L'assolement : acceptions et problématiques agronomiques actuelles

Thierry Doré

▶ **To cite this version:**

Thierry Doré. L'assolement : acceptions et problématiques agronomiques actuelles. Agronomie, Environnement & Sociétés, 2012, Assolements et gestion quantitative de l'eau - De l'exploitation au territoire., 2 (2), pp.17-28. hal-01361915

HAL Id: hal-01361915

https://agroparistech.hal.science/hal-01361915

Submitted on 7 Sep 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Décembre 2012
volume n°2 / numéro n°2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie
environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Assolements et gestion quantitative de l'eau

de l'exploitation agricole au territoire

Association Française Agronomie

Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.
Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.
Contact : douhairi@supagro.inra.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45
Site Internet : http://www.agronomie.asso.fr

Objectif
AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence *Creative commons*

Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons* 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication
Thierry DORÉ, président de l'Afa, professeur d'agronomie AgroParisTech

Rédacteur en chef
Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial
Guy TRÉBUIL, chercheur Cirad
Philippe PRÉVOST, Directeur de l'enseignement Montpellier SupAgro
Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction
- Marc BENOÎT, Directeur de recherches Inra
- Bernard BLUM, Directeur d'Agrometrix
- Jean BOIFFIN, Directeur de recherches Inra
- Matthieu CALAME, Directeur de la Fondation pour le Progrès de l'Homme
- Jacques CANEILL, Directeur de recherches Inra
- Joël COTTART, Agriculteur
- Cécile COULON, Ingénieure Inra
- Thierry DORÉ, Professeur d'agronomie AgroParisTech
- Philippe ÉVEILLARD, Responsable du pôle agriculture, environnement et statistiques de l'Unifa
- Sarah FEUILLETTE, Chef du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, Inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- François KOCKMANN, Chef de service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71
- Nathalie LANDÉ, Ingénieure Cetiom
- François LAURENT, Chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal
- Francis MACARY, Ingénieur de recherches Irstea
- Jean-Robert MORONVAL, Enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chartres
- Christine LECLERCQ, Professeur d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Philippe POINTEREAU, Directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, Directeur de l'enseignement et de la vie étudiante à Montpellier SupAgro
- Guy TRÉBUIL, Chercheur Cirad.

Secrétaire de rédaction
Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales
Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement
Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément
(voir conditions à http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/)

Périodicité
Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage
Tous les numéros sont accessibles à l'adresse http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs
Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :
http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu* [*envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques*] *et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa, veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

P7// Avant-propos
T. DORÉ (Président de l'Afa) et O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef)

P9// **Édito**
B. LACROIX (ARVALIS – Institut du végétal) et J-E. BERGEZ (Inra)

*P15// **Eléments de cadrage***
P17- L'assolement : acceptions et problématiques agronomiques actuelles
T. DORÉ (AgroParistech)
P29- Quels instruments pour la gestion quantitative de l'eau ? Une analyse économique
S. AMBEC, J.P. AMIGUES, A. REYNAUD, F. SALANIÉ (Ecole d'économie de Toulouse)

P45// **L'assolement du point de vue de l'exploitation agricole**
P47- Assolement dans les exploitations de grande culture irriguées : modélisation des décisions des agriculteurs
J. DURY (flyingsheep), J.E. BERGEZ (Inra)
P63- Choix d'assolement : exemples de mise en œuvre d'outils d'aide à la décision
V. LEVEAU et S. MARSAC (ARVALIS – Institut du végétal), P. LEROY (Inra)

P75// **L'assolement du point de vue du territoire et des filières**
P77 - Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ?
D. LEENHARDT, O. THEROND et C. MIGNOLET (Inra)
P91- Détermination des volumes prélevables pour l'irrigation et gestion collective en cours de campagne : incidence des assolements et des itinéraires technique
J.F. AMEN et L. LHUISSIER (Compagnie d'aménagement des côteaux de Gascogne)
P105- Évolution de la ressource en eau, évolution des assolements, conséquences à l'échelle du territoire des coopératives agricoles de Poitou-Charentes
F. POIRSON (Coop de France Poitou-Charentes)
P113- Réforme des autorisations de prélèvement dans le bassin Adour-Garonne : impacts sur l'économie agricole
N. HÉBERT (Agence de l'Eau Adour-Garonne), B. GRANDMOUGIN (ACTeon), S. LOUBIER (IRSTEA), N. GRAVELINE (BRGM), S. MARSAC (ARVALIS – Institut du végétal), J.F. AMEN (Compagnie d'aménagement des côteaux de Gascogne), L. BRUNEL (DIATAE)
P127- Les difficultés associées à la gestion quantitative de l'eau et à la mise en œuvre de la réforme des volumes prélevables : le cas du bassin Adour-Garonne
T. DEBRIL et Olivier THEROND (Inra)
P139- Impacts de restrictions en eau d'irrigation sur les exploitations et les filières agricoles en Beauce
C. LEJARS et J.L. FUSILLIER (Cirad), S. BOUARFA (IRSTEA), L. BRUNEL et G. RUCHETON (DIATAE), X. GIRARD (Chambre d'agriculture du Loiret), F. GOLAZ (Chambre d'agriculture d'Eure et Loire)
P155- Stratégies des acteurs des filières et évolution des assolements d'un territoire : enseignements des travaux agronomiques sur la qualité
M. LE BAIL (AgroParistech)

P165// Note de lecture
P167- « Garonne 2050 » : un point étape sur une prospective toujours en cours (F. CARPY-GOULARD, Agence de l'Eau Adour-Garonne)

P171- Présentation de l'AFEID (Association française pour l'eau, l'irrigation et le drainage)

Eléments de cadrage

Agronomie Environnement & Sociétés //volume 2 numéro 2 – décembre 2012

Article

L'assolement : acceptions et problématiques agronomiques actuelles

Thierry DORÉ

Professeur d'agronomie
AgroParisTech
BP 01 - 78850 Thiverval-Grignon
Tél. : 01 31 81 52 45 - Fax : 01 30 81 54 25
Email : thierry.dore@agroparistech.fr

Résumé
En agronomie, le mot « assolement », d'usage courant, désigne d'abord la répartition en soles des cultures sur une surface cultivée (exprimée en hectares ou en proportions). Plus récemment, le même terme a été également utilisé pour caractériser la répartition géographique des cultures dans cet espace. Il désigne aussi, selon les cas, soit la construction de cette répartition, soit son résultat final. Les travaux en agronomie portant sur l'assolement menés ces dernières décennies ont consisté en un élargissement des échelles auxquelles il est considéré ; et en un approfondissement des modes de raisonnement mobilisés pour la construction des assolements. D'autres disciplines, notamment l'économie et la géographie, ont traité de l'assolement ; la première dans une perspective d'aide à la décision pour l'optimisation des assolements, la seconde dans une perspective d'évaluation des conséquences des changements d'usage des sols. Les travaux menés dans ces deux cadres peuvent questionner et enrichir la façon dont les agronomes appréhendent la construction des assolements.

Mots-clés
Assolement, planification, territoire, spatialisation, usage des terres.

Abstract
In agronomy, the French word « Assolement "is quite common and has a double meaning. It first represents the area of each crop on a given defined area (either as hectares or percents), i.e. the "Crop Acreage". More recently, it has also been used to represent the geographical disposition of the different crops on the same area, i.e. the "Crop Allocation". Furthermore, the French word means the process and/or the result of the crop allocation. In the recent years, research works have enlarged the different scales that are linked with this "Assolement "concept and have also focused on deepening the understanding of the decision-making process to reach and construct a given Assolement. Other scientific disciplines, such as Economy or Geography, have also used this concept. For the former it is mainly to propose *decision support systems* (DSS) using optimization algorithms; for the later it is to better analyze the consequences of farmer's practices and field allocation on the environment. These works from other disciplines allow to renew and modify the way agronomists view the "Assolement" concept.

Introduction

Le mot « assolement » a toujours un parfum médiéval. Il renvoie fréquemment pour le grand public à la notion d'« assolement triennal » (pour le Nord de l'Europe) ou d'« assolement biennal » (pour le Sud), correspondant à des occupations du sol régies collectivement, associées au Moyen-Âge. Ces expressions engendrent une fréquente confusion entre les notions de rotation et d'assolement car elles associent un substantif exprimant une notion spatiale (fondamentalement la partition d'une surface agricole en soles), et un adjectif exprimant une notion temporelle. Cette confusion est révélatrice des conditions agricoles d'établissement de ces assolements médiévaux, à savoir une certaine stabilité des rotations pratiquées, sur des soles collectives. L' « assolement triennal » doit ainsi être compris comme « l'assolement associé à une rotation triennale stable ».
Les conditions agricoles contemporaines ne sont plus celles de la stabilité des successions de cultures, et l'ambiguïté de langage ci-dessus n'a plus lieu d'être, même si bien évidemment assolement et succession de cultures sont très dépendants l'un de l'autre. Pour autant, la notion d'assolement reste complexe et, à l'instar de celle de système de culture, « riche de sens » pour les agronomes (Papy, 2008). Dans ce texte, nous étudierons successivement les acceptions multiples du terme en agronomie, puis les différentes questions aux agronomes que posent les travaux menés sur les assolements par d'autres disciplines.

Assolement, un terme riche de sens en agronomie

L'assolement, une préoccupation à l'échelle de l'exploitation agricole

Choisir les surfaces à affecter à chaque culture dans une exploitation agricole est un exercice

tout sauf trivial, et lourd de conséquences. Les agriculteurs doivent combiner, pour déterminer l'assolement qu'ils vont mettre en place lors de la campagne qui s'annonce, au moins trois types de préoccupations : agronomiques, économiques, organisationnelles. Sur le plan agronomique, il est nécessaire de tenir compte, pour choisir les cultures affectées aux parcelles, des espèces qui y ont été antérieurement cultivées. L'effet précédent d'une culture sur la culture suivante (*via* les modifications des états chimiques, physiques et biologiques du champ cultivé) est susceptible d'affecter positivement ou négativement l'espérance de rendement, la qualité des récoltes, ou la facilité de conduite de la culture suivante. À plus long terme, les effets de la fréquence de retour d'une culture sur la même parcelle (qui joue essentiellement par son effet sur la dynamique des populations de bioagresseurs) est prise en considération. Sur le plan économique, l'agriculteur prend notamment en compte les espérances de marge liées aux différentes cultures possibles, ainsi que le risque que fait courir une trop grande spécialisation de l'assolement, en cas de mauvaise récolte ou mauvais prix de vente. L'éventail qui s'offre à lui est plus ou moins large en fonction des opportunités de commercialisation, et des équipements disponibles sur l'exploitation. Enfin sur le plan de l'organisation, l'agriculteur doit tenir compte des conséquences de ses choix d'assolement, en particulier du point de vue de l'utilisation de la main d'œuvre et du matériel (Manichon et Sebillotte, 1969). L'étalement des activités pour éviter les pointes de travail, la compatibilité des opérations à réaliser à chaque période de l'année avec le parc matériel disponible sur l'exploitation, sont des éléments cruciaux pour déterminer la taille maximale de la sole de chaque culture.

L'ensemble de ces réflexions doit se faire dans un contexte économique fluctuant, ce qui rend les choix d'autant plus difficiles ; et en tenant compte des progrès techniques, qui peuvent considérablement modifier les possibilités (voir par exemple Sebillotte, 1969, sur l'effet de l'apparition de nouveaux herbicides sur les choix d'assolement ; ou plus récemment l'effet de l'usage des OGM résistants aux herbicides sur la simplification des assolements). Les choix sont en outre contraints par des données réglementaires, qui sont susceptibles de modifier la gamme des possibles (par exemple en production de semences où la règle impose des distances minimales entre parcelles ; ou dans des zones à enjeu environnemental, où l'interdiction de certaines pratiques modifie les espérances de rendement, et donc les données du choix). Par ailleurs, il est difficile d'imaginer ne réfléchir qu'à l'assolement d'une année donnée, sans anticiper sur ses conséquences sur ceux des années suivantes, précisément pour les raisons évoquées ci-dessus. L'agriculteur raisonne donc simultanément l'assolement d'une année et ceux des années suivantes (au moins dans leurs grandes lignes) et, de fait, l'assolement et la succession des cultures. Difficulté et enjeux de l'assolement sont à l'origine d'un intérêt ancien des agronomes pour la notion d'assolement (voir par exemple Hénin et Sebillotte, 1962 ; Sebillotte, 1966). Cet intérêt n'a pas cessé de se confirmer pendant les dernières décennies, au cours desquelles progrès techniques et instabilités économique et réglementaire ont entretenu toute l'acuité de la notion. Les acceptions du terme se sont cependant petit à petit enrichies. Ainsi la déclinaison du terme assolement permet de parcourir une gamme d'échelles, mais permet également de traduire des préoccupations diverses des agronomes, ce qui a été récemment analysé par Dury *et al.* (2011).

L'assolement « statistique » et l'assolement « géographique »

Dury *et al*. (2011) ont avec pertinence distingué deux types de description des surfaces consacrées aux différentes cultures : une simple description statistique, qui donne les proportions des surfaces par rapport à la surface cultivée considérée (*crop acreage* en anglais), qui correspond à l'acception initiale du terme ; ou une description localisée des différentes cultures au sein de cette aire (*crop allocation*), les proportions relatives exactes des cultures allant parfois jusqu'à être secondaires par rapport à la précision de leurs emplacements. La même réalité peut être ainsi décrite de plusieurs façons différentes selon la finalité de la description.

Les descriptions statistiques, telles que celle illustrée dans la figure 1, peuvent être réalisées à différentes échelles.

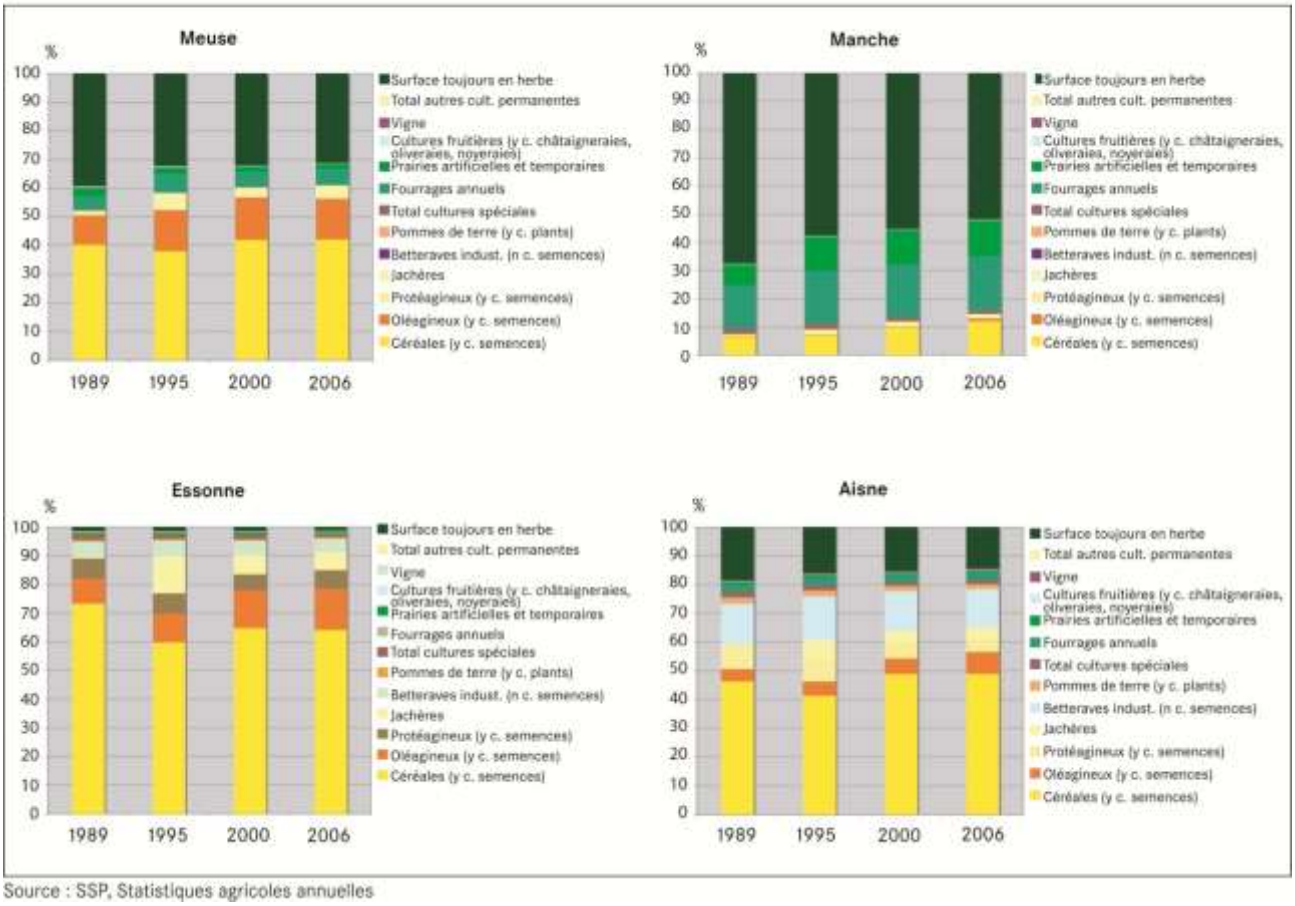

Figure 1 - Evolution « statistique » de l'assolement de quatre départements Français de 1989 à 2006 (d'après Poux *et al.*, 2009)

L'appareil statistique national permet l'identification des assolements à différentes échelles régionales. Ici sont reportées les évolutions sur une quinzaine d'années des assolements pour quatre départements français. Certaines évolutions sont très significatives, comme la régression des surfaces toujours en herbe dans la Manche et dans la Meuse, au profit respectivement de cultures fourragères et de céréales, oléagineux et protéagineux.

À l'échelle de l'exploitation agricole, l'assolement permet d'identifier des caractéristiques majeures de l'orientation technico-économique de l'exploitation à travers l'importance relative accordée aux différentes productions végétales. Les typologies régionales d'exploitations agricoles incluent ainsi fréquemment, dans les descripteurs des types d'exploitations, des éléments de l'assolement (part de telle ou telle culture dans la surface agricole utile). Sur le plan agronomique, une telle classification ouvre la voie à une compréhension des déterminants des choix des agriculteurs, à la réalisation de diagnostics, et à la mise en place de stratégies d'amélioration des pratiques tenant compte de ces déterminants. Ainsi Capillon *et al.* (1988) réalisent-ils une typologie des exploitations du Marais de Rochefort fondée sur les liens entre les stratégies des agriculteurs et les assolements fourragers, permettant de proposer des orientations tactiques de conduite des surfaces fourragères tenant compte des contraintes des exploitations. La description de l'assolement admet des niveaux de précision variables, depuis la description exhaustive des surfaces occupées par chaque culture jusqu'à la prise en compte de regroupements très globaux, en fonction des finalités de la typologie. Ainsi Righi *et al.* (2011), étudiant les voies de développement de l'horticulture en Uruguay, considèrent-ils des types d'exploitation en ne distinguant dans leur assolement que deux catégories de cultures, les cultures maraîchères et toutes les autres ; Blazy *et al.* (2009) font un choix analogue dans leur typologie des exploitations agricoles de Guadeloupe en distinguant la sole en banane de celle constituée par toutes les autres cultures.

La description statistique des assolements peut aussi être réalisée en considérant des aires beaucoup plus vastes, toutes les surfaces caractéristiques ayant en fait un intérêt : ainsi en particulier

toutes les entités administratives (en France, toutes les collectivités territoriales) peuvent être décrites du point de vue des surfaces consacrées aux différentes cultures par rapport à la surface agricole utile totale - on parle alors d'assolements régionaux (voir Schaller, 2012). De telles descriptions sont largement utilisées pour réaliser des diagnostics sur les évolutions des choix de culture à moyen et long terme (voir par exemple Poux *et al.*, 2009), ce qui permet de chiffrer des tendances haussières ou baissières ou de repérer des changements de tendance. Les finalités peuvent en être diverses : mesure de l'ampleur de fragilisations économiques ou écologiques liées à une baisse de diversité dans l'assolement, identification des zones d'un territoire (par analyse comparative des évolutions des assolements) présentant des opportunités de développement de nouvelles cultures, recherche de facteurs explicatifs dans les changements d'usage des sols agricoles, etc. Ces travaux peuvent être à la base de réflexions concernant l'élaboration de politiques publiques finalisées par le pilotage du niveau de diversification des assolements (Schaller, 2012).

En parallèle, ce qui est devenu dans la littérature une nouvelle acception du terme assolement (bien qu'on puisse en réalité la considérer comme une caractérisation supplémentaire de l'assolement) consiste à considérer la localisation géographique des cultures. L'assolement n'est plus représenté uniquement par les proportions des différentes cultures, mais aussi par les emplacements des parcelles sur lesquelles les cultures sont présentes (Fig. 2).

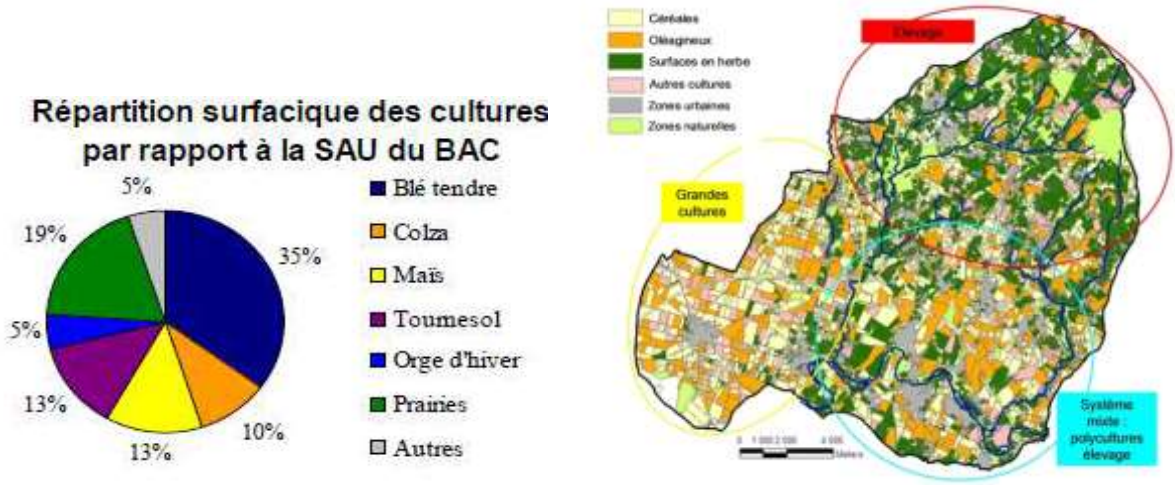

Figure 2 - Exemple de descriptions d'une même réalité selon deux acceptions : un assolement "statistique" et un assolement "géographique" (Source T. Constant, InVivo Agrosolutions)

À l'échelle d'un Bassin d'Alimentation de Captage d'environ 16.000 hectares cultivés, un recensement a été effectué des cultures présentes sur les parcelles une année donnée. La réalité de l'occupation de l'espace est décrite de deux manières différentes : à gauche, selon la part que les différentes cultures occupent dans la SAU ; à droite, selon leur position dans l'espace. On identifie nettement une répartition non aléatoire des cultures à l'échelle du Bassin, traduisant une localisation préférentielle des systèmes de production. La description géo-référencée donne une information supplémentaire utile par rapport au raisonnement de la prévention des pollutions d'origine agricole dans le Bassin.

Le temps nécessaire et la difficulté pour renseigner ce type d'assolement « géographique », qui croissent rapidement avec les surfaces en jeu, limitent davantage, que pour les assolements « statistiques », les échelles auxquelles ils sont accessibles. À l'échelle de l'exploitation, ou d'un tout petit nombre d'exploitations, l'assolement peut être reconstitué par enquête auprès des agriculteurs. De telles entreprises ont été réalisées pour comprendre les décisions des agriculteurs, stratégiques et tactiques, par exemple lors de la confrontation entre les caractéristiques du parcellaire et les orientations technico-économiques de l'exploitation (Morlon et Benoit, 1990). Ce sont alors des variables comme la distance des parcelles au siège de l'exploitation, ou encore leurs caractéristiques pédologiques traduisant différentes contraintes ou atouts vis-à-vis du choix des cultures, qui apparaissent comme pertinentes pour discuter de l'assolement. Différents travaux

ont été menés qui permettent ainsi d'identifier les règles des acteurs, et de prévoir les évolutions des assolements. Maxime *et al*. (1995) ont dans cette optique produit un modèle conceptuel d'attribution des cultures aux parcelles d'une exploitation, à partir de l'analyse des décisions d'agriculteurs en Picardie, affiné ensuite par Aubry (2007) (voir Fig. 3) ; Le Ber et Benoit (1998) ont tenté une démarche analogue à l'échelle d'un village, montrant la difficulté de l'entreprise lorsque plusieurs agents sont impliqués.

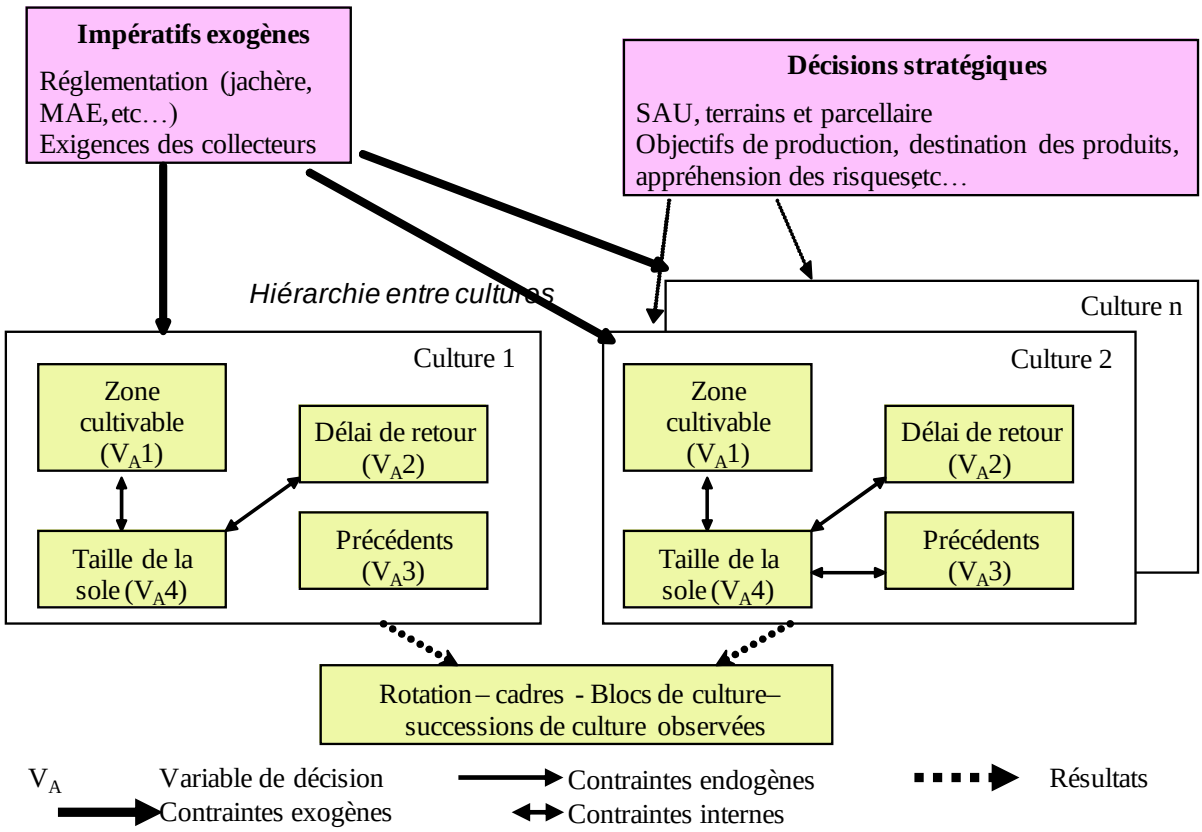

Figure 3 - Modèle conceptuel de constitution des assolements pour les exploitations agricoles de grande culture (Aubry, 2007)

La figure récapitule la décision de constitution des successions de culture que l'on peut observer dans les exploitations, à partir de plusieurs variables constituant une forme de représentation schématique du processus décisionnel réel de l'agriculteur. Culture par culture, quatre variables sont à instruire : la zone cultivable, soit l'ensemble des parcelles de l'exploitation que l'agriculteur juge apte à porter la culture ; le délai de retour, soit l'intervalle de temps que l'agriculteur juge nécessaire pour le retour de la culture sur la même parcelle ; les précédents possibles de la culture dans l'assolement (de même que ceux strictement interdits) selon l'agriculteur et enfin la taille de la sole, qui est maximisée par le rapport Zone cultivable sur délai de retour. Ces variables dépendent en amont des contraintes et atouts stratégiques de l'exploitation (par exemple la zone cultivable est souvent définie en fonction des terrains et du parcellaire) et d'impératifs exogènes (par exemple un contrat avec des collecteurs peut déterminer la taille réelle d'une sole).

Dès que les surfaces sur lesquelles on veut renseigner l'assolement dépassent quelques milliers d'hectares et quelques dizaines d'agriculteurs, le recours à d'autres moyens que l'enquête pour caractériser les assolements géographiques devient très utile, voire indispensable. À ces échelles, l'imagerie spatiale devient un outil très utilisé (voir par exemple Martínez-Casasnovas *et al*., 2005), parfois combiné (comme en France dans les enquêtes Teruti-Lucas) à des observations *in situ,* avec l'appui de systèmes d'information géographique permettant l'identification des parcelles agricoles (en France, le Registre Parcellaire Graphique).

Ce sont des préoccupations d'ordre environnemental ou écologique qui constituent bien souvent le moteur des études d'assolements « géographiques » sur des surfaces concernant de quelques agriculteurs à quelques centaines d'agriculteurs. L'aire d'intérêt est alors définie par les processus écologiques en jeu : bassin d'alimentation d'un captage d'eau, bassin-versant

ruisselant et érosif, zone d'intérêt faunistique servant d'habitat à une espèce animale, etc. Certes, l'assolement « statistique » peut déjà être utilisé pour traiter de risques environnementaux en lien avec la répartition des cultures dans un espace donné. Ainsi Benoit et Claude (2002) proposent-il de mettre en relation la quantité d'ion nitrate parvenant à une nappe phréatique et l'assolement correspondant à cette nappe, en faisant l'hypothèse de fait que la position des parcelles - pourvu qu'elles alimentent la nappe - importe peu. De manière analogue, Wolff *et al*. (2001) montrent comment l'assolement dans la plaine de la Crau joue sur l'abondance d'une espèce d'oiseau, l'outarde canepetière : c'est la densité de cultures par rapport aux autres occupations de l'espace qui est considérée, non leurs positions géographiques relatives. Enfin Möller *et al*. (2011) analysent l'impact des changements d'assolement sur le stockage de carbone et les soldes en éléments minéraux à l'échelle régionale, suite à l'implantation d'unités de méthanisation, sans se préoccuper de l'emplacement des parcelles productrices de biomasse matière première de la méthanisation. Mais dans d'autres situations, les phénomènes écologiques en cause sont sensibles non seulement aux cultures présentes mais également à leur position spatiale. De nombreux exemples bien connus existent : phénomènes de ruissellement et d'érosion (voir notamment les travaux de Papy *et al*., (1988b), et de Joannon *et al*. (2006)) ; contamination des captages par des ions ou des xénobiotiques (voir notamment Basilico et Domange (2011)) ; diversité des adventices (voir notamment Petit *et al*., 2011) ; contamination des récoltes par certains gènes (voir notamment Le Bail *et al*., 2010), etc.

L'assolement « projet » et l'assolement « donné »

Le terme « assolement » présente également une seconde nuance de sens. Cette nuance est bien explicitée par Maxime *et al*. (1995) qui précisent dans leur glossaire que le terme peut avoir deux significations : (i) « activité consistant à définir sur le territoire de l'exploitation agricole la sole de chaque espèce cultivée » et (ii) « résultat de cette activité ». Chacune des deux significations, qui ne sont pas alternatives mais constituent deux stades d'une même démarche, présente un intérêt en relation avec les préoccupations des agronomes.

La première renvoie à l'idée de construction des choix techniques. Les agronomes se sont intéressés à cette construction chez les agriculteurs, en particulier dans une perspective d'aide à la décision ; les travaux ont pu concerner la conduite précise d'une culture (Cerf et Sebillotte, 1988), comme les choix stratégiques de conduite technique dans l'exploitation (Aubry *et al*., 1998), ou encore l'organisation du travail (Papy *et al*., 1988a). Ils ont permis de déboucher sur des modélisations conceptuelles utilisables de manière heuristique pour discuter avec les agriculteurs de leurs choix techniques, participant ainsi au conseil de terrain ; ils ont également permis d'orienter les travaux de recherche des agronomes de manière à être en mesure de produire des références compatibles avec les modes de raisonnement des agriculteurs. Après les travaux des années 1960 (Lefort et Sebillotte, 1964) et ceux des années 1990 déjà cités (Maxime *et al*., 1995) la question de la construction des assolements (et celle des successions de cultures, les deux étant intimement liées) dans les exploitations a connu un regain d'intérêt en France. Les études réalisées, qui en quelque sorte portent sur « l'amont » de l'assolement constaté, ont été motivées par des problématiques se posant à l'échelle du territoire. Ainsi Dury (2011) pour la gestion quantitative de l'eau, comme Schaller (2011) pour la construction d'un paysage ayant des impacts notamment sur la biodiversité, ont étudié la manière dont se constituait l'assolement (*cropping plan decisions*) à l'échelle de l'exploitation. Ils ont pour optique, pour le premier l'aide à la décision individuelle dans un contexte de gestion territoriale de la ressource en eau, et pour la seconde la compréhension de la construction des assolements à une échelle régionale. Dans les deux cas, les travaux ont débouché sur la construction de modèles. Le modèle (ou plutôt la structure de modélisation, composée de plusieurs modèles) CRASH (Dury, 2011) met l'accent sur le caractère dynamique du processus de décision, couple une modélisation de processus biophysiques et de processus décisionnels, et donne une part importante à la représentation de la prise en compte du risque par l'agent décideur (voir Dury et Bergez dans ce numéro). Le modèle DYSPALLOC (Schaller, 2011) quant à lui met l'accent sur l'allocation précise des cultures aux parcelles, dans une spatialisation

poussée du processus de construction de l'assolement année après année. Dans les deux cas, la construction de l'assolement (et des successions) est vue non comme un processus d'optimisation d'une ressource, mais comme un processus de décision complexe et dynamique (voir Fig. 4).

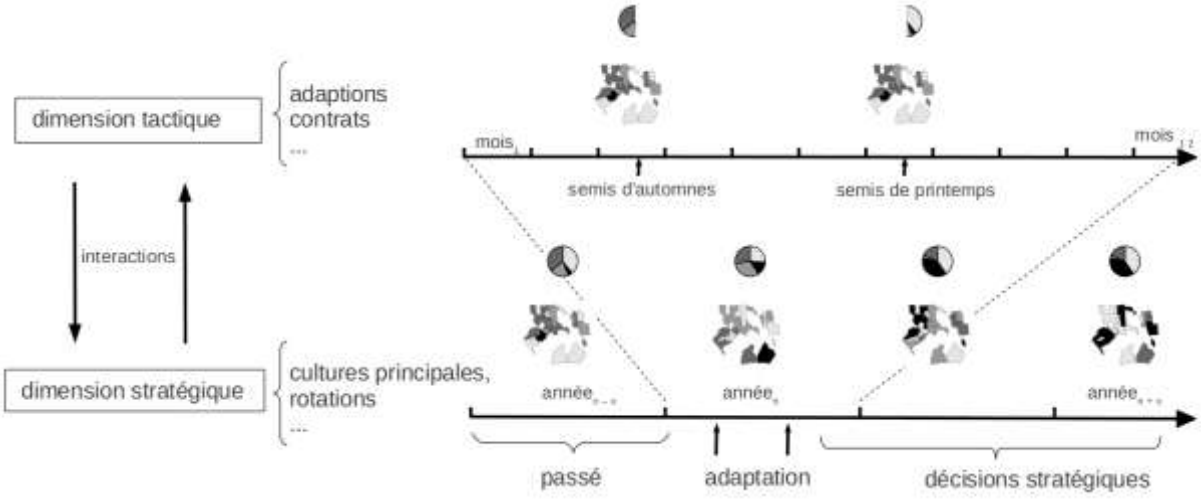

Figure 4 - Représentation simplifiée de l'emboîtement temporel de décisions dans la construction d'un assolement (Dury, 2011)

Ce schéma illustre les interactions entre deux horizons temporels de décision pour la construction des assolements par les agriculteurs. L'horizon de choix pluri-annuels permet de mettre en œuvre une stratégie dans laquelle l'assolement traduit des choix de cultures principales et de successions de cultures fondés sur des raisonnements agronomiques, économiques et d'organisation de l'exploitation. Ces choix sont en interaction avec des décisions tactiques annuelles au moment des semis d'automne et de printemps, qui visent une adaptation à des aléas de différentes natures (impossibilité de semer la culture prévue, échec à la levée, occurrence d'une sécheresse, indisponibilité en semences...) ou à des opportunités (proposition de contrat...). Les décisions stratégiques contraignent les décisions tactiques (toutes les adaptations ne pourront pas être mises en œuvre, ou toutes les opportunités ne pourront pas être saisies, car les cultures précédentes et suivantes restreignent les choix possibles) ; inversement les adaptations tactiques peuvent amener à modifier des choix stratégiques.

Dans aucun de ces deux cas, les travaux ne débouchent pour le moment sur des systèmes opérationnels d'aide à la décision pour l'agriculteur ou le conseiller, mais CRASH permet de l'envisager en tenant compte de manière plus réaliste que les outils antérieurs de ce qu'est l'enchaînement des décisions lors de la construction de successions de cultures et d'assolements par un agriculteur. Quant à DYSPALLOC, son objectif est surtout de pouvoir rendre compte de manière réaliste de conséquences sur l'évolution des structures paysagères des choix d'assolement dans les exploitations.

Une autre démarche consiste à prendre l'assolement comme donné, et à en évaluer les conséquences, « en aval » donc des affectations des cultures aux soles et aux parcelles. On a déjà évoqué ci-dessus différentes problématiques environnementales et écologiques pour lesquelles on cherche à évaluer les conséquences de l'assolement en termes d'impact, mais les performances économiques des assolements/successions de cultures sont également étudiées (par exemple Garrity *et al.*, 1981 ; Wu et Adams, 2001).

Optimisation des assolements et changements d'usage des terres

Distinguer les différentes significations du terme assolement (« statistique » *vs* « géographique », « construction » *vs* « donné ») est une précision sémantique utile pour éviter les méprises dans les discussions scientifiques et techniques. Cette distinction, qui permet comme on l'a déjà évoqué de couvrir une gamme de préoccupations en agronomie, permet également d'interroger différents travaux menés actuellement sur les assolements

par d'autres communautés scientifiques - et en retour de discuter également *in fine* l'usage qui est fait de l'assolement en agronomie.

Optimiser un assolement ?

La littérature est riche, d'abord dans le champ de l'économie, de travaux dont la finalité est d'optimiser un assolement. Fondamentalement, il s'agit de se donner les moyens de calculer la meilleure affectation des cultures aux surfaces disponibles, sous certaines hypothèses et pour certain(s) objectif(s) ; en France les travaux menés il y vingt ans autour du logiciel LORA pour l'optimisation de l'assolement dans un périmètre irrigable en constituent une très bonne illustration (Jacquin *et al.*, 1993 ; Leroy et Jacquin, 1994). Pour l'essentiel, il s'agit dans ces travaux de situations dans lesquelles le résultat de l'optimisation est un assolement « statistique », et non géo-localisé : l'optimisation permet d'estimer la meilleure répartition des surfaces aux cultures, indépendamment du parcellaire. Ce type de travaux n'est situé ni strictement « en amont » ni strictement « en aval » de l'assolement, mais les deux à la fois : il vise à le construire en intégrant directement dans la procédure les conséquences de l'assolement.

Cette question est d'abord traitée comme un problème d'optimisation individuelle : une fonction à maximiser sous contrainte, pour un individu agriculteur prenant de manière rationnelle ses décisions, appuyé par une information non limitante. La variable que l'on cherche à maximiser peut être économique, et on se situe dans la lignée des nombreux travaux de maximisation du revenu par l'optimisation de choix techniques. Sans faire une analyse exhaustive des études qui sont fondées sur ce point de départ (pour une analyse plus complète et approfondie voir Dury *et al.*, 2011), on peut distinguer quelques tendances marquantes dans les évolutions de la manière de concevoir cette optimisation. Ainsi, la façon de représenter la décision peut être affinée : c'est le cas lorsque par exemple on rend compte de la considération du risque par l'agent décideur, notamment en cherchant à minimiser ce risque (par exemple Svirezhev et Racsko (1992) qui tiennent compte pour ce faire des distributions d'espérance de rendement des cultures). Par ailleurs, les contraintes sous lesquelles l'optimisation est menée, portant sur les ressources autres que les surfaces disponibles, peuvent être plus ou moins affinées. Dans certains cas (par exemple dans Singh *et al.*, 2001), les préférences ou les contraintes des agriculteurs sont déterminées préalablement par enquête, ce qui permet de fixer des bornes aux solutions (surfaces maximales ou minimales de telle ou telle culture par exemple). Dans d'autres cas, les contraintes peuvent être prises en compte dans la fonction d'optimisation, intégrant par exemple explicitement (Itoh *et al.*, 2003) ou non (Hassan *et al.*, 2004) les limitations en forces de travail. De nombreux travaux, reposant sur des types de modèles variés, prennent également en compte la disponibilité en eau (par exemple Jacquin *et al.*, 1993 ; De Juan *et al.*, 1996 ; Mainuddin *et al.*, 1997 ; Haouari et Azaiez, 2001 ; Kipkorir *et al.*, 2002 ; Tsakiris et Spiliotis, 2006 ; Karamouz *et al.*, 2010), ce qui permet de traiter de manière couplée l'affectation des surfaces aux cultures et le degré de satisfaction de leurs besoins en eau. Parmi ces travaux, l'échelle considérée peut dépasser l'exploitation agricole, et l'échelle régionale (périmètre irrigué notamment) est alors traitée de la manière suivante : le type de modèle appliqué à l'échelle de l'exploitation est reproduit sur une surface donnée comme si un seul agent décidait de l'assolement sur cette surface, qui peut être selon les auteurs la région toute entière (Kipkorir *et al.*, 2002 ; Singh *et al.*, 2002 ; Hassan *et al.*, 2004) ou un pixel (Rounsewell *et al.*, 2003). Enfin, on notera que si la maximisation de variables économiques est la finalité très dominante, certains travaux cherchent à développer une optimisation considérant d'autres critères, notamment environnementaux (Reboul, 1977 ; Annetts et Audsley, 2002 ; Tsakiris et Spiliotis, 2006) et que les tentatives de validation de tels modèles (comme celle de Rounsewell *et al.*, 2003) sont rares.

Si on considère les significations évoquées *supra* du terme assolement en agronomie, et des connaissances qui les nourrissent, ces travaux portant sur l'optimisation présentent certaines limites pour améliorer les outils d'aide à la décision d'assolement des agriculteurs, ou des gestionnaires d'un espace cultivé. Ces limites sont assez claires : représentation individuelle de la décision très frustre (notamment pas de prise en compte de la complexité de l'enchaînement spatio-temporel des décisions ; rationalité souvent complète, voire procédurale), faible étendue des critères d'optimisation pris en compte, absence de réflexion sur le passage de l'agent individuel au

collectif, pas de prise en compte de la géolocalisation, etc. Compte tenu de ces limites, ils semblent peu adaptés à la prescription d'une solution jugée optimale. En revanche, les modèles d'optimisation des assolements sont certainement des outils appréciables pour baliser un univers des possibles, donner des sens de variation de l'assolement en fonction de variations de variables exogènes à travers la réalisation d'analyses de sensibilité, etc. Ils peuvent donc apparaître comme des moyens d'accompagnement très utiles de la décision des agents dans des opérations de conseil, sans prétendre la simuler fidèlement, et aider à orienter les choix en période de forte instabilité du contexte. Dans ce sens, ils constituent un ensemble très complémentaire des connaissances produites en agronomie.

Quelles similitudes entre assolement et usage des terres ?

La problématique de l'évaluation des conséquences des assolements rejoint celle, plus générale et moins familière aux agronomes, des changements d'usage des terres (ou des sols), travaillée notamment par les géographes mais aussi les climatologues, les économistes... Les travaux sur cette thématique se multiplient depuis une vingtaine d'années, nourris en particulier par des préoccupations écologiques (par exemple Fang *et al*., 2011). Ils présentent des similitudes frappantes avec les travaux plus classiques des agronomes évoqués dans la première partie ci-dessus, avec notamment la même double nuance de sens que celle notée au sujet de l'assolement, et parfois une convergence dans les méthodes mobilisées (voir par exemple l'usage des typologies d'exploitations agricoles dans les travaux de Valbuena *et al*., 2008). Il existe d'ailleurs une zone de recouvrement entre les études sur l'assolement et celles sur les usages des sols (par exemple Rounsewell *et al*., 2003). Plusieurs éléments caractérisent de façon générale les études sur les usages des sols, qui les différencient de celles sur l'assolement :

- les échelles spatiales considérées sont telles que les territoires concernés sont souvent plus vastes que ceux traités en agronomie ;
- la question de la dynamique de changement est davantage présente, et même centrale ;
- enfin, ce ne sont plus seulement les usages agricoles qui sont pris en compte, mais tous les usages des sols.

Sans pouvoir entrer dans une analyse croisée des études sur l'assolement et sur l'usage des sols, certains traits de ces dernières (ou d'une partie d'entre elles) nous semblent utiles à relever pour enrichir les travaux des agronomes.

Le premier de ces éléments concerne la représentation de la construction des assolements dans un territoire comprenant un grand nombre d'acteurs. Le choix historique des agronomes et des économistes a consisté, comme évoqué ci-dessus, à représenter, avec parfois des trésors de finesse ou des raffinements mathématiques subtils, les raisonnements des agriculteurs, dans un domaine spatio-temporel restreint. Quand plusieurs centaines, milliers ou dizaines de milliers d'acteurs sont concernés, les limites de ces approches apparaissent rapidement, même en utilisant les outils typologiques. Les études pour prévoir les changements d'usage des sols ont quant à elles prospecté un univers plus large de méthodes différant selon les trois axes que sont la représentation spatiale, la représentation temporelle, et la représentation des décisions humaines (Agarwal *et al*., 2002 ; Schaldach et Priess, 2008). Ces modèles consistent parfois « simplement » à identifier empiriquement des motifs de changements d'usage des sols, à les modéliser, et à les utiliser pour prévoir la construction des usages futurs ; d'autres sont fondés sur des simulations de comportements d'agents multiples. Ces travaux constituent un gisement d'idées pour développer des modèles agronomiques de natures diverses permettant de s'affranchir de la représentation fine de chacun des acteurs. Certaines études agronomiques (Sorel *et al*., 2010) ont ainsi commencé à comparer, pour des problématiques précises, différents types de modèles. Un travail important reste probablement à mener pour identifier les domaines de validité de ces types de modèles dans les problématiques liant assolement et performances économiques et écologiques des territoires agricoles.

En deuxième lieu, les études sur l'usage des sols, en insistant fréquemment sur les changements, interrogent fortement les agronomes sur une hypothèse, souvent présente de manière explicite (Schaller, 2011) ou implicite dans les travaux menés sur la construction des assolements : les re-

présentations des décisions des agriculteurs sont valables dans un certain régime de stabilité du contexte et des structures d'exploitation. Or, qu'il s'agisse de la volatilité des marchés ou de l'accroissement de la fréquence et de l'amplitude des accidents climatiques, l'évolution du contexte de production est marquée par un accroissement de l'instabilité. Qu'il s'agisse de fournir des outils d'aide à la décision ou de prévoir l'évolution des assolements à l'échelle régionale pour anticiper des conséquences écologiques, n'est-il pas nécessaire de revenir sur les hypothèses de régime de stabilité, pour anticiper des réactions des agriculteurs à des changements plus brutaux ?
Enfin, les systèmes sur lesquels portent beaucoup d'études d'usage des sols, tant par leurs échelles (problématiques globales à des échelles continentales) que par les objets en cause (non-agricoles autant qu'agricoles), doivent interroger les agronomes sur la manière dont ils apportent une contribution à ces travaux ; mais on s'éloigne là de la question de l'assolement.

Conclusion

Pour conclure, on mettra l'accent sur deux points. Le premier est que, quel que soit le sens dans lequel on utilise le terme « assolement », il est en permanence nécessaire de s'interroger sur la pertinence d'utilisation de ce concept plutôt que celui de système de culture. À titre d'exemple, si on souhaite évaluer l'impact des pratiques d'agriculteurs sur la qualité d'une ressource dans un territoire, est-ce bien l'assolement « géographique » qu'il est pertinent de considérer, ou bien plutôt la répartition spatiale des systèmes de culture, dans des modèles de systèmes de culture spatialisés (Lô-Pelzer *et al.,* 2010, Hossard, travaux en cours) ? Tout dépendra bien sûr de la sensibilité relative du phénomène auquel on s'intéresse à la nature des cultures présentes, à leurs successions, et à la manière dont elles sont conduites. Le second point est relatif au défaut - bien compréhensible - que semblent avoir la très grande majorité des études s'intéressant à l'optimisation ou aux conséquences de l'assolement, comme d'ailleurs à celles des changements d'usage des terres : le défaut d'être focalisé sur un seul enjeu (la gestion quantitative de l'eau, par exemple), ou un très petit nombre d'enjeux, alors que ces derniers sont toujours multiples. Il y a encore beaucoup à faire pour dépasser cette limite, mais le contexte actuel d'évolution des agricultures évoqué ci-dessus donne une pleine légitimité aux travaux sur les assolements, et c'est avec enthousiasme que les agronomes peuvent et doivent y contribuer !

Remerciements

À Fabiola Nacibide, étudiante du master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement, (mention Espaces, Ressources Milieux), qui a contribué à l'analyse et à la synthèse de références bibliographiques.

Bibliographie

Agarwal, C., Green, G.M., Grove, J.M., Evans, T.P., Schweik, C.M., 2002. *A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice*, Gen. Tech. Rep. NE-297. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Newton Square, PA, 61 p.

Annetts, J., Audsley, E., 2002. Multiple objective linear programming for environmental farm planning. *Journal of the Operational Resarch Society*, 53(9), 933–943.

Aubry, C., 2007. *La gestion technique des exploitations agricoles. Composante de la théorie agronomique*, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, INPT, Toulouse, 101p.

Aubry, C., Papy, F., Capillon, A., 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural systems*, 56(1), 45-65.

Basilico, L., Domange, N., 2011. *Captages d'eau potable et pollutions diffuses : quelles réponses opérationnelles à l'heure des aires d'alimentation de captage « Grenelle » ?* Synthèse des Rencontres 2011 du GIS GC-HP2E, collection Rencontres-Synthèses, ONEMA, 64p.

Benoit, M., Claude, C., 2002. Approche méthodologique de l'organisation des assolements afin de préserver la qualité des eaux souterraines. *Revue Géographique de l'Est*, 42(3).

Blazy, J.M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., Wery, J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 101, 30–41.

Cerf, M., Sebillotte, M., 1988. Le concept de modèle général et l'analyse de la prise de décision technique. *Compte Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 74, pp. 71–80.

Capillon, A., David, G., Havet, A., 1988.Typologie des exploitations et diagnostic sur l'assolement fourrager. Cas du marais de Rochefort. *Fourrages*, 113, 15-36.

De Juan, J.A., Tarjuelo, J.M., Valiente, M., Garcia, P., 1996. Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production functions and irrigation uniformi-

ty. I: Development of a decision model. *Agricultural Water Management,* 31, 115-143.

Dury, J., 2011. *The cropping-plan decision-making: A farm level modelling and simulation approach*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

Dury, J., Schaller, N., Garcia, F., Reynaud, A., Bergez, J.E., 2011. Models to support cropping plan and crop rotation decisions. *Agronomy for sustainable development*. DOI: 10.1007/s13593-011-0037-x

Fang, H.Y., Li, Q.Y., Cai, Q.G., 2011. A study on the vegetation recovery and crop pattern. Adjustment on the Loess Plateau of China. *African Journal of Microbiology Research*, 5(12), 1414-1419.

Garrity, D.P., Harwood, R.R., Zandstra, H.G., Price ,E.C., 1981. Determining superior cropping patterns for small farms in a dryland rice environment: test of a methodology. *Agricultural systems*, 6, 269-283.

Haouari, M., Azaiez, M.N., 2001. Optimal cropping patterns under water deficits. *European Journal of Operational Research*, 130, 133-146.

Hassan, I., Arif Raza, M.,Khalil, M., Ilahi, R., 2004. Determination of Optimum Cropping Pattern in the Faisalabad Division (Pakistan). *International Journal of Agricultural Biology*, 6(5), 901–903.

Hénin, S., Sebillotte, M, 1962. Si nous parlions «assolement»… *Bulletin des Ceta*, 783, 1-8.

Itoh, T., Ishii, H., Nanseki, T., 2003. A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 555-558.

Jacquin, C., Deumier, J.M., Leroy, P., 1993. LORA et la gestion de l'eau dans l'exploitation agricole. *Perspectives Agricoles,* 184, 73-82.

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 and development*, 17(5), 467-478.

Karamouz, M., Zahraie, B., Kerachian, R., Eslami, A., 2010. Crop pattern and conjunctive use management: a case study. *Irrigation and Drainage*, 59, 161-173.

Kipkorir, E.C., Sahlia, A., Raes, D., 2002. Mios: a decision tool for determination of optimal irrigated cropping pattern of a multicrop system under water scarcity constraints. *Irrigation and Drainage* 51, 155-166.

Le Bail, M., Lécroart, B., Gauffreteau, A., Angevin, F., Messéan, 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 Ber, F., Benoit, M., 1998. Modelling the spatial organization of land use in a farming territory. Example of a village in the Plateau Lorrain. *Agronomie*, 18, 103-115.

Lefort, G., Sebillotte, M., 1964. Application de la programmation linéaire à la détermination du système de production d'une exploitation agricole. *Compte Rendus de l'Académie d'Agriculture de France,* 50, 239-243.

Leroy, P., Jacquin, C., 1994. Un logiciel pour le choix de l'assolement sur le périmètre irrigable d'une exploitation. *17th European Regional Conference ICID, Varna, 16-22 May*, Vol. 2, pp. 61-72

Lô-Pelzer, E., Bousset, L., Jeuffroy, M.H., Salam, M., Pinochet, X., Boillot, M., Aubertot, J.N., 2010. SIPPOM-WOSR: a simulator for integrated pathogen population management of phoma stem canker on winter oilseed rape: I. Description of the model. *Field Crops Research*, 118(1), 73-81

Mainuddin, M., Das Gupta, A., Raj Onta, P., 1997. Optimal crop planning model for an existing groundwater irrigation project in Thailand. *Agricultural Water Management,* 33, 43-62.

Manichon, H., Sebillotte, M., 1969. Un exemple de détermination de références techniques : les temps de travaux. Contribution à un meilleur choix de l'assolement. Le labour d'automne. *Annales Agronomiques,* 20(3), 305-315.

Martin, P., Papy, F., Souchère, V., Capillon, A., 1998. Maîtrise du ruissellement et modélisation des pratiques de production. *Cahiers Agricultures*, 7(2), 111-119.

Martínez-Casasnovas, J.A., Martín-Montero, A., Auxiliadora Casterad, M., 2005. Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. *European Journal of Agronomy,* 23, 159-169.

Maxime, F., Mollet, J.M., Papy, F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures*, 4(5), 351-362.

Meshesha, D.T., Tsunekawa, A., Tsubo, M., 2012. Continuing land degradation: cause-effect in Ethiopa's central rift valley. *Land Degradation and Development,* 23, 130-143.

Möller, K., Schulz, R., Müller, T., 2011. Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.,* 89, 303-312.

Morlon, P., Benoit, M., 1990. Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole. *Agronomie*, 6, 499-508.

Papy, F., 2008. Le système de culture : un concept riche de sens pour penser le futur. *Cahiers Agricultures*, 17(3), 263-269.

Papy, F., Attonaty, J.M., Laporte, C., Soler L.G., 1988a. Work organization simulation as a basis for farm management advice. *Agricultural Systems*, 27, 295-314.

Papy, F., Boiffin, J., Douyer, C., 1988b. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. II. Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. *Agronomie*, 8, 745-756.

Petit, S., Boursault, A., Le Guilloux, M., Munier-Jolain, N., Reboud, X., 2010. Weeds in agricultural landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development,* 31(2), 309-317.

Poux, X., Tristant, D., Ramanantsoa, J., 2009. *Fiche-variable Assolement et rotations de la « ferme France »*, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'agriculture, 9 p.

Reboul, C., 1977.. *Actes de la recherche en* Déterminants sociaux de la fertilité des sols *sciences sociales*, 17-18, 85-112.

Righi, E., Dogliotti, S., Stefanini, F.M., Pacini, G.C., 2011. Capturing farm diversity at regional level to up-scale farm level impact assessment of sustainable development options. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 142, 63-74.

Rounsevell, M.D.A., Annetts, J.E., Audsley, E., Mayr, T., Reginster, I., 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95, 465-479.

Schaldach, R., Priess, J.A., 2008. Integrated models of the land system: a review of modelling approaches on the regional to global scale. *Living Reviews in Landscape Research*, 2(1).

Schaller, N., 2011. *Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage.* Thèse de doctorat d'AgroParisTech, Paris.

Schaller, N., 2012. *La diversification des assolements en France : intérêts, freins et enjeux*. Analyse n°51, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'agriculture, 4p.

Sebillotte, M., 1966. Rotations et assolements. *Revue agricole de France,* 52, 18 p.

Sebillotte, M., 1969. Les modifications des assolements et rotations liées à l'emploi des herbicides. *In : Compte rendu du colloque « Herbicides et techniques de culture »,* Versailles 11-12 février 1969, FNGPC-Columa, Paris, 235-289.

Singh, D.K., Jaiswal, C.S., Reddy, K.S., Singh, R.M., Bhandarkar, D.M., 2001. Optimal cropping pattern in a canal command area. *Agricultural Water Management*, 50, 1-8.

Sorel, L., Viaud, V., Durand, P., Walter, C., 2010.Modeling spatio-temporal crop allocation patterns by a stochastic decision tree method, considering agronomic driving factors. *Agricultural Systems*, 103, 647-655.

Svirezhev, J.M. , Racsko, P., 1992. Minimum risk criterion for optimal allocation of crops. *Ecological modeling,* 61, 217-225.

Tsakiris, G., Spiliotis, M., 2006. Cropping pattern planning under water supply from multiple sources. *Irrigation and Drainage Systems*, 20, 57-68.

Valbuena, D., Verburg, P.H., Bregt, A.K., 2008. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128(1-2), 27-36.

Wolff, A., Paul, J.P., Martin, J.L., Bretagnolle, V., 2001. The benefits of extensive agriculture to birds: the case of the little bustard. *Journal of Applied Ecology,* 38, 963-975.

Wu, J., Adams, R.M., 2001. Production Risk, Acreage Decisions and Implications for Revenue Insurance Programs. *Canadian Journal of Agricultural Economics,* 49, 19-35.