriculteurs et opérateurs aval entrant en compétition pour l'utilisation de l'eau via les choix d'assolement et de production des exploitations (Le Gal et al., 2007). Cette approche systémique permet à l'agronome, d'une part, d'identifier les objectifs que fixent leur environnement aux exploitations agricoles, par exemple économiser l'eau ou augmenter la production de lait par vache sur le périmètre du Tadla au Maroc, d'autre part, de définir les fonctions de production et les leviers d'action envisageables pour augmenter la valeur produite par l'ensemble du périmètre, qu'ils se situent aux interfaces entre les exploitations et les autres acteurs ou au sein des exploitations agricoles elles-mêmes (Figure 1).

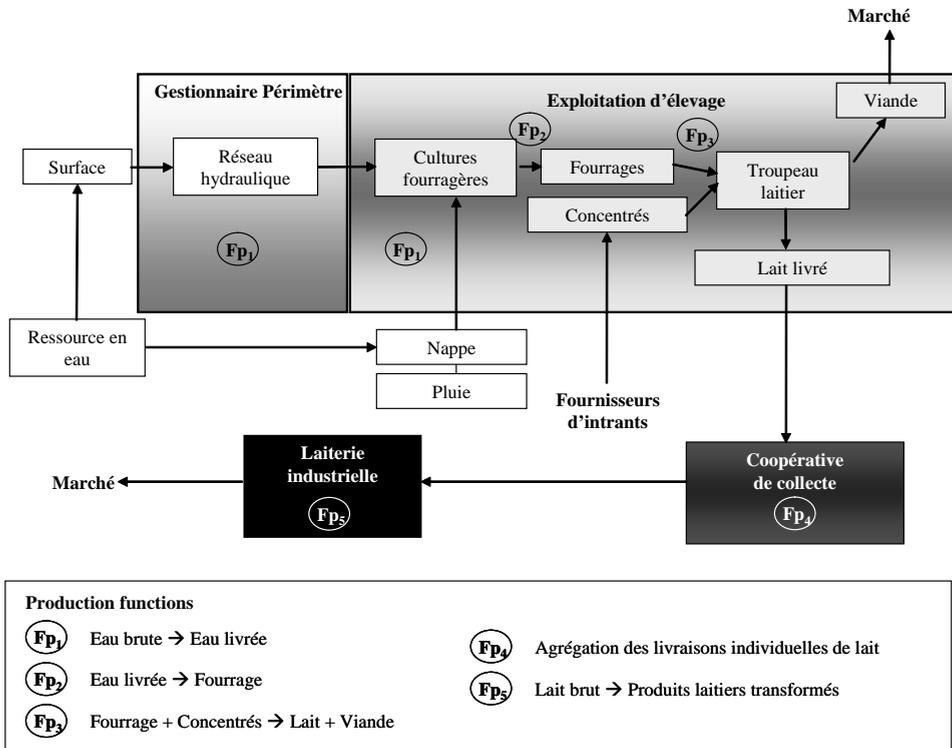


Figure 1: Représentation schématique de la chaîne d'approvisionnement du bassin de collecte laitier du Tadla, Maroc (d'après Le Gal et al., 2009a)

## 2. Postures et démarches de l'agronome « exploitation agricole et territoire »

L'agronome s'intéressant aux comportements techniques des agriculteurs doit de facto confronter ses savoirs avec ceux des agriculteurs, dont les objectifs, les logiques et les connaissances diffèrent des siennes et sont éminemment variables d'un individu à l'autre, comme le soulignait M. Sebillotte dans un article fondateur de la discipline (Sebillotte, 1974). La construction de cette relation, ne serait-ce que d'observation, nécessite le passage à des démarches participatives, aujourd'hui très en vogue dans de nombreuses disciplines au-delà des seules sciences sociales (Lavigne-Delville et al., 2000). Ces démarches prennent des formes diverses selon le degré d'implication des agriculteurs dans le processus d'interaction, depuis la fourniture d'information jusqu'à la co-conception et la mise en œuvre de plans d'action (Pretty, 1994).

La première étape de la démarche consiste à analyser des situations réelles d'exploitations agricoles ou de territoires, choisies pour leur intérêt par rapport à la question étudiée et pour la qualité de la relation avec les acteurs. Elle mobilise les concepts exposés dans la section précédente sur une diversité de contextes, de manière à rendre générique les résultats trouvés. Cette étape permet éventuellement d'identifier des manques de connaissances biotechniques qui représentent autant de questions à soumettre aux agronomes des systèmes de culture. Mais cette posture analytique ne saurait suffire pour remplir les objectifs de la discipline qui se veut une science pour l'action, donc capable d'innover ou d'aider l'agriculteur à innover. Ce processus d'innovation est alimenté par les agronomes travaillant à la parcelle à travers les inventions techniques qu'ils produisent, de manière anciennement isolée mais de plus en plus

combinées sous la forme de systèmes de culture innovants répondant à différents objectifs et contraintes (Loyce et Wery, 2006).

Cette seconde étape s'avère cependant insuffisante pour s'inscrire dans une véritable dynamique d'innovation. Elle nécessite une troisième étape d'appropriation de ces inventions par les agriculteurs, processus complexe dans la mesure où l'agriculteur agit dans un univers dimensionné, celui de son exploitation, dans lequel il doit allouer des ressources limitées en terre, main-d'œuvre et équipement à des tâches en concurrence à un instant *t*. Ceci l'amène à définir et manipuler des entités de gestion différentes de la parcelle ou l'animal considérés par l'agronome et le zootechnicien dans leur production d'inventions. Par exemple, Aubry et al. (1998) montrent comment l'agriculteur allote ses parcelles dans les exploitations de grande culture et déclenche ses interventions techniques en fonction de l'état d'une parcelle-guide, elle-même représentative d'un lot donné. Ces différences de position expliquent pour une part les nombreux échecs rencontrés dans la diffusion des inventions de la Recherche dans le milieu agricole via les structures de conseil. De plus ce modèle descendant de la Recherche vers les agriculteurs ignore les dynamiques d'innovation propres aux agriculteurs, pourtant motrices dans certains domaines longtemps ignorés par la Recherche comme l'agriculture biologique ou les itinéraires techniques à base de semis direct (Goulet, 2008).

La relation partenariale entre agronomes et agriculteurs est donc incontournable dès lors qu'il s'agit d'innover à l'échelle du système de production ou d'entités collectives comme les bassins d'approvisionnement ou les périmètres irrigués. Dans ces derniers cas le partenariat s'étend à d'autres acteurs tels que les agro-industriels et les gestionnaires de périmètre, pour s'assurer que les objectifs, contraintes et marges de manoeuvre des uns et des autres sont bien pris en compte. Par exemple l'intervention conduite sur le bassin de collecte laitier du Tadla depuis 2005 a impliqué, au-delà des exploitations laitières, l'Office Régional de Mise en Valeur du Tadla, l'industriel et les coopératives de collecte (Sraïri et al., 2009a). Dans tous les cas l'objectif est d'accompagner les acteurs dans la conception de systèmes de production intégrant des changements par rapport à la situation initiale, en dépassant le processus d'essais-erreurs auxquels les agriculteurs ont le plus souvent recours lorsqu'ils introduisent des innovations dans leur système de production. En effet, ce processus est lent et risqué et s'avère peu adapté à un environnement naturel et économique mouvant. De plus il n'est pas toujours facile pour l'agriculteur d'imaginer, avant implémentation, les conséquences de l'introduction d'une innovation donnée sur son système de production. Ces deux points sont particulièrement sensibles pour des innovations de rupture, telles que l'introduction d'une nouvelle culture ou le passage à des systèmes de culture plus durables tels que l'agriculture biologique, qui vont toucher plusieurs composantes du système de production.

Ces démarches d'accompagnement ont une visée prospective où sont évaluées les conséquences de changements techniques ou organisationnels sur le fonctionnement et les performances des systèmes de production en place (McCown, 2002). Elles cherchent à répondre à des questions posées par les agriculteurs (ou des collectifs regroupant des représentants d'agriculteurs et d'autres acteurs) à un niveau stratégique (dimensionnement du système de production, investissements à réaliser) et tactique (planification des opérations sur l'année ou la saison de culture) plutôt qu'opérationnel (pilotage des opérations au jour le jour). A titre d'exemple les thèmes suivants ont été traités sur le bassin de collecte laitier du Tadla, à partir des trois objectifs de l'industriel, à savoir l'augmentation des volumes livrés, l'amélioration de la qualité du lait et la diminution de la saisonnalité des livraisons (Le Gal et al., 2009a, Sraïri et al., 2009a): dimensionnement des élevages laitiers (assolement fourrager, taille du troupeau), équilibre entre offre et demande alimentaire des troupeaux, processus de construction de la qualité du lait de l'étable à la laiterie, fonctionnement des coopératives de collecte. Dans un autre registre, l'intervention conduite sur un bassin d'approvisionnement sucrier en Afrique du Sud a porté sur la manière d'augmenter la production de sucre à l'échelle du bassin en modifiant les règles

d'allocation des droits à livrer des planteurs en fonction de la dynamique spatiale d'évolution de la qualité des cannes (Le Gal et al., 2008).

### 3. La modélisation: un outil nécessaire

Les outils classiques d'analyse et d'observation ne suffisent plus dès lors que l'objectif de l'agronome n'est plus seulement de porter un diagnostic sur une situation mais également d'aider l'agriculteur à concevoir un nouveau système de culture ou de production à une échelle dépassant la parcelle. Il faut alors imaginer différents scénarios alternatifs et en évaluer ex-ante, donc avant sélection et implémentation, les conséquences en termes techniques et économiques, voire selon les cas sociaux ou écologiques. S'agissant de systèmes complexes mettant en interaction de nombreux processus (et acteurs dans les contextes collectifs), la modélisation apparaît comme un outil puissant et nécessaire pour à la fois (i) représenter ces processus et interactions et les dynamiques qui y sont liées et (ii) quantifier les conséquences de changements sur le système étudié, de manière à comparer les scénarios envisagés sur des bases plus objectives que les seules perceptions qu'en ont les acteurs.

Le développement des technologies informatiques a considérablement ouvert le champ des possibles en matière de modélisation, rendant le paysage à la fois pléthorique et difficile à juger selon l'objectif poursuivi. Les modèles développés par les agronomes traitent d'abord des niveaux système de culture et parcelle avec une représentation essentiellement des processus biotechniques, par exemple pour définir des rotations satisfaisant un objectif donné (Dogliotti et al., 2004). Dans certains cas, ces modèles biotechniques sont associés à une représentation des décisions de l'agriculteur pour concevoir de nouveaux systèmes de culture (Keating et al, 2003), avec des applications techniques diverses: conduite du blé d'hiver (Chatelin et al., 2005), irrigation du maïs (Bergez et al., 2001) ou gestion du pâturage tournant (Cros et al., 2004). L'échelle du système de production et de l'exploitation agricole est plus rarement traitée, les expériences conduites sur l'organisation du travail avec le logiciel Otelo (Attonaty et al., 1993) ou la gestion de l'irrigation (Labbé et al., 2000) remontant maintenant à plusieurs années, sans qu'elles aient débouché sur des transferts pérennes aux structures de conseil chargés d'accompagner les agriculteurs malgré des efforts notables faits en ce sens (Chatelin et al., 1994).

L'objectif d'accompagnement représente en effet une contrainte majeure dans la conception du modèle dès lors qu'il doit être utilisé par des acteurs autres que chercheurs. Dans ce cas les applications développées doivent se baser sur une représentation du système étudié intelligible et transparente pour les agriculteurs (Cox, 1996). La pertinence des simplifications du réel adoptées tient dans la capacité du modèle à aider les acteurs à réfléchir sur le problème posé, les solutions possibles et leurs conséquences sur leurs systèmes de production. A cet égard les techniques de modélisation couramment utilisées par les chercheurs à l'échelle de l'exploitation agricole soulèvent de nombreux problèmes. Ainsi les techniques d'optimisation telles que la programmation linéaire, à la base des modèles bioéconomiques (Janssen et van Ittersum, 2007), sont fondées sur des hypothèses fortes de rationalité des agriculteurs éloignées des réalités de terrain. S'ils peuvent suffire pour éclairer des décisions de politique agricole appliquée à des échelles méso- et macro-économiques, leur inefficacité en matière de conseil aux exploitations agricoles a été démontrée de longue date (Attonaty et al., 1999). Les modèles à base de règles tels que Otelo s'avèrent très performants pour représenter les modalités de gestion des agriculteurs. Mais ils supposent, pour être applicables à un grand nombre de cas, le développement d'un langage dédié dont la formalisation et l'utilisation s'avèrent ardues.

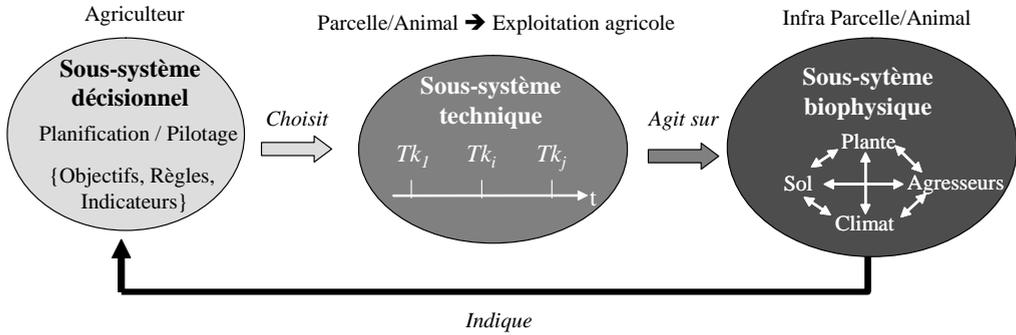
Une direction possible pour pallier ces difficultés consiste à focaliser la modélisation sur les flux physiques gérés par les acteurs, en éliminant ou réduisant la représentation des règles à des équations simples. Ces modèles présentent plusieurs avantages: ils sont facilement compréhensibles par les agriculteurs et leurs conseillers car leur structure reproduit de manière

relativement fidèle les processus de gestion auxquels ils font référence; tant leurs variables d'entrée et de sortie que les calculs au sein du modèle sont aisément explicables et interprétables; ils sont rapidement développables avec des outils informatique standards tels qu'un tableur. Leur ergonomie est variable selon que l'on en reste à l'application tableur, relativement rigide du fait des caractéristiques de ces outils, ou que l'on passe à des applications combinant gestionnaire de base de données et langage de programmation pour les calculs.

Deux exemples illustrent cette orientation. Le premier concerne le logiciel Magi® conçu pour aider industriels et planteurs à réfléchir à de nouvelles formes d'organisation des flux de canne approvisionnant une sucrerie (Lejars et al., 2008). Ce logiciel permet de caractériser la structure des flux au sein du bassin d'approvisionnement (type d'acteurs, caractéristiques par acteur, depuis les exploitations agricoles jusqu'à l'usine), les règles d'allocation des droits à livrer et les courbes de qualité de la canne par exploitation, avec leurs conséquences sur la production totale de sucre produite par campagne. Ce logiciel a été utilisé sur des bassins canniers en Afrique du Sud et à La Réunion pour étudier différents modes de répartition des droits à livrer tenant mieux compte des différentiels de qualité entre zones de production au sein d'un même bassin (Le Gal et al., 2008). Téléchargeable sur internet (<http://agri-logistique.cirad.fr>), il a bénéficié d'un investissement ergonomique suffisant pour assurer sa prise en main et sa transférabilité à des conseillers.

Une application sur tableur destinée à aider des éleveurs laitiers dans leurs choix stratégiques de dimensionnement de leurs élevages, d'assolement fourrager et d'équilibre entre offre et demande alimentaire du troupeau, a été développée dans le même esprit. Elle permet de calculer la production mensuelle de lait et annuelle de viande correspondant à une stratégie et un mode de fonctionnement donnés. Elle est structurée autour de quatre modules (Le Gal et al., 2009a): le premier récapitule les caractéristiques agronomiques et zootechniques nécessaires aux calculs de transformation de l'offre alimentaire en lait et viande; le second décrit l'offre en fourrage de l'exploitation (assolement fourrager, itinéraires techniques et rendements par culture fourragère); le troisième décrit la structure du troupeau et son mode de conduite (allotement, reproduction); le quatrième spécifie les rations adoptées par l'éleveur par mois et par lot d'animaux. Les quatre modules fonctionnent indépendamment, à savoir que (i) les rations choisies permettent de calculer les productions, (ii) elles sont comparées à la demande du troupeau, fonction de l'objectif de production fixé par l'éleveur, pour évaluer le degré de couverture de la demande, et comparées (iii) à l'offre en fourrage pour évaluer les quantités à acheter à l'extérieur de l'exploitation. Cet outil a été utilisé avec un technicien rémunéré par une coopérative de collecte, auprès d'un échantillon d'éleveurs en cours d'évolution de leur système de production. Il a notamment permis de tester les impacts de différents systèmes fourragers sur le revenu de l'éleveur et la valorisation de l'eau d'irrigation (Sraïri et al., 2009b).

S'ils s'avèrent faciles d'utilisation et de compréhension, ces outils se basent sur une représentation souvent très simplifiée des processus biotechniques. L'enjeu serait maintenant de les coupler à des modèles biotechniques, selon le schéma proposé par Le Gal et al., 2009b qui propose d'articuler les trois sous-systèmes biophysique, technique et décisionnel composant un système de production (Figure 2). Si l'idée semble a priori séduisante intellectuellement, sa mise en œuvre opérationnelle dans un souci d'accompagnement des agriculteurs et selon les principes énoncés ci-dessus, reste à expérimenter. Elle devra, qui plus est, se conduire dans un souci de démarche partenariale plus fréquemment expérimentée pour la gestion des ressources renouvelables (Barreteau et al., 2007) que la gestion de la production agricole.



**Figure 2: Représentation schématique des relations entre les trois sous-systèmes constitutifs du système de production (d'après Le Gal et al, 2009b)**

#### 4. Conclusion

Les récentes crises alimentaires dans les pays du Sud et les exigences environnementales de plus en plus fortes vis-à-vis du secteur agricole redonnent à l'agronomie une légitimité et une importance socio-économique qu'elle avait quelque peu perdus, et même dépassés, les objectifs productivistes des années 60s, au moins dans les pays du Nord. Son projet scientifique lui permet de traiter un ensemble de questions touchant à la production agricole à différentes échelles, dans une double perspective analytique et prospective en ligne avec son caractère opérationnel. Comme par le passé, ses résultats tant techniques que méthodologiques doivent répondre aux demandes des Sociétés tout en étant actionnables par les publics visés, qu'ils soient directement les agriculteurs ou leurs conseillers.

Ce projet ne peut se mettre en œuvre sans interactions fortes avec d'autres disciplines scientifiques. De ce point de vue, l'agronomie, comme d'autres sciences de l'ingénieur telles que la zootechnie et l'hydraulique agricole, occupe une place spécifique, à l'interface entre les sciences biophysiques et les sciences humaines. D'une part, l'étude des processus biotechniques fait de plus en plus appel à des concepts et connaissances issus de l'écologie et de l'écophysiologie (Malézieux, 2008). D'autre part, la gestion technique des exploitations agricoles amène l'agronome à dialoguer avec l'économiste, le gestionnaire ou le géographe. L'étude de processus collectifs comme la gestion de bassins d'approvisionnement, de périmètres irrigués ou de bassins versants, rend ce dialogue d'autant plus fructueux et nécessaire. Mais les agronomes doivent également savoir travailler ensemble entre échelles d'intervention, de même qu'avec leurs collègues zootechniciens ou hydrauliciens dès lors que les systèmes de production étudiés associent diverses formes de mise en valeur du milieu (exploitations de polyculture-élevage, exploitations irriguées par exemple).

Dans ce projet renouvelé par les questions qui lui sont posées et par ses liens avec les autres disciplines, l'agronome a de plus en plus recours à la modélisation. Cet outil s'avère puissant et précieux pour organiser les connaissances sur des systèmes complexes, les relier entre elles et explorer l'inconnu. Ceci étant les cahiers des charges fixant les principes de conception et de développement de ces modèles doivent être clairement explicités en fonction des objectifs qu'on leur fixe. La distinction entre outils destinés à un usage d'abord scientifique et ceux destinés à accompagner les agriculteurs dans leurs dynamiques d'innovation mérite d'être approfondie car elle conditionne les orientations prises en matière non seulement de choix de modélisation, mais également de dispositif partenarial. Dans le deuxième cas, la participation

pleine et entière des agriculteurs et de leurs dispositifs de conseil doit être recherchée pour s'assurer de la pertinence des choix qui seront faits. Les liens avec les modèles biotechniques sont alors à préciser dans la mesure où la nature des données et des connaissances disponibles sur un site donné peut différer largement des besoins de ces modèles.

Cette évolution de la discipline agronomique face à des enjeux stratégiques pour l'avenir de la planète nécessitera de former de jeunes agronomes à même d'embrasser ces différentes facettes, depuis la mise au point de systèmes de culture plus respectueux de l'environnement tout en étant au minimum aussi productifs jusqu'à l'accompagnement nécessaire de la mutation des exploitations agricoles. Cela suppose de rendre les formations agronomiques attractives dans un contexte de compétition entre filières d'enseignement. Voici un autre volet de l'agronomie, faisant appel aux compétences des formateurs en articulation étroite avec les avancées de la Recherche.

## Références

- Attonaty J.-M., Chatelin M.-H., Mousset J., 1993. A decision support system based on farmers' knowledge to assess him in decision-making about work organization and long term evolution. EurAgEng, October 1-2 1993, Firenze (Italy).
- Attonaty J.M., Chatelin M.H., Garcia F. 1999. Interactive simulation modeling in farm decision-making, Computers and Electronics in Agriculture, 22, 157-170.
- Aubry C., 2007. La gestion technique des exploitations agricoles, composante de la théorie agronomique. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Aubry, C., Papy, F., Capillon, A., 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. Agricultural Systems, 56, 45-65.
- Barreteau O., Le Page C., Perez P. 2007. Contribution of simulation and gaming to natural resource management issues: an introduction. Simulation & Gaming, 38, 185-194
- Beamon B., 1998. Supply chain design and analysis: models and methods. International Journal of Production Economics, 55, 281-294.
- Bergez J-E, Debaeke P., Deumier J-M., Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO: An object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. Ecological Modelling, 137, 43-60.
- Chatelin M.H., Mousset J., Papy F., 1994. Taking account of Decision-Making behaviour in giving advice. A real life experiment in Picardie. In Farmer's decision making, a descriptive approach, B.H. Jacobsen, D.E. Pedersen, J. Christensen and S. Rasmussen (Eds). Proc of the 38th EAAE Seminar, 369-381.
- Chatelin M.H., Aubry C., Poussin J.C., Meynard J.M., Massé J., Verjux N., Gate Ph., Le Bris X., 2005. DéciBlé, a software package for wheat crop management simulation. Agricultural Systems, 83, 77-99.
- Cox P.G., 1996. Some issues in the design of agricultural Decision Support Systems. Agricultural Systems 52, 355-381.
- Cros, M.J., Duru, M., Garcia, F., Martin-Clouaire, R., 2004. Simulating management strategies: the rotational grazing example. Agricultural Systems, 80, 23-42.
- Dogliotti, S., Rossing, W.A.H., van Ittersum, M.K., 2004. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: a case study for vegetable farms in South Uruguay. Agricultural Systems, 80, 277-302.
- Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (Coord.), 2006. L'agronomie aujourd'hui. Editions Quæ, Paris, France.

- Dounias I., Aubry C., Capillon A., 2002. Decision-making processes for crop management on African farms. Modelling from a case study of cotton crops in northern Cameroon. *Agricultural Systems*, 73, 233-260.
- Dugué, P., Vall, E., Lecomte, P., Klein, H.D., Rollin, D., 2004. Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes interventions et favoriser les processus d'innovation. *OCL*, 11, 268-276.
- Giard V., 1988. Gestion de la production. *Economica*, Paris, France.
- Goulet F., 2008. Destensions épistémiques et professionnelles en agriculture. Dynamiques autour des techniques sans labour et de leur évaluation environnementale. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2008/2: 291-310.
- Hardin G., 1968. The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248.
- Janssen S., van Ittersum M.K., 2007. Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models. *Agricultural Systems*, 94, 622-636.
- Joannon A., Souchère V., Martin P., Papy F., 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation & Development*, 17, 467-478.
- Keating B.A., Carberry P.S., Hammer G.L., Probert M.E., Robertson M.J., Holzworth D., Huth N.I., Hargreaves J.N.G., Meinke H., Hochman Z., McLean G., Verbug K., Snow V., Dimes J.P., Silburn M., Wang E., Brown S., Bristow K.L., Asseng S., Chapman S., McCown R.L., Freebairn D.M., Smith J.C., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming system simulation. *European Journal of Agronomy*, 18, 267-288.
- Labbé F., Ruelle P., Garin P., Leroy P., 2000. Modelling irrigation scheduling to analyse water management at farm level, during water shortages. *European Journal of Agronomy*, 12, 55-67.
- Lavigne Delville P., Sellamna N., Mathieu M., 2000. Les enquêtes participatives en débat: ambition, pratiques et enjeux. Editions Karthala, Paris, France.
- Le Bail M., 2005. Le bassin d'approvisionnement: territoire de la gestion agronomique de la qualité des productions végétales. In *Agronomes et territoires*, P. Prevost (ed.), L'Harmattan Paris, France, 213-228.
- Le Gal P.-Y., 1997. From decision-making process analysis to modelling and simulation of farm management: application to work organization in two rice-based farming systems. In *Systems Approaches for Agricultural Development*, Kluwer Academic Publishers, vol.1: Applications of Systems Approaches at the Farm and Regional levels, P.S. Teng et al. (eds.), 137-152.
- Le Gal P.-Y., 2002. De nouvelles démarches d'intervention pour améliorer la gestion des périmètres irrigués tropicaux. *Cr. Acad. Afric. Fr.*, 88, 73-83.
- Le Gal P.-Y., Lejars C., Lyne P.W.L., Meyer E., 2004. De la diversité spatiale aux performances des bassins d'approvisionnement: cas des sucreries de canne. *Cahiers Agriculture*, 13, 554-562.
- Le Gal P.-Y., Kuper M., Moulin C.-H., Puillet L., Sraïri M.T., 2007. Dispositifs de coordination entre industriel, éleveurs et périmètre irrigué dans un bassin de collecte laitier au Maroc. *Cahiers Agriculture*, 16, 265-271.
- 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, 64-74.
- Le Gal P.-Y., Kuper M., Moulin C.-H., Sraïri M.T., Rhouma A., 2009a. Linking water saving and productivity to agro-food supply chains: a synthesis from two north-African cases. *Irrigation and Drainage*, in press.
- Le Gal P.-Y., Merot A., Moulin C.-H., Navarrete M., Wery J., 2009b. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environmental Modelling & Software*, in press.

- 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.
- Leng, R A, 2008. Decline in available world resources; implications for livestock production systems in Asia. *Livestock Research for Rural Development*, 20. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd20/1/leng20008.htm>
- Loyce C., Wery J., 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In *L'agronomie aujourd'hui*, Doré T. et al. (Coord.), Editions Quæ, Paris, France, pp. 77-95.
- Malézieux E., 2008. De l'écophysiole à l'agroécologie, contribution aux recherches sur les systèmes de culture. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Montpellier II.
- Maxime F., Mollet J.M., Papy F. 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures*, 4, 351-362.
- McCown R.L., 2002. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems*, 74, 179-220.
- Meynard, J-M, Aggieri, F, Coulon, J-B, Habib, R, Thillon, J-P, 2006. Recherches sur les systèmes agricoles innovants – Rapport du groupe de travail. Inra, Paris.
- Milleville P., 1987. Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Cahiers de la Recherche-développement*, 16, 3-7.
- Papy F., Attonaty J.M., Laporte C., Soler L.G., 1988. Work organization simulation as a basis for farm management advice. *Agricultural Systems*, 27, 295-314.
- Pretty J., 1994. Alternative systems of inquiry for a sustainable agriculture. *Institute of Development Studies Bulletin*, 25, 37-48.
- Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers. ORSTOM, série biologie*, 24, 3-25.
- Sebillotte M. 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 64, 906-914.
- Sebillotte M, 1990a. Système de culture: un concept opératoire pour les agronomes. In *Les systèmes de culture*, L. Combe, D. Picard (Eds.), INRA, Paris, 165-196.
- Sebillotte M., Soler L.G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. *Acquis et questions vives*. In *Modélisation systémique et systèmes agraires*, Brossier J., Vissac B. et Lemoigne J.L. (Eds), Inra Paris, 103- 117.
- Sebillotte M., 2005. Les trois métiers des agronomes. In *Agronomes et territoires*. Deuxième édition des Entretiens du Pradel, P. Prevost (dir.), L'Harmattan, Paris, France, 479-
- Sraïri M.T., Le Gal P.-Y., Kuper M., 2009a. Améliorer les performances des élevages bovins en conditions irriguées au Maroc: de l'analyse de la valorisation de l'eau à l'accompagnement des acteurs. In *Symposium International sur l'Agriculture durable en Méditerranée*, AGDUMED, Rabat, 14-16 mai 2009, 10 p.
- Sraïri M.T., Rjafallah M., Kuper M., Le Gal P.-Y., 2009b. Water productivity through dual purpose (milk and meat) herds in the Tadla irrigation scheme. *Irrigation and Drainage*, in press.
- Vance, P R, 2001. Update on the state of nitrogen and phosphorus nutrition: Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*, 127, 390-397.
- World Bank, 2007. *World Bank Development Report 2008: Agriculture for Development*. World Bank, Washington DC.