HAL
open science

Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ?

Delphine Leenhardt, Olivier Therond, Catherine C. Mignolet

To cite this version:

Delphine Leenhardt, Olivier Therond, Catherine C. Mignolet. Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ?. Agronomie, Environnement & Sociétés, 2012, 2 (2), pp.77-89. hal-02648041

HAL Id: hal-02648041

https://hal.inrae.fr/hal-02648041v1

Submitted on 29 May 2020

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.

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

Agronomie
environnement & sociétés

Assolements et gestion quantitative de l'eau
de l'exploitation agricole au territoire

La revue de l'association française d'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)

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

L'assolement du point de vue du territoire et des filières

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

Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ?

Delphine LEENHARDT [1*], Olivier THEROND [1], Catherine MIGNOLET [2]

[1] *Agronomes - INRA, UMR INRA-INPT 1248 AGIR - Boîte Postale 52627 - F-31326 Castanet-Tolosan Cedex - Tel : 33(5)61285043 - Fax : 33(5)61735537*
E-mails : Delphine.Burger-Leenhardt@toulouse.inra.fr et Olivier.Therond@toulouse.inra.fr
[2] *Agronome - INRA, UR55 ASTER - 662, avenue Louis Buffet F-88500 - Mirecourt*
E-mail : Catherine.Mignolet@mirecourt.inra.fr

**auteur correspondant*

Résumé
Sur un territoire agricole irrigable, gérer la ressource en eau suppose de s'intéresser à l'usage agricole. Par exemple, la demande en eau d'irrigation du territoire est fortement dépendante des systèmes de culture en place, c'est-à-dire des cultures implantées, des successions de cultures dans lesquelles elles s'insèrent et de la conduite de ces cultures. La connaissance de la diversité des systèmes de culture d'un grand territoire et de leur répartition spatiale est donc essentielle. Nous identifions que l'accès à celle-ci pose trois grand types de problèmes : (1) quelle résolution spatiale et (2) quel degré de précision viser pour la description des systèmes de culture et par ailleurs (3) comment accéder aux informations nécessaires à la résolution et au degré de précision attendus ? Nous avons choisi d'insister sur les dernières avancées méthodologiques permettant de traiter cette dernière question en nous appuyant sur des exemples de travaux de recherche concernant la gestion de l'eau.

Mots-clés
Gestion de l'eau, agronomie, systèmes de culture, spatialisation.

Abstract
In agricultural regions where irrigation is practiced, agriculture is the major water user and of most concern for water managers. On a given area, cropping systems (that is, the crops, the successions in which they are inserted and their management system) strongly influence irrigation demand. Therefore water management needs to cope with the diversity of cropping systems and their spatial distribution over the study area.
This paper lists and describes the problems associated to the description and location of cropping systems over wide areas: at which spatial resolution describing cropping systems? How precisely describing the cropping systems? How getting information for this description and for locating them? We develop the last methodological progress to get information on cropping systems and manage it to describe their spatial distribution. Direct methods combine data bases or remote sensing with statistical treatments or modelling to overcome problems of temporal or spatial cover of the area and finally get georeferenced information on cropping systems. Indirect methods link variables that are georeferenced to variables describing cropping system in order to localise the latter. All recent methodological developments highlight the importance of building cropping systems data bases, and making them durable and available for water management.

Introduction : pourquoi représenter les systèmes de culture sur de grands territoires est-il un enjeu pour la gestion quantitative de l'eau ?

Sur un territoire pouvant être irrigué, gérer la ressource en eau impose de s'intéresser particulièrement à l'usage agricole. En effet, par rapport aux autres usages (industriels, énergétiques et domestiques), l'usage agricole représente en moyenne, sur le territoire français et sur l'année, 68% de la consommation de la ressource en eau, et peut atteindre 90% en été (période d'étiage) dans le sud de la France[1]. Le propos de notre article concerne les grands territoires pouvant être irrigués, c'est-à-dire des espaces, allant de quelques centaines à quelques milliers voire dizaines de milliers de km², qui comportent des cultures irriguées et des cultures non irriguées.
À l'échelle régionale, les questions relatives à la gestion de l'eau en agriculture sont très nombreuses : prévision des prélèvements agricoles, partage entre usages de l'eau, effet des restrictions d'eau sur les activités économiques, etc. Elles concernent les gestionnaires opérationnels qui doivent décider en cours de campagne d'irrigation comment partager l'eau entre les différents usagers et donc anticiper le niveau et la distribution temporelle des prélèvements agricoles. Elles concernent aussi les institutions chargées de l'élaboration de politiques publiques relatives à la gestion de l'eau qui sont intéressées par l'effet de différentes modalités de gestion de la ressource (par ex., restrictions, quotas, tarification) sur la dynamique des prélèvements agricoles et des ressources en eau (débit des cours d'eau,

[1] http://www.arpe-mip.com/html/8-5529-La-Mission-regionale-2003-2005.php

niveaux des nappes et des réservoirs). Dans les deux cas, les gestionnaires de l'eau doivent (ou devraient) tenir compte de la distribution spatiale (actuelle, future, possible) des usages du sol pour anticiper son impact sur la disponibilité et la qualité de l'eau, pour concevoir des politiques adaptées permettant d'atteindre des objectifs spécifiques comme le respect des normes de qualité de l'eau, la diminution de l'occurrence des crises de gestion quantitative de l'eau, ou permettant d'éviter la construction d'ouvrages de stockage de l'eau, ou pour évaluer les coûts-bénéfices et dimensionner de futurs ouvrages là où cela est jugé nécessaire.

Ainsi, la prise en compte des usages du sol et de leur distribution spatiale est partie intégrante de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (définie par le Partenariat mondial de l'eau en 2000[2]) et de ce qui est appelé la « gestion spatiale de l'eau » (Narcy et Mermet, 2003), en opposition à une logique centrée sur la gestion des ressources en eau, communément appelée logique « du tuyau ». De plus, concernant les usages du sol en zone agricole, il est important de ne pas considérer seulement les cultures mais aussi les pratiques culturales associées. En effet, celles-ci ont un impact sur les flux d'eau entrant ou sortant des parcelles et donc une importance pour les enjeux de gestion quantitative de l'eau.

Les objectifs de cet article sont de deux ordres. Dans une première partie, nous faisons le point sur les problèmes qui se posent pour décrire les usages du sol dès lors qu'on ne s'intéresse pas seulement aux cultures mais aussi aux successions dans lesquelles elles s'insèrent et aux pratiques culturales qui y sont associées, c'est-à-dire aux systèmes de culture[3]. Dans une seconde partie, nous proposons un aperçu des dernières avancées méthodologiques produites pour caractériser les systèmes de culture et leur distribution spatiale, en nous appuyant sur des exemples de travaux de recherche développés pour répondre à une question relative à la gestion de l'eau. Cet article est une actualisation et une illustration, par des exemples liés à la gestion quantitative de l'eau, de l'article de Leenhardt *et al*. (2010) sur la spatialisation des systèmes de culture.

Les problèmes posés

L'évaluation de l'impact de l'utilisation du sol et plus particulièrement de la distribution spatiale des systèmes de culture sur les prélèvements et flux d'eau dans le territoire est souvent réalisée par modélisation et simulation. Il s'agit d'utiliser des modèles numériques pour simuler les interactions entre dynamiques de croissance et développement des cultures, dynamiques de conduites des cultures et dynamiques des flux d'eau. Ces modèles permettent de calculer des indicateurs de performances des systèmes de culture, par ex. leur besoin en eau d'irrigation ou leur rendement. L'application de ces modèles sur de vastes territoires s'avère particulièrement délicate du fait de la difficulté à accéder aux données d'entrées relatives aux systèmes de culture alors que les données relatives à l'environnement biophysique bénéficient de méthodologies éprouvées (Leenhardt *et al*., 2006). En effet, pour les variables qui varient de manière relativement continue dans l'espace, comme la température de l'air, le rayonnement incident ou, dans une moindre mesure, la pluie, on bénéficie de méthodes d'interpolation éprouvées et opérationnelles pour simuler leur distribution spatiale entre les points de mesure. Pour les variables dont les valeurs présentent des discontinuités spatiales (entre parcelles, entre unités pédologiques), ces méthodes ne s'appliquent plus. Si les valeurs des variables étudiées ont une stabilité temporelle importante, on peut conduire des travaux de cartographie qui restent d'actualité longtemps, ce qui est le cas des sols. Par contre, les valeurs des variables relatives aux systèmes de culture sont non seulement discontinues dans l'espace puisqu'elles varient d'une parcelle à l'autre, mais elles évoluent également dans le temps. Parmi elles, la variable ayant le plus de stabilité temporelle est la nature de la culture (stable sur quelques mois). Accéder à la connaissance des systèmes de culture en tous points d'un vaste territoire pose donc des problèmes méthodologiques spécifiques.

[2] http://www.gwp.org/en/The-Challenge/What-is-IWRM/

[3] D'après Sebillotte (1990), un système de culture est défini comme " L'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues ".

Quelle résolution spatiale viser ?

Le premier problème est celui du choix de l'unité spatiale qu'on cherche à qualifier en termes de systèmes de culture. Cette unité est appelée « unité de support » (Faivre *et al*., 2004). La parcelle, ou le bloc de parcelles, entité conduite de manière homogène, est l'unité du système de culture. Pour autant, cette unité ne s'impose pas nécessairement comme unité de support. Leenhardt *et al.* (2010) montrent que la nécessité de localiser chaque parcelle et d'en caractériser le système de culture s'impose quand on s'intéresse aux flux entre parcelles. Ceux-ci dépendent des caractéristiques de chacune des parcelles (par ex. longueur, pente, bande enherbée) et de leur environnement biophysique (par ex. haie, talus, fossé). En matière de gestion quantitative de l'eau, le choix de la parcelle est privilégié lorsque l'on s'intéresse par exemple aux dynamiques de remplissage et de vidage de réservoirs ou à l'évolution des débits de rivières dans des environnements topographiques et géologiques particuliers : la prise en compte de lignes d'écoulements préférentiels des eaux ou des connexions hydrauliques des parcelles entre elles et avec les ressources en eau peut s'avérer nécessaire. Par contre, dès lors que la situation géomorphologique est plane ou que l'on s'intéresse aux intrants (l'irrigation par exemple), ce sont souvent la disponibilité, la représentativité des données ou les préoccupations des porteurs d'enjeu qui conduisent à choisir l'unité spatiale de caractérisation des systèmes de culture. Ainsi Ledoux *et al*. (2007), évaluant les flux d'eau et de nitrates vers la nappe sur un très vaste territoire (Bassin de la Seine – 90 000 km^2), adoptent comme unité de support la petite région agricole, niveau minimal de représentativité de la base de données Teruti utilisée dans l'étude et ayant une bonne concordance avec les aquifères du bassin. De même, Clavel *et al.* (2011), évaluant les apports d'irrigation, choisissent des unités de support ayant une signification pour les porteurs d'enjeux locaux et les gestionnaires de l'eau : des intersections entre unités de gestion de l'eau (portions de bassins versants) et petites régions agricoles (homogènes d'un point de vue agricole et pédoclimatique).

À quel niveau de précision décrire les systèmes de culture ?

Un deuxième problème consiste à déterminer la nature des variables suffisant à décrire les systèmes de culture dans un territoire. Connaître toutes les cultures, les successions dans lesquelles elles s'insèrent, ainsi que le détail de toutes les interventions culturales de toutes les cultures sur toutes les parcelles d'une région semble difficile, voire impossible, si le territoire d'étude est étendu, et peut en outre s'avérer inutile pour répondre à la question posée. En conséquence, de nombreuses approches consistent à déterminer les caractéristiques clés des systèmes de culture à considérer pour répondre à la problématique en jeu. Par exemple, sur une problématique de demande en eau d'irrigation en zone maïsicole, où le maïs est majoritairement conduit en monoculture, Maton (2006) a considéré qu'outre les stratégies d'irrigation, il fallait représenter les stratégies de semis et de choix de précocité du maïs car la date de semis, la densité de semis et la longueur du cycle cultural conditionnent fortement la quantité d'irrigation totale et la période à laquelle la demande d'irrigation est la plus forte. Cela l'a conduite à simplifier sa représentation du système de culture de maïs à ces trois pratiques, semis, précocité et irrigation, et négliger par exemple les pratiques de protection phytosanitaire. De la même façon, sur une problématique de ruissellement produit par les parcelles culturales et pouvant générer des problèmes de coulées boueuses, Joannon (2004) réduit le système de culture aux opérations de labour, déchaumage, récolte et implantation de cultures intermédiaires ou dérobées qui sont celles qui modifient le plus les états de surface. Dernier exemple, sur une problématique de contamination des ressources en eau souterraines par le nitrate, Mignolet (2008) choisit de caractériser les grands types de successions culturales du bassin versant étudié (prise en compte de l'effet précédent sur les pratiques de fertilisation azotée de la culture suivante et des périodes d'interculture en sol nu), puis en fonction de ces types de successions de décrire les pratiques culturales les plus directement liées au cycle de l'azote (fertilisation azotée minérale et organique, travail du sol, dates de semis et de récolte).

La description formelle des systèmes de culture peut être réalisée de deux manières différentes. Classiquement elle correspond à celle des opéra-

tions techniques réalisées : modalités d'intervention, date et si nécessaire nature et quantité des produits utilisés. Plus rarement, elle prend la forme d'un jeu de règles de décision représentant la stratégie des agriculteurs sous la forme : SI [indicateur][opérateur][seuil] ALORS [opération technique][4]. Ce dernier mode de description est indispensable si l'on veut utiliser des modèles bio-décisionnels (Bergez *et al.*, 2001). L'usage de modèles bio-décisionnels permet de simuler l'effet de la variabilité climatique interannuelle sur les dates de réalisation des opérations techniques et par conséquent sur la dynamique des variables d'état décrivant le système sol/plante.

Comment accéder à l'information ?

Le dernier problème est de collecter l'information nécessaire à la résolution voulue. S'il est théoriquement possible de conduire des enquêtes auprès des agriculteurs eux-mêmes pour obtenir les caractéristiques de leurs systèmes de culture, cette solution se heurte à de nombreuses limites. La toute première est une limite logistique et financière : sur de grands territoires, il est souvent difficile de mobiliser les ressources suffisantes pour conduire ce travail d'enquête. Une autre limite est méthodologique : quelles méthodes d'échantillonnage et d'enquête mettre en œuvre pour éliciter les connaissances cibles, souvent tacites? Enfin, une dernière limite porte sur l'acceptabilité de ce type d'enquête : quel accueil peut lui être réservé par le milieu agricole qui peut être méfiant quant à l'utilisation qui pourrait être faite des informations recueillies ? Une autre option est de recourir à des enquêtes à dires d'experts pour décrire et localiser les grands types de systèmes de culture pratiqués dans un territoire. Ainsi Mignolet *et al.* (2004) ont enquêté des conseillers de différentes organisations professionnelles agricoles pour décrire les séquences de culture et les pratiques agricoles. Ces auteurs montrent que la variabilité des informations récoltées selon les experts, et leur biais par rapport aux données observées, rendent cette option plus adaptée à la description de tendances sur des zones étendues qu'à une description précise des pratiques et séquences de culture sur une zone restreinte et une année donnée. C'est pourquoi l'accès à la connaissance des systèmes de culture et de leur distribution spatiale sur de grands territoires, à une résolution spatiale relativement fine, est le plus souvent basé sur des méthodes alternatives.

Nous distinguons deux types de méthodes, selon que l'accès à l'information souhaitée est direct ou indirect. Il est possible d'accéder directement à des informations géoréférencées sur les systèmes de culture au travers de bases de données ou de télédétection. Même si ce qui est observé est directement la variable recherchée (nature des cultures et des successions ou modalités de certaines interventions culturales), des problèmes de traitement de l'information se posent du fait de la couverture spatiale et temporelle souvent incomplète du territoire. Dans le second cas, n'ayant pas accès à des informations géoréférencées sur les systèmes de culture eux-mêmes, on cherche à établir des liens entre des variables que l'on est capable de spatialiser (par ex. unités de sol) et des pratiques (par ex. d'irrigation). Ces variables sont alors considérées comme des déterminants de la distribution spatiale des systèmes de culture et permettent de spatialiser, de manière indirecte, les informations sur les systèmes de culture. Ces deux types de méthodes font l'objet de la section suivante.

Les méthodes d'accès aux informations sur les systèmes de culture et leur distribution spatiale

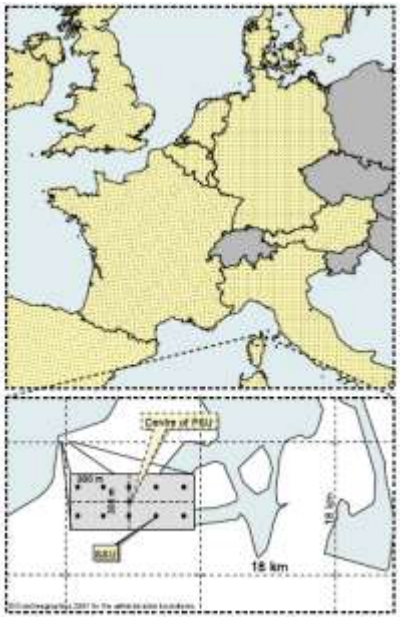
Des méthodes d'accès direct

Les bases de données géoréférencées

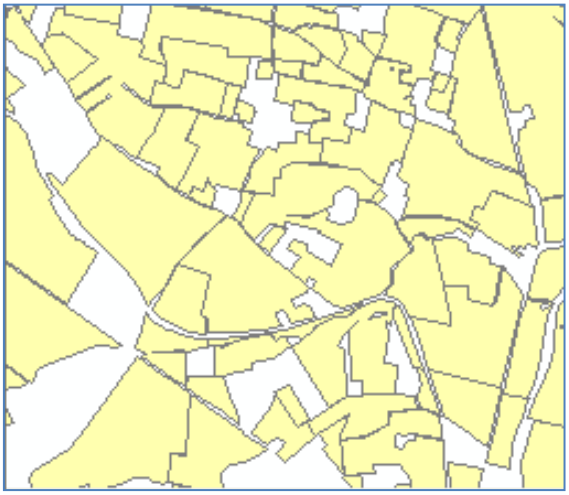
Certaines bases de données permettent d'accéder directement à certaines caractéristiques des systèmes de culture. Par exemple, concernant les occupations du sol, on peut citer les Recensements Agricoles (RA) qui apportent des informations exhaustives sur les cultures de l'année et les enquêtes « pratiques culturales » du Ministère de l'Agriculture qui, depuis 2006, contiennent des informations sur les précédents culturaux des 5 années précédant la culture enquêtée. Ces enquêtes, toutefois, ne sont pas réalisées sur une base annuelle, au contraire des bases de données Teruti-Lucas et du Registre Parcellaire Graphique (RPG) qui recensent les occupations du sol chaque année. Teruti-Lucas et le RPG sont issus de la réglementation européenne. Alors que l'enquête

[4] Voir exemples au tableau 3 plus loin

Lucas est réalisée de manière homogène sur le territoire de l'Union européenne, les modalités de réalisation du « Land Parcel Identification System », correspondant au RPG en France, diffèrent entre pays (Inan *et al.*, 2010). Ces deux bases de données décrivent l'occupation du sol mais diffèrent en termes de résolution et couverture spatiale et de nature de l'information (Tableau 1 page suivante). Depuis 1982, l'enquête Teruti, puis Lucas à partir de 2006, recense annuellement la nature de l'occupation du sol d'un ensemble de points couvrant tout le territoire français et sélectionnés à partir d'une méthode d'échantillonnage à deux niveaux (Fig. 1a - voir aussi : www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_teruti2011metho.pdf), soit sur plus de 550 000 points jusqu'en 2003 et plus de 320 000 depuis. Depuis 2006, le RPG est issu de la déclaration PAC des agriculteurs qui doivent dessiner et mettre à jour, sur une orthophotographie[5] au 1/5000 (Fig 1b), leurs îlots de culture, les cultures qui y sont pratiquées et les surfaces associées. Le RPG, représente environ 6 millions d'îlots en France (27 millions d'hectares) et couvre de manière assez exhaustive le territoire agricole des régions à dominante de grandes cultures et de prairies. Dans cette base de données, chaque îlot, au travers d'un identifiant anonyme, est rattaché à une exploitation.



a)



b)

Figure 1 : a) Méthode d'échantillonnage à deux niveaux de l'enquête Lucas : au premier niveau, une grille de 18 km x 18 km permet de définir des "Primary Sampling Units" (PSUs) puis, un second niveau d'échantillonnage permet de répartir 10 points (Secondary Sampling Units - SSUs) autour du centre de chaque PSU au sein d'un rectangle de 1500 x 600 m de côté. b) jeu d'îlots de culture du RPG digitalisés sur une orthophotographie au 1/5000.

Figure 1: a) Sampling is performed at two levels for Lucas survey : first, a 18 km x 18 km grid allows the definiyion of "Primary Sampling Units" (PSUs), and then, 10 points (Secondary Sampling Units - SSUs) are displaid on a 1500 x 600 m rectangle centered on the centre of each PSU. b) representation of CAP islets of the Land Parcel Identification System, digitized on a 1/5000 orthophotography.

Compte tenu de leurs caractéristiques, ces deux bases de données ont donné lieu à des développements spécifiques pour produire des connaissances sur les séquences de culture au sein des territoires.

Concernant la base de données Teruti-Lucas, l'approche adoptée par l'UR ASTER (INRA Mirecourt) pour accéder à la connaissance des séquences de culture et à leur localisation est basée sur la fouille de données. La théorie des chaînes de Markov cachées permet l'analyse de successions d'observations quelconques, continues ou discrètes. Ces observations sont représentées comme des successions d'états, où les transitions entre états dépendent, suivant l'ordre *n* du modèle, de l'état courant et des *n* états précédents. Il est ainsi possible d'extraire et de dater des régularités dans des séquences d'occupations du sol. En fonction du type de modèle de Markov retenu, les résultats sont exprimés sous la forme de probabilités de transition d'une occupation du sol à une autre, année après année, ou sous la forme de probabilités d'occurrence de séquences de cultures (exprimées en couple de cultures

[5] Image aérienne rectifiée géométriquement pour servir de fond cartographique

Base de données	Unité de support	Couverture spatiale	Profondeur temporelle maximum	Nombre de classes d'occupation des sols	Autres informations
Teruti-Lucas	Point (une seule occupation du sol)	555903 points Teruti 322446 points Lucas en France Un point Teruti-Lucas représente de 40 à 349 ha selon les départements et les années agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_teruti2011metho.pdf	28 ans (avec quelques interruptions)	Teruti : 81 Lucas : 122 (occupations agricoles et non agricoles)	aucune
RPG	Ilot agricole PAC (plusieurs occupations du sol possibles par îlot)	Tous les îlots de toutes les exploitations faisant une déclaration PAC	6 ans	28 dans la version mise à disposition par l'ASP 128 utilisés par les agriculteurs lors de leur déclaration annuelle PAC (occupations agricoles uniquement)	Identifiant de l'exploitation, classe d'âge de l'exploitant, îlot irrigué, forme juridique de l'exploitation

Tableau 1 : Caractéristiques des bases de données annuelles Teruti-Lucas et Registre Parcellaire Graphique (RPG).
Table 1: Characteristics of Teruti-Lucas database and of the French Land Parcel Identification System (RPG).

précédent–suivant si séquence de deux ans, en triplet de trois cultures successives si séquence de trois ans, etc.). L'ensemble de ces calculs est effectué par le logiciel CarottAge[6], développé par le LORIA, qui permet d'identifier les séquences de cultures et d'en décrire la dynamique temporelle dans une unité de support répondant aux contraintes de représentativité de la base de données Teruti-Lucas (Fig. 2 page suivante).

Concernant la base de données RPG, compte tenu de sa faible profondeur temporelle disponible actuellement (6 ans entre 2006 et 2011) mais de sa très bonne couverture spatiale des espaces agricoles primés par la PAC, une autre approche a été développée par l'UMR AGIR (INRA Toulouse). La reconstitution des séquences de culture a été réalisée selon trois étapes. La première reconstitue la « filiation » des îlots entre années par analyse des intersections géographiques. Ainsi, chaque îlot de la dernière année disponible est relié avec un ou plusieurs îlots de chaque année précédente si leur intersection spatiale représente au moins 10 % de la surface de l'un d'eux.

La seconde étape reconstitue les séquences de culture des parcelles des îlots. Elle repose sur deux hypothèses principales (i) la surface d'une classe de culture dans un îlot correspond à la surface d'une parcelle culturale et (ii) les surfaces des parcelles culturales au sein des îlots peuvent être différentes. Une chaîne de traitements permet d'identifier les parcelles culturales composant chaque îlot en détectant les récurrences de surfaces entre années, considérantque des agrégations ou désagrégations de parcelles au sein d'un îlot sont possibles chaque année. Cette reconnaissance de surfaces (strictement égales ou à 5% près) permet de reconstituer la filiation des parcelles entre années et, par conséquent, de reconstituer les séquences à l'échelle de l'unité élémentaire spatiale de mise en œuvre des séquences (plus petit dénominateur spatial entre les parcelles culturales entre les années). Cette approche permet de reconstituer des séquences de culture de 2 à 5 ans sur environ 85% des surfaces déclarées en France (Fig. 3).

[6] http://www.loria.fr/~jfmari/App/

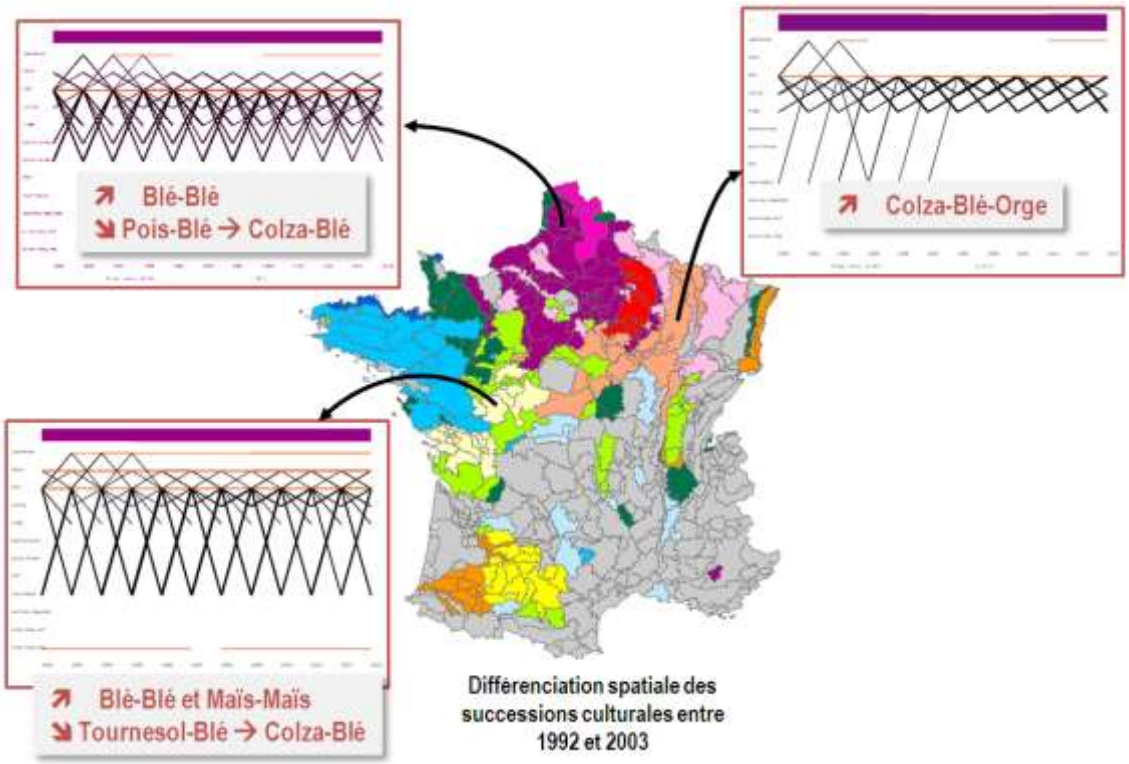


Figure 2 : Reconnaissance de régularités temporelles par fouille de données stochastique à l'aide du logiciel CarottAge sur différentes régions agricoles (colorées sur la carte de France). Les 3 diagrammes de Markov décrivent les principaux enchainements de cultures (en rouge, monocultures ; en noir, enchainements de culture, l'épaisseur du trait signifiant leur importance dans la région agricole considérée).

Figure 2: Identification of time regularities by stochastical data mining using Carottage software for each agricultural region (colored on the map of France). For three regions, we present the Markov graph that describes the main crop successions along years, the thickness of the line corresponding to their areal importance in the region.

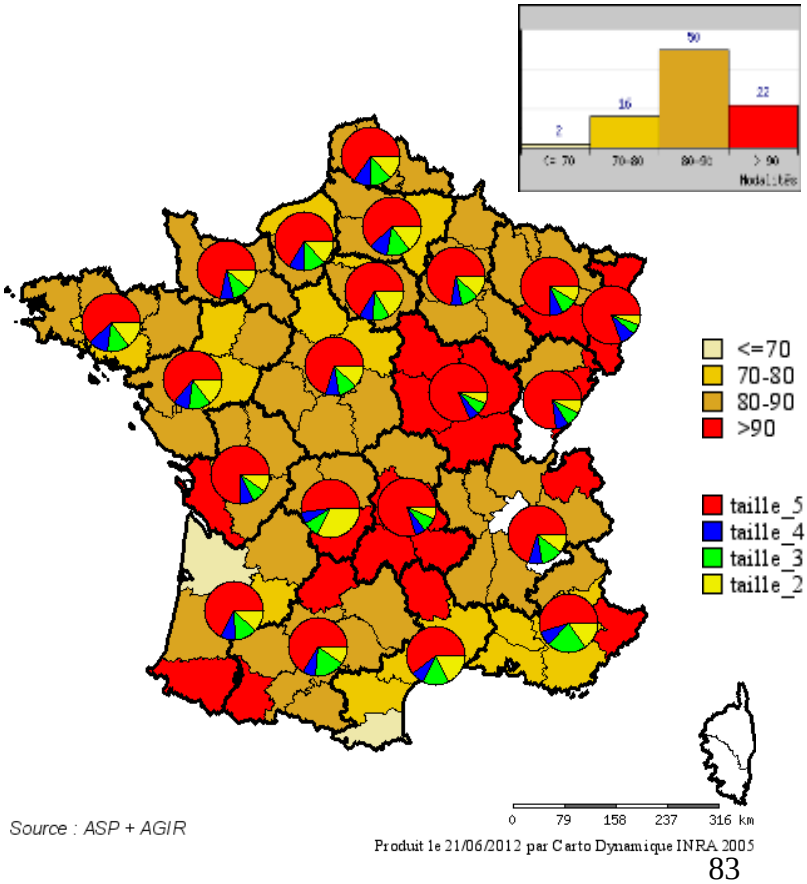


Figure 3 : Résultats des traitements du RPG 2006-2010. La trame de couleur sur la carte représente le pourcentage des surfaces des îlots par département sur lesquelles les séquences de culture ont été reconstituées. L'histogramme représente la distribution du nombre départements de métropole suivant ce pourcentage de reconstitution. Les camemberts représentent la part des séquences de culture reconstituées suivant leur profondeur temporelle, de 2 à 5 ans (taille 2 à 5), par région administrative.

Figure 3: Results of the RPG 2006-2010 treatments. Colours represent the percent of the area of islets per administrative Department on which crop sequences are estimated. The histogram shows the number of departments according to this percent of the area of islets. The pie charts represent the proportion of crop sequences according to their temporal depths, from 2 to 5 years, per administrative region.

La troisième étape, correspond à une méthode d'interpolation (non décrite ici) qui permet d'affecter une séquence aux parcelles des îlots sur lesquelles la deuxième étape n'a pas permis de le faire (c.-à-d. en moyenne sur les 15 % de surfaces déclarées restantes).

Le nombre de séquences différentes ainsi reconstituées est très élevé : par exemple plus de 4 000 séquences différentes sur 4 ans pour un département composé d'environ 80 000 îlots (par ex. le Gers, Tableau 2). Pour obtenir une vue simplifiée de la diversité des séquences et de leur distribution spatiale au sein du territoire, nous avons construit une typologie de séquences, basée sur des connaissances expertes, dont le principal objectif est de regrouper les séquences considérées comme l'expression de la même rotation. Par exemple, les séquences [Blé tendre]/[Tournesol]/[Blé Tendre]/[Tournesol] et [Tournesol]/[Blé tendre]/[Tournesol]/[Blé Tendre] sont assimilées à la rotation [Blé tendre]/[Tournesol]. Le tableau 2 (page suivante) présente les effets de ce traitement sur le nombre de séquences nécessaire pour représenter un pourcentage croissant du territoire considéré. La procédure complète est en cours d'évaluation par comparaison des séquences reconstituées à des données de terrain, notamment issues de la base de données de la zone atelier « Plaine et Val de Sèvre »[7] .

En définitive, les traitements réalisés sur Teruti-Lucas et sur le RPG ont permis de produire des connaissances différentes sur les séquences de cultures. Les premiers permettent d'accéder à la dynamique des séquences de culture au cours du temps, mais sur des unités de support relativement étendues (PRA, département), tandis que les seconds, basés sur l'analyse du RPG, permettent une spatialisation fine des séquences de cultures actuelles, et ainsi, une analyse de la diversité et de la distribution spatiale de celles-ci au sein de tous types de territoires (zone Nature 2000, zone vulnérable, zone d'actions prioritaires, zone économique...) et des exploitations de ceux-ci. Ces travaux représentent une première étape dans la construction d'un système d'information sur la distribution spatiale des systèmes de culture. Pour atteindre cet objectif, ils doivent être complétés par des informations sur les pratiques culturales.

La base de données « pratiques culturales » fournit des informations relatives aux itinéraires techniques. Cette enquête réalisée en 1994, 2001, 2006 et 2011 couvre suivant les années un nombre limité de cultures (blés tendre et dur, orge, colza, pois, maïs, tournesol, betterave, pomme de terre, prairies, jachère). Pour chaque parcelle enquêtée, toutes les interventions culturales de la récolte du précédent à la récolte de la culture, auxquelles s'ajoutent quelques informations sur les règles de décision des agriculteurs, sont renseignées. L'échantillon des parcelles enquêtées correspond à un sous échantillon des points Teruti-Lucas. Le plan d'échantillonnage a pour objectif d'assurer une double représentativité statistique des cultures à une échelle régionale (au moins 5% de la SAU) et à l'échelle France (au moins 60% des surfaces extrapolées sauf pomme de terre et prairies). Par exemple, 14 525 parcelles représentant, par extrapolation, plus de 80% de la SAU sont décrites en 2006. L'analyse de la base de données « pratiques culturales » permet de caractériser la diversité des itinéraires techniques et leur différenciation sur de larges échelles de territoire. L'UMR AGIR et l'Unité de service ODR (INRA) développent actuellement, en collaboration avec ARVALIS - Institut du végétal et le CETIOM, une méthodologie d'extrapolation de ces données sur les pratiques culturales, pour enrichir les données sur les séquences, produites à partir de l'analyse du RPG, et ainsi développer un système d'information sur les systèmes de culture en France métropolitaine dont la résolution spatiale sera l'îlot PAC.

[7] CNRS de Chizé, http://www.zaplainevaldesevre.fr/don/donnees.php

Région	Dept.	Nombre de sequences reconstituées	Nombre de sequences types	Nombre de sequences reconstituées	Nombre de sequences types	Nombre de sequences reconstituées	Nombre de sequences types	Nombre de sequences reconstituées	Nombre de sequences types
		50% du département		75% du département		90% du département		100% du département	
Midi-Pyrénées	09	2	2	21	13	265	140	1860	1389
	32	24	12	153	72	603	325	4055	2894
	82	20	12	171	84	675	398	3176	2366
	12	2	2	6	4	53	31	1465	1090
Alsace	67	5	3	16	9	85	49	1773	1215
Picardie	80	23	13	83	48	198	126	1754	1100
	02	14	8	64	36	193	119	1776	1181
Centre	28	21	14	88	54	279	179	2025	1339
	45	38	24	162	99	490	300	2569	1692
	37	38	19	158	85	524	307	2954	2058
	36	14	7	82	44	390	235	3086	2203
Bourgogne	89	12	7	61	35	218	131	2402	1666
	21	5	2	42	25	221	131	2701	1908
	58	2	1	15	9	114	69	1946	1445

Tableau 2 : Nombre de séquences reconstituées par traitement du RPG 2006-2009 et de séquences types nécessaires pour représenter les 50, 75 et 90 premiers pourcents des surfaces et 100% des surfaces de départements français contrastés en termes de systèmes de production agricole et de systèmes de culture.

Table 2: Number of crop sequences estimated through the RPG 2006-2009 treatment and number of types of sequences that were necessary to cover 50, 75 , 90 and 100 percent of the department's area. The Departments presented here are contrasted in terms of cropping and production systems.

La télédétection

Les capacités de la télédétection à alimenter une base de données pluriannuelles sur l'occupation agricole du sol, et donc de décrire les séquences de culture, n'est plus à démontrer (par ex. Ducrot et Gouaux, 2004). Toutefois la précision de cette information, et donc le degré de caractérisation des systèmes de culture, est dépendante à la fois du capteur utilisé (notamment ses caractéristiques spectrales, sa taille d'image, sa résolution spatiale et sa fréquence de revisite) et du terrain étudié (taille des parcelles culturales). Plus particulièrement, la qualité de l'information relative à la nature des cultures en place est dépendante du nombre d'images acquises sur le cycle de la culture. Si celles-ci sont en nombre insuffisant, les cultures ne seront pas clairement identifiées.

Un des enjeux pour la télédétection est d'être en mesure de fournir une information non plus en fin de cycle cultural ou avec une année de retard (comme les bases de données mentionnées ci-dessus) mais au fil de la saison afin d'être utilisée par les gestionnaires de l'eau en cours de campagne d'irrigation. Dans une logique de gestion opérationnelle de l'eau, notamment pour décider du partage de la ressource entre usages concurrents, la télédétection devrait permettre de distinguer non seulement les cultures d'été des cultures d'hiver (information acquise tôt en saison avec très peu d'images) mais aussi de distinguer les surfaces en maïs irriguées de celles en tournesol ou sorgho, non irriguées, car cette information est nécessaire pour évaluer la part de la ressource requise par l'usage agricole.

Le potentiel opérationnel des satellites d'observation de la terre pour la gestion des ressources sur de grandes surfaces s'est récemment accru avec la programmation de nouvelles missions spatiales telle que Sentinel-2 (ESA). Son objectif est de fournir d'ici 2014-2015 gratuitement, et sur l'ensemble du globe des images décamétriques tous les 2-5 jours. Le traitement de ce type d'images permettra de spatialiser des descripteurs clés des systèmes de culture qui ne sont pas fournis par les bases de données existantes (temporalité du cycle de végétation, date de semis, travail du sol, état hydrique du couvert, période d'irrigation). La mise au point et le développement de ces traitements est actuellement réalisé sur des images produites par des capteurs d'une résolution de 8-10 m comme LANDSAT et SPOT (par ex. Ducrot et Gouaux, 2004). La spatialisation de descripteurs des systèmes de culture, tels que la date de semis ou le travail du sol est réalisée de

manière indirecte. En effet, les capteurs vont permettre d'identifier l'impact de ces pratiques sur le milieu sol (humidité, rugosité) ou sur le milieu plante (réflectance). La méthode pour accéder aux pratiques passe par l'inversion de modèles mécanistes qui, à partir de données d'entrée sur les pratiques, simulent leur impact sur le milieu. Par exemple, les modèles de culture utilisent en entrée des données sur les pratiques (par exemple la date de semis) et simulent le développement foliaire. S'ils sont couplés à des modèles de réflectance, ils permettent de simuler l'évolution de la réflectance du couvert. Pour accéder à la connaissance des pratiques en tout point d'une zone d'étude, on procède à l'assimilation des données de réflectance: les données d'entrée du modèle couplé sont réestimées de manière à minimiser l'écart entre données de réflectance observées et données de réflectance simulées.

Des méthodes indirectes basées sur l'identification de facteurs déterminants

Accéder directement à l'information ciblée peut s'avérer difficile : bases de données peu nombreuses, ne couvrant pas tous les éléments des systèmes de culture, de couverture spatiale incomplète et/ou renfermant des informations peu précises. Il peut donc s'avérer intéressant d'établir des relations entre des informations que l'on sait spatialiser et des caractéristiques des systèmes de culture en vue de spatialiser ces derniers. Nous présentons ici trois exemples illustrant cette approche dans le cadre d'une estimation régionale de la demande en eau d'irrigation et montrant une progression dans la prise en compte de la cohérence des systèmes de culture.

Le premier exemple est celui du modèle ADEAUMIS (Leenhardt *et al*., 2004) qui a été développé pour aider le gestionnaire de l'eau à mieux anticiper les demandes en eau d'irrigation sur un vaste périmètre irrigué, le système Neste (8 000 km² environ). La distribution spatiale des apports d'irrigation à la culture de maïs a été estimée grâce à l'identification de facteurs déterminants de ces apports d'eau et de la possibilité d'estimer la distribution spatiale de ceux-ci. Partant d'un formalisme connu a priori (par expertise) de règles de décision d'irrigation (Bergez *et al*., 2001), une enquête a été réalisée auprès d'un échantillon d'agriculteurs pour identifier la nature et les valeurs seuils des indicateurs utilisés pour activer les différentes règles (démarrage, retour, attente après la pluie, arrêt). Sur la base de cette enquête, une stratégie moyenne a été établie pour la zone d'étude (Tableau 3). Les indicateurs utilisés sont des variables climatiques (pluie, évapotranspiration), ainsi que le stade phénologique du maïs qui est calculable à partir d'une autre variable climatique, la température. Ces variables climatiques étant accessibles en tous points d'une grille de 12.5 km x 12.5 km, le modèle ADEAUMIS est capable de proposer une spatialisation des apports d'eau à cette même résolution. Le deuxième exemple est celui du modèle SIMITKO développé pour simuler les demandes en eau d'irrigation d'une petite région (bassin amont de la Baïse, 500 km² environ) dans le cadre d'exercices prospectifs (Maton, 2006). Une hypothèse forte du travail a été de considérer que les scénarios de changement de contexte (sur les prix, les réglementations ou le climat) pouvaient impacter les systèmes de culture dans leur ensemble et pas seulement un élément de ceux-ci. Aussi, nous nous sommes attachés à comprendre la cohérence du système de culture (ici, monoculture de maïs irrigué) pour identifier des classes de systèmes de culture puis nous en avons recherché les déterminants parmi des variables géoréférençables. La méthode adoptée, décrite par Maton *et al*. (2007), est basée sur des analyses statistiques multivariées (Fig. 4). Nous avons ainsi identifié trois classes de stratégies de semis et de choix de précocité du maïs, indépendantes de la conduite de l'irrigation. Concernant ces stratégies de semis-précocité, deux résultats importants sont : 1) les déterminants identifiés sont des variables structurelles d'exploitation (Surface de cultures, SAU et orientation de l'exploitation - cf Fig. 5), disponibles dans des bases de données telles que le RA et 2) les relations établies entre systèmes de culture et déterminants ne sont pas déterministes mais probabilistes (Fig. 5). Le modèle SIMITKO ainsi développé est un modèle stochastique qui calcule une distribution de quadruplets {date de semis, précocité, densité de semis, surface} par exploitation puis utilise une stratégie moyenne d'irrigation pour calculer une distribution de demande en eau par exploitation. Les exploitations pouvant être distribuées dans l'espace par la localisation de leur siège d'exploitation, les quadruplets décrivant le semis du maïs et les précocités

d'une part et les demandes en eau d'autre part peuvent être spatialisés.

Règle	Si	Condition			Alors	Action	
		indicateur	opérateur	seuil			Volume d'eau apporté
Déclenchement		jour	>=	15 juin		irrigation	20 mm
	et	Stade cultural	>=	10-11 feuilles			
	et	Pluie des 5 derniers jours	<	10 mm			
	et	ETP des 5 derniers jours	>	15 mm			
Retour (sans pluie)		Temps depuis la dernière irrigation	>=	10 jours		irrigation	28 mm avant floraison, 34 mm pendant et après floraison, 32 mm à partir du début de la sénescence
Attente (en cas de pluie)		Cumul des pluies journalières (au-delà de 2 mm) sur les 5 derniers jours*	>=	16 mm		Pas d'irrigation avant min(7, CP_5/5) jours	
Arrêt		Stade cultural	>=	50% d'humidité du grain		Fin de l'irrigation	
	et	Pluie des 7 derniers jours	>	20 mm			
	et	ETP des 7 derniers jours	<	25 mm			
	sinon					Dernière irrigation	20 mm

Ce cumul est noté CP5

Tableau 3 : Spécification des règles de décision utilisées pour décrire une stratégie d'irrigation moyenne sur le secteur des Baïses (repris de Leenhardt et Trouvat, 2004).

Table 3: Description of the decision rules used to characterise an average irrigation strategy in the Baïse sector (from Leenhardt and Trouvat, 2004).

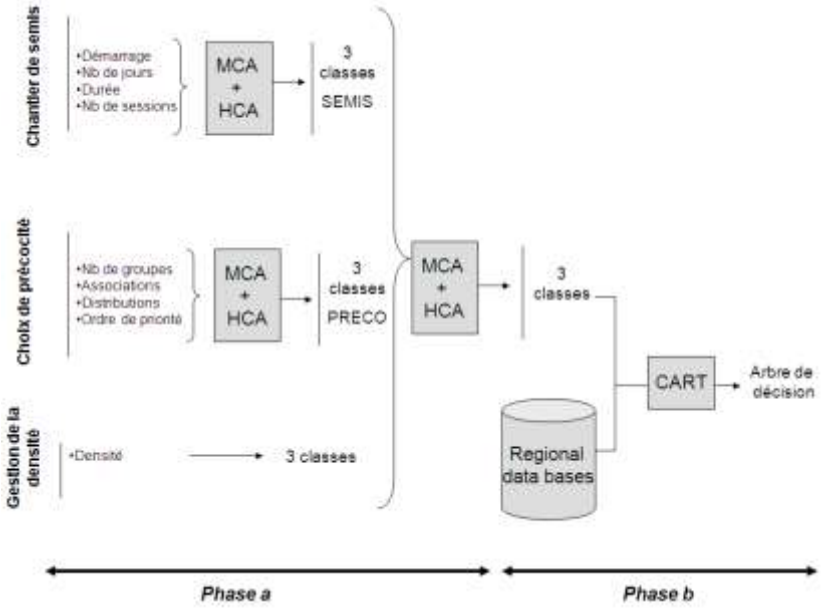


Figure 4: La méthode suivie consiste à appliquer une analyse aux composantes multiples (ACM) suivi d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) aux variables décrivant les modalités de semis et choix de précocité de manière à obtenir des classes de stratégies de semis-précocité, puis à appliquer la méthode CART (*Classification and Regression Tree* - Breiman *et al.*, 1984) pour identifier les liens entre ces classes de stratégies et des indicateurs géo-référencés.

Figure 4: The method corresponds to the application of a multiple component analysis (MCAM) followed by a hierarchical ascendant classification (HCA) to variables describing modalities of sowing and earliness choice, and the application of the CART method (Classification and Regression Tree - Breiman et al., 1984) to identify links between strategies and geo-referenced indicators.

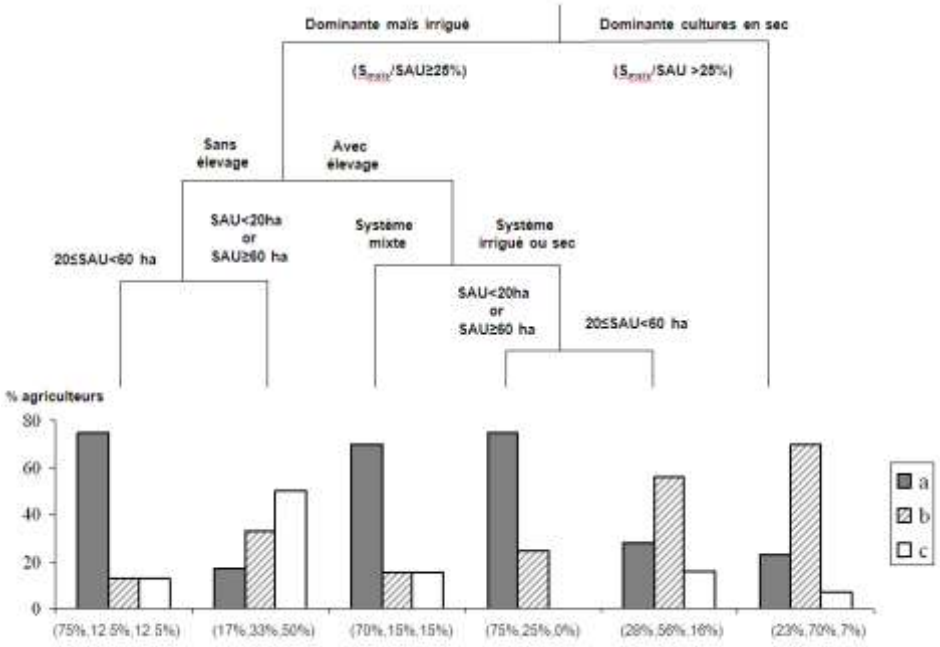


Figure 5 : Arbre de classification permettant de déterminer la distribution des trois classes (a, b et c) de stratégies de semis et de choix de précocité

Figure 5: Classification tree allowing the determination of the distribution of the three classes (a, b and c) of sowing and earliness choice strategies

Le dernier exemple concerne des travaux en cours dans le bassin aval de la rivière Aveyron (environ 600 km²). Comme précédemment, ils sont conduits dans le cadre d'une démarche prospective. Le but est ici d'identifier des organisations spatiales de systèmes de culture qui permettraient de minimiser la fréquence des crises de gestion quantitative de l'eau en période d'étiage, tout en satisfaisant divers critères de durabilité. Notre préoccupation d'évaluation multicritère des systèmes de culture nous a poussés à nous intéresser non plus seulement aux seuls éléments du système de culture ayant un impact direct sur la demande en eau d'irrigation (semis, variété, irrigation), mais à l'ensemble du système de culture, et cela dans une zone où il existe une diversité de systèmes de culture, irrigués et non irrigués. Ainsi, notre objectif est d'identifier les principaux systèmes de culture de la zone d'étude et les déterminants de leur localisation spatiale. Pour cela, nous développons une méthode articulant, en trois étapes, exploitation des bases de données disponibles (par ex. RPG), mobilisation des savoirs d'experts et enquêtes en exploitation agricole. Après analyse des bases de données (étape 1), nous avons réalisé un atelier participatif avec des experts locaux pour lister les principales rotations, mettre en évidence les systèmes de culture qui peuvent être distingués par rotation type, identifier les critères d'existence et de localisation de ces systèmes de culture et, quand c'est possible, réaliser un zonage de ces critères (étape 2). Cette deuxième étape s'apparente au «Zonage A Dire d'Acteurs» (ZADA - Caron et Cheylan, 2008), qui vise à formaliser les connaissances des acteurs locaux et régionaux (agriculteurs, gestionnaires, organismes économiques, etc.) sur leur territoire afin de créer de bonnes conditions pour un débat sur la gestion collective et l'aménagement concerté des ressources de celui-ci. Notre méthode se distingue d'un ZADA classique car nous avons choisi d'utiliser des connaissances résultant du traitement de bases de données (notamment du RPG) pour relancer la discussion avec les experts en cours d'atelier. Les connaissances issues de cet atelier ont permis d'identifier les critères d'échantillonnage des exploitations à enquêter. Deux types de critères sont distingués : (i) les zonages géographiques considérés, par les experts et l'analyse des bases de données, comme homogènes en termes de systèmes de culture (critères spatialisés) et (ii) des caractéristiques de systèmes de production (critères non spatialisés) permettant d'expliquer la variabilité intra zonage géographique. Les connaissances issues de cet atelier devraient permettre, par la suite, d'extrapoler à

l'ensemble du territoire les connaissances issues de l'étape d'enquêtes sur les systèmes de culture (étape 3).

Conclusion

Cet exposé des méthodes développées et mobilisées pour spatialiser les systèmes de culture met en évidence tout l'enjeu qu'il y a à constituer, pérenniser et mettre à disposition les bases de données sur les systèmes de culture, dans l'objectif de constituer des observatoires des pratiques agricoles. Actuellement, les restrictions d'accès aux bases de données telles que le RPG obligent les chercheurs à développer de nouvelles méthodologies pour spatialiser les systèmes de culture alors que cette étape de spatialisation n'est qu'un préalable à la résolution des problèmes de gestion de l'eau portés par les acteurs de terrain !

Bibliographie

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.

Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R., Stone, C.J., 1984. Classification And Regression Trees. Wadsworth, Belmont, CA.

Caron, P., Cheylan, J-P., 2008. Donner sens à l'information géographique pour accompagner les projets de territoire : cartes et représentations spatiales comme supports d'itinéraires croisés, Géocarrefour, vol. 80/2, [En ligne], mis en ligne le 01 décembre 2008. URL : http://geocarrefour.revues.org/1031. Consulté le 31 juillet 2012.

Clavel, L., Soudais, J., Baudet, D., Leenhardt, D., 2011. Integrating expert knowledge and quantitative information for mapping cropping systems. *Land Use Policy*, 28,57-65.

Ducrot, D., Gouaux, P , 2004. Caractérisation des agrosystèmes de la plaine alluviale de la Garonne et des coteaux du Gers, mise en évidence de leurs changements au cours des vingt dernières années. Colloque SFER «les systèmes de production agricoles: performances, évolutions, perspectives», Lille, 18-19 novembre 2004.

Faivre, R., Leenhardt, D., Voltz, M., Benoît, M., Papy, F., Dedieu, G., Wallach, D., 2004. Spatialising crop models. *Agronomie*, 24, 205-217.

Inan, H.I., Sagris, V., Devos, W., Milenov, P., van Oosterom, P., Zevenbergen, J., 2010. Data model for the collaboration between land administration systems and agricultural land parcel identification systems. *Journal of Environmental Management,* 91, 2440-2454.

Joannon, A., 2004. Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus hydrologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du Pays de Caux, Haute Normandie. Thèse INAPG, Paris.

Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J.M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharne, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., Mary, B., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of The Total Environment,* 375, 33-47.

Leenhardt, D., Angevin, F., Biarnes, A., Colbach, N., Mignolet, C., 2010. Describing and locating cropping systems at a regional scale. *Agronomy for Sustainable Development,* 30, 131-138

Leenhardt, D., Trouvat, J-L., 2004. ADEAUMIS, un outil pour estimer la demande en eau d'irrigation à l'échelle régionale. *Ingénieries,* 40, 37-50.

Leenhardt, D., Trouvat, J.-L., Gonzales, G., Perarnaud, V., Prats, S., Bergez, J.-E., 2004. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale: I. ADEAUMIS, a simulation platform based on bio-decisional modelling and spatial information. *Agricultural Water Management,* 68, 207-232.

Leenhardt, D., Wallach, D., Le Moigne, P., Guerif, M., Bruand, A., Casterad, M.A., 2006. Using crop models for multiple fields, in Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W. (Eds.), *Working with dynamic crop models. Evaluation, analysis, parametrization, and applications*, 209-245.

Maton, L., 2006. Représentation et simulation des pratiques culturales des agriculteurs à l'échelle régionale pour estimer la demande en eau d'irrigation. Application à un bassin versant maïsicole du sud-ouest de la France, Thèse INPT, Toulouse.

Maton, L., Leenhardt, D., Bergez, J.E., 2007. Geo-referenced indicators of maize sowing and cultivar choice for better water management. *Agronomy for Sustainable Development,* 27, 377-386.

Mignolet, C., 2008. Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement. Thèse en Agronomie. Paris (FRA) : AgroParisTech : Institut des Sciences et Industries du Vivant de l'Environnement, Paris (FRA) : Ecole Doctorale Agriculture Alimentation Biologie Environnement Santé.

Mignolet, C., Schott, C., Benoît, M., 2004. Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory : a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. *Agronomie*, 24, 219-236.

Narcy, J.B., Mermet, L., 2003. Nouvelles justifications pour une gestion spatiale de l'eau: New justifications for a spatial management of water. *Nature Sciences Société,* 11, 135-145.

Sebillotte, M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In Combe, L., Picard, D. (Eds), *Les systèmes de culture*, INRA, Paris, 165-196.