

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Agronomie et Grenelle de l'environnement

- Grenelle de l'environnement, agriculture, développement durable
- Vers une nouvelle façon d'appréhender et gérer la santé des plantes ?
- Lutte contre l'effet de serre et efficacité énergétique : comment faire converger performance environnementale et performance économique ?
- Gestion durable des ressources en eau et milieux aquatiques : quelle place de l'agronomie dans leur nécessaire gestion territoriale ?
- Agriculture HVE (haute qualité environnementale), slogan ou objectif réaliste ? Une gestion environnementale à cibles multiples est-elle intégrable au niveau des exploitations agricoles et des territoires ?

Quelques contributions de la recherche agronomique à la gestion de l'eau en réponse au Grenelle de l'Environnement

Delphine Leenhardt*, Jacques-Eric Bergez**, Marc Benoît***

* Inra SAD, UMR 1248 AGIR, BP 52627, F- 31326 Castanet Cedex

**Inra E&A, UMR 1248 AGIR, BP 52627, F- 31326 Castanet Cedex

***Inra SAD, U.R. 055 ASTER ; 662, avenue Louis Buffet. F- 88500 Mirecourt

Résumé

Avec le Grenelle de l'Environnement, des ambitions nouvelles ont été affichées pour améliorer la gestion quantitative de l'eau et la qualité des ressources en eau. Cet article présente certains travaux qui montrent que la recherche agronomique avait anticipé le Grenelle de l'Environnement pour s'intéresser à ces problèmes. Ces travaux concernent le développement d'outils et de méthodes permettant d'aider les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau dans leurs opérations de gestion et de planification, et la mise en place sur le terrain d'innovations territoriales dans le cadre de « recherches-intervention ». Si les recherches sur la qualité de l'eau et celles sur la quantité d'eau ont été menées de manière assez distinctes dans le passé, il est maintenant nécessaire de mettre tout en œuvre pour traiter ces questions conjointement sur des terrains communs et de partager les méthodologies.

Mots-clés

Gestion de l'eau, agronomie, outils d'aide à la décision, recherche-intervention

Abstract

How does public research in agronomy contribute to water management in response to the Grenelle Environment forum ambitions?

The Grenelle Environment forum is a set of political meetings organised in France in October 2007 to take long term decisions regarding environment and sustainable development. Regarding water, it announced new ambitions to improve the quantitative management and the quality of

water resources.

This article presents research works of agronomists. One part of these works concern the development of tools and methods to help farmers and water managers in their oper-

ations of management and planning. CRASH is being developed to help farmers to plan their cropping pattern in limited conditions of irrigation water, ADEAUMIS helps the water manager to evaluate the water demand for irrigation at a regional level in order to take better decisions regarding water releases from reservoirs, SPACSS is developed to help water administrators in their policy development process by accounting for stakeholders' views regarding regional cropping pattern, and CORPEN diagrams help farmers and managers to make diagnostics on water pollution risks. Another part of research works correspond to the set up of territorial innovations within the framework of "intervention" research activities. Three case studies are presented. They concern water quality improvement and led to implement a regrouping of lands, a cooperative of agricultural equipment or a contractual management of a territory.

Until now research concerning water quality and those on water quantity were quite separated. It is now necessary to make every effort to examine these questions collectively at the same study sites and to share methodologies.

Keywords

water management, agronomy, decision making tools, intervention research activities

Introduction

Dans le domaine de l'eau¹, le Grenelle de l'Environnement renforce l'obligation de résultats sur les ressources tels qu'écris dans la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA). Concernant la gestion qualitative de l'eau, il identifie 500 captages d'eau potable² (sur 30 000 concernés par la DCE et de la LEMA) pour lesquels des actions prioritaires doivent être mises en œuvre en vue d'améliorer la qualité de l'eau. Concernant la gestion quantitative de l'eau, le COMOP³ n°17 suggère de définir des volumes disponibles pour l'irrigation par bassin versant, et la création d'un organisme unique par bassin pour gérer les prélèvements d'irrigation dans la limite de ces volumes disponibles. Ces propositions amplifient les propositions du gouvernement qui proposait d'adapter les prélèvements aux ressources en diminuant les prélèvements pendant les périodes de faibles eaux. Pour cela, la mise en place d'une gestion collective des quotas d'eau devait être étudiée. La solution d'équilibrer offre

¹ http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/rapport_final_comop_17.pdf

² <http://agriculture.gouv.fr/identification-des-500-captages>

³ Comité opérationnel mis en place pour proposer ces actions ; le COMOP n°17 s'est intéressé spécifiquement à la question de l'eau.

et demande en eau par la création de ressources additionnelles (barrages) était également proposée.

Si une des conséquences du Grenelle de l'Environnement a été l'implication de la recherche dans l'exercice collectif ECOPHYTO 2018 pour répondre à l'enjeu majeur des qualités des eaux dégradées par les produits phytosanitaires, aucune injonction ou mission précise n'a directement émergé à destination de la recherche agronomique, malgré les différents travaux menés sur les problèmes de gestion de l'eau depuis plusieurs années. Dans cet article, nous présentons certains travaux illustratifs de la contribution de la recherche agronomique aux préoccupations mises en lumière lors du Grenelle de l'Environnement. Ils concernent le développement d'outils et de méthodes permettant d'aider les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau dans leurs opérations de gestion et de planification de l'usage de l'eau agricole, et la mise en place sur le terrain d'innovations territoriales dans le cadre de « recherches-intervention » permettant d'améliorer l'état des ressources en eau. Certains de ces travaux ont été initiés de manière bien antérieure aux dates clés que sont la DCE (2000), la LEMA (2004) et le Grenelle de l'Environnement (2009).

Développement d'outils d'aide à la gestion quantitative de l'eau

Trois exemples d'outils pour la gestion quantitative de l'eau sont présentés ici. Ils concernent l'échelle de l'exploitation agricole et l'échelle du territoire pour résoudre des questions relevant de décisions d'ordre stratégique ou des problèmes de planification.

A l'échelle de l'exploitation agricole

Le premier gestionnaire de l'eau au niveau agricole est l'agriculteur. Ses choix de culture et ses itinéraires techniques le conduisent à avoir une demande en eau d'irrigation plus ou moins importante. Ainsi les cultures d'hiver demandent très peu d'eau d'irrigation car elles atteignent habituellement leur maturité avant les périodes de déficit hydrique estival. Cependant il n'est pas possible, pour des raisons agronomiques et de filière, de ne cultiver que des cultures d'hiver. Il est important de créer des rotations mélangeant espèces, précocités et alternances de saison pour éviter le dé-

veloppement des populations d'adventices et de parasites.

Basé sur des travaux antérieurs permettant le raisonnement de l'irrigation sur une sole de maïs (MODERATO, Bergez et al., 2001) ainsi que sur un outil d'optimisation d'assolement (LORA, Jacquin et al., 1993), les agronomes de l'INRA de Toulouse, en collaboration avec des informaticiens, des mathématiciens et des économistes, ont développé un outil de simulation pour aider au choix d'assolement au niveau de l'exploitation agricole. Cet outil (CRASH : Crop Rotation and Allocation Simulator using Heuristics) est un outil mobilisant une analyse du fonctionnement décisionnel des agriculteurs et des modèles de simulation des plantes. Il s'agit d'un outil informatique qui est destiné en premier lieu aux conseillers techniques pour aider les agriculteurs à anticiper leurs besoins en eau agricole en modifiant l'assolement des cultures et l'itinéraire technique associé à ces cultures.

CRASH a été développé sur la base d'un modèle conceptuel établi grâce à une méthodologie originale qui intègre les observations de terrain avec le cadre théorique du comportement décisionnel d'acteurs tout en mobilisant des outils de représentation informatique des systèmes complexes (Dury et al., 2010). Ainsi, l'ingénierie des connaissances et la théorie de la rationalité procédurale (Simon 1947; 1976) ont permis de modéliser la représentation qu'a l'agriculteur de son exploitation agricole et des objectifs qu'il lui assigne. Cette représentation a servi de fondement pour des modèles de décision. L'assolement par exemple est représenté comme un processus dynamique permettant l'atteinte de différents objectifs en fonction de contraintes incertaines et dynamiques, tels que notamment la quantité d'eau disponible pour l'irrigation. CRASH s'appuie également sur une représentation renouvelée concernant la modélisation des systèmes agricoles (Martin-Clouaire et Rellier, 2009; Le Gal et al, 2010). Il est ainsi structuré selon trois modules en interaction: un module « Agent », un module « Exploitation » et un module représentant la partie « Biophysique » (Figure 1). Pour représenter de façon réaliste la prise de décision, le module « Agent » mobilise le cadre théorique BDI (Belief, Desire, Intention) proposé par Bratman (1987). Le module « biophysique » est un modèle spatialement explicite des parcelles de l'agriculteur permettant de simuler de façon dynamique la crois-

sance des cultures et les besoins en eau liés aux itinéraires techniques choisis. Le module « Exploitation » permet de représenter les décisions de l'agriculteur d'un point de vue technique (assolement, décision d'itinéraire technique) en mobilisant « la base de connaissances de l'agent » et en l'appliquant sur le territoire de l'exploitation. Cette base de connaissance intègre l'estimation des rendements des principales cultures et leur variabilité sur l'exploitation, la disponibilité estimée des facteurs de production (équipement,

main d'œuvre, eau, sol), une connaissance imparfaite des prix de vente des cultures, etc. Finalement, en prenant explicitement en compte l'échelle de l'exploitation agricole, en simulant la mise en place de l'assolement selon un processus dynamique et en tenant compte des incertitudes entachant les informations nécessaires à la décision, cet outil prend un compte un certain nombre de points qui étaient absents dans les outils précédents.

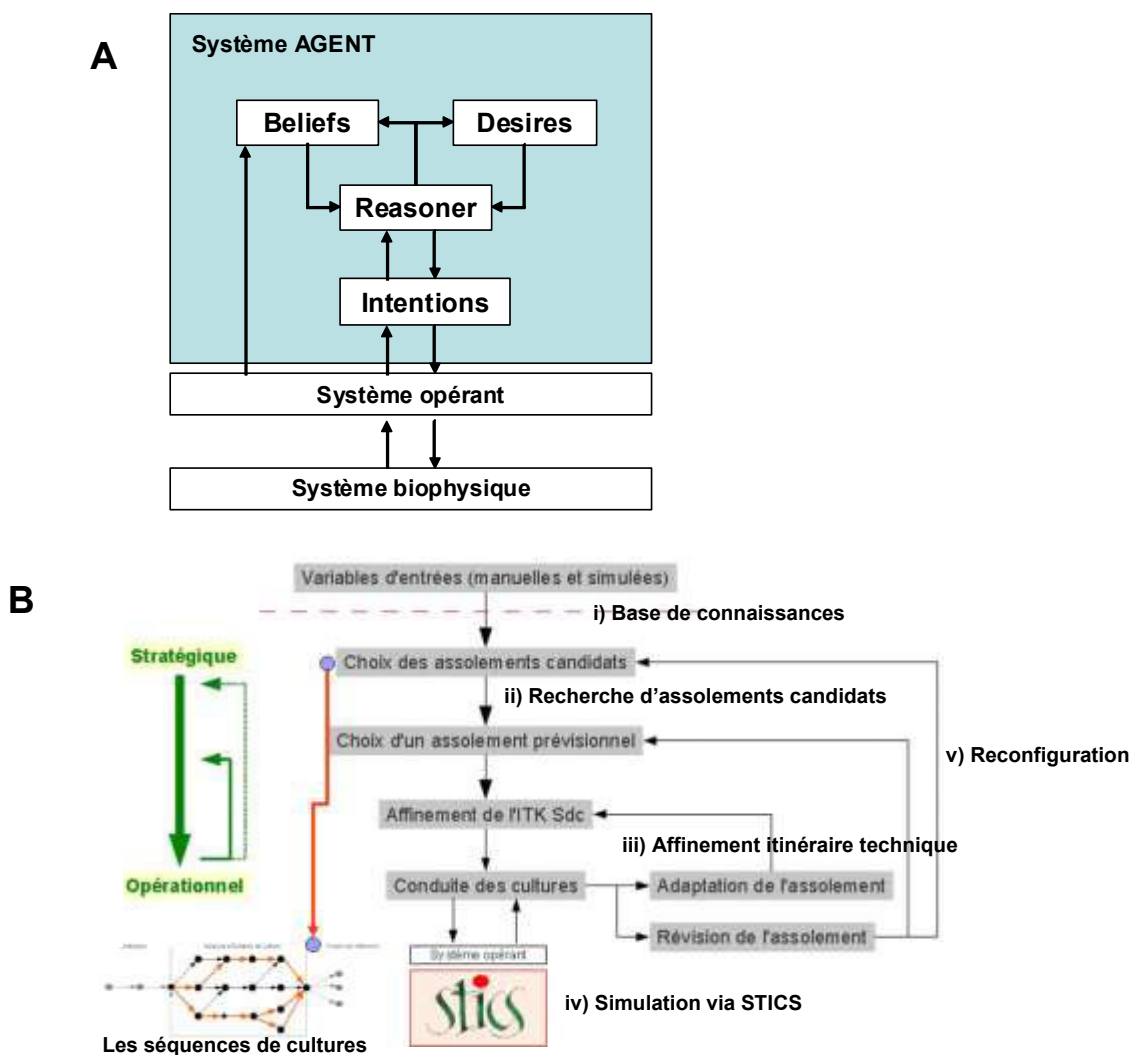


Figure 1 : représentation simplifiée du modèle CRASH. A) les trois modules interagissant et la déclinaison du module « Agent » dans le cadre conceptuel BDI ; B) les étapes de fonctionnement du modèle CRASH : i) initialisation de la base de connaissances ; ii) recherche d'assolements candidats et de rotation en fonction d'un ensemble de contraintes ; iii) sélection d'un assolement et amélioration de l'itinéraire technique des cultures de cet assolement ; iv) simulation par STICS pour quantifier les indicateurs ; v) retour sur les choix.

A l'échelle d'un territoire irrigué

Dès lors que la ressource est limitante ou aléatoire, la question du partage de l'eau entre différents usages se pose, tant pour le gestionnaire chargé de délivrer l'eau aux usagers en temps et lieux utiles au cours d'une année, que pour les gestionnaires chargés de planifier à plus long

terme l'eau et les usages de l'eau. Les activités de recherche de l'INRA concernent ces deux pas de temps.

A court et moyen terme : contribution à la gestion stratégique de l'eau

La gestion stratégique de l'eau, telle que définie par (Trouvat, 1997), concerne les décisions saisonnières avec ajustement possible en cours de

saison. Il s'agit typiquement, pour un gestionnaire comme la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG), de déterminer les quotas d'eau affectés à l'irrigation en début de saison d'irrigation (mi-juin), cette décision étant contrôlée, et si besoin réajustée, une fois par semaine jusqu'à la fin de la saison d'irrigation (mi-septembre). Ce contrôle hebdomadaire vise à vérifier si les conditions de quotas d'eau accordés à l'usage agricole sont compatibles avec les autres usages de l'eau sur le bassin, et vont le rester pour le reste de la campagne d'irrigation. Cette décision participe donc au processus de partage de la ressource entre les différents usages de l'eau.

Le modèle ADEAUMIS⁴, développé conjointement par l'INRA, la CACG et d'autres partenaires⁵, est désormais un élément du système décisionnel mis en œuvre chaque année depuis 2003 par la CACG pour sa gestion stratégique. Il permet d'estimer, sur l'ensemble d'un périmètre irrigué, quelle a été la demande en eau d'irrigation jusqu'au jour du contrôle hebdomadaire et, par utilisation de scénarios climatiques, de faire des projections sur la demande en eau d'irrigation à venir. L'apport majeur des agronomes de l'INRA a consisté à proposer l'intégration, dans le processus d'estimation de la demande en eau d'irrigation, d'un modèle biodécisionnel couplant un modèle de simulation de la phénologie du maïs et un modèle de simulation des apports d'eau d'irrigation sur maïs par les agriculteurs. Ces modèles sont alimentés par des données climatiques (pluie et température) observées (et non statistiques) en divers points du périmètre irrigué et initialisés grâce à des dates de semis observées ou estimées sur la base des paramètres météorologiques observés. Ces apports permettent ainsi de mieux prendre en compte la réalité des pratiques culturales (semis, irrigation) et leur diversité à l'échelle du périmètre irrigué (cf. Leenhardt *et al.*, 2004a; Leenhardt *et al.*, 2004b). Ainsi en 2003, le modèle, en intégrant les conditions exceptionnelles de sécheresse et de canicule, a permis au gestionnaire d'anticiper les diffi-

cultés de partage de l'eau entre usage et de discuter de la situation lors de deux réunions de cellule de crise de sécheresse les 9 et 29 juillet, la dernière ayant conduit à une réduction des quotas d'eau alloués à l'irrigation (Figure 2).

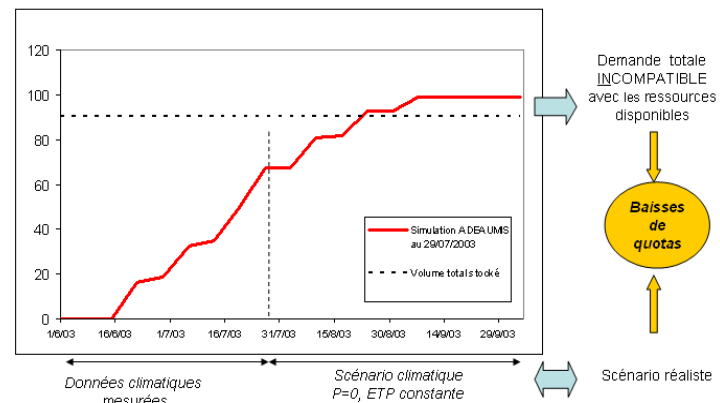


Figure 2: Utilisation d'ADEAUMIS en temps réel : simulation du 29 juillet 2003. On voit que le 29 juillet 2003, le modèle prévoyait une demande en eau d'irrigation totale supérieure aux ressources disponibles. Cela a conduit les décideurs à réduire les quotas alloués à l'irrigation.

A plus long terme : recherche et développement d'outils de planification et de gestion de la ressource

La planification concerne les décisions prises à l'échelle pluriannuelle (Trouvat, 1997). Les gestionnaires concernés par la planification cherchent à évaluer l'impact de politiques publiques (PP) imposées sur leur territoire et leurs ressources en eau mais aussi à participer à la construction de PP adaptées à leur territoire. Ce processus de construction de PP est itératif et intègre des phases d'évaluation des PP candidates. De plus en plus, il intègre la consultation du public, la mobilisation d'instances de concertation..., qui mobilisent une grande diversité d'acteurs qui sont autant de porteurs d'enjeux et représentent toute la gamme des usages de l'eau. Cela concerne en particulier les PP relatives aux ressources en eau et à l'activité agricole, notamment du fait de la surface occupée par l'activité agricole et de son impact économique et environnemental sur le territoire. Lors des consultations du public sur l'eau, ces acteurs peuvent avoir l'occasion de proposer leur vision de l'aménagement du territoire pour répondre aux enjeux qui se posent sur l'eau, notamment en termes de changement de la distribution spatiale des systèmes de culture. Cela a par exemple été le cas lors du débat public sur la

⁴ L'acronyme du modèle ADEAUMIS provient du projet au cours duquel il a été développé et qui traitait d'Aide à la Décision pour la gestion de l'EAU par la Modélisation et l'Information Spatialisée.

⁵ Le modèle ADEAUMIS a été développé par 4 partenaires : INRA, CACG, Météo-France et SCOT (dépôt à l'APP en 2004). Sa mise en œuvre opérationnelle a bénéficié des contributions supplémentaires d'ARVALIS Institut du végétal et d'INFOTERRA (anciennement ASTRUM) lors de projets réussis.

construction du barrage de Charlas où tout un collectif d'acteurs a proposé de réduire les surfaces de maïs irrigué pour résoudre les problèmes de débit de la Garonne en période d'étiage et éviter la construction du barrage. Ces propositions sont à prendre en considération dans la planification de l'allocation des ressources en eau aux différents usages et des activités du territoire. Cependant, une difficulté réside dans le fait que ces propositions sont le plus souvent exprimées sous forme d'un discours très qualitatif. Or, les modèles qui pourraient permettre de quantifier ces discours (en calculant un panel d'indicateurs pertinents, à partager entre acteurs et décideurs pour in fine juger de leur impact sur l'eau, mais aussi de leur impact économique et social) nécessitent des données quantitatives et des localisations spatiales relativement précises.

Les agronomes de l'INRA de Toulouse se sont engagés dans le développement d'un outil (SPACSS – SPATial Cropping System Scenarios builder and evaluator) permettant de construire des scénarios spatialisés de systèmes de culture à partir de discours d'acteurs et d'en évaluer l'impact sur les ressources en eau. SPACSS vise à permettre à un gestionnaire (par exemple l'Agence de l'Eau) d'évaluer de manière quantitative et multicritère un discours portant sur la distribution des systèmes de culture d'un territoire. Un premier prototype a été développé dans le cadre de la thèse de L. Clavel (2010). Il comprend 3 éléments principaux (Figure 3) : deux interfaces utilisateur et un modèle de calcul d'indicateurs d'évaluation. La première interface facilite la traduction du discours d'acteur en carte de données d'entrée du modèle de calcul en amenant l'utilisateur (acteur et/ou décideur, seul ou en interaction) à spécifier les changements de systèmes de culture qu'il propose en termes de cultures et d'itinéraires techniques et de localiser ces changements en fonction d'un certain nombre de facteurs de localisation (sols, types d'exploitation, etc.). Le modèle peut alors calculer un certain nombre de variables permettant l'évaluation de cette carte de distribution alternative de systèmes de culture. Dans ce premier prototype, le modèle retenu a été MO_USTICS⁶ ; il permet notamment de calculer le rendement des cultures et les apports d'eau par irriga-

tion. La seconde interface permet à l'utilisateur de sélectionner certaines variables et certains niveaux d'agrégation temporels et spatiaux, de manière à construire les indicateurs qui ont le plus de sens pour lui. Ce premier prototype a été évalué par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et la CACG au travers de 3 jeux de scénarios tests. Ceux-ci consistaient à modifier la sole de maïs irriguée en changeant soit l'itinéraire technique du maïs (changement de précocité et/ou de date de semis), soit la culture elle-même. Cette première évaluation a permis de valider l'intérêt de cet outil pour les gestionnaires et nous entamons une nouvelle étape dans le développement de SPACSS (i) pour lui intégrer l'information objective issue du Registre Parcellaire Graphique et ainsi faciliter la construction de scénarios, (ii) pour le rendre plus adapté à la prise en charge de scénarios plus complexes (mais plus réalistes), (iii) pour faciliter l'intégration de divers modèles de calculs de manière à multiplier les types d'indicateurs d'évaluation utilisables incluant notamment ceux considérés pertinents par les acteurs concernés.

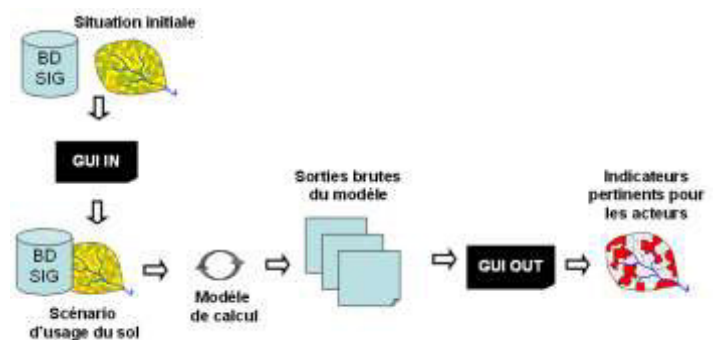


Figure 3 : Schéma du premier prototype SPACSS. Une interface permet de construire les scénarios d'usage du sol à partir d'une description initiale décrivant des systèmes de culture sur le territoire d'étude ; un modèle permet de calculer un certain nombre de variables caractérisant ce scénario ; une interface permet à l'utilisateur de choisir parmi ces variables celle à visualiser ainsi que le niveau d'agrégation souhaité.

Développement d'outils d'aide à la gestion de protection qualitative de l'eau

Le problème de la pollution de l'eau par les nitrates est certainement celui qui a été traité avec le plus d'antériorité à l'INRA. C'est celui sur lequel porte les recherches présentées ci-après.

Pour les agronomes, un enjeu majeur est d'identifier et de localiser la chaîne des risques pour la qualité de l'eau. Dans le cadre du CORPEN,

⁶ MO_USTICS est une combinaison du modèle de culture STICS (Brisson et al., 1998) et de la partie décisionnelle de MODERATO.

l'INRA, avec d'autres partenaires ont développé des outils d'aide au diagnostic permettant d'identifier tous les points de risque de pertes en nitrates dans les eaux souterraines à l'échelle de l'exploitation agricole (Figure 4) et à l'échelle du territoire où s'élaborent les ressources en eau et leurs qualités (Figure 5) (CORPEN, 2006). Les différents flux d'eau entre les éléments physiques du territoire peuvent être modifiés par les évolutions de paysages, en particulier celles créées par les agriculteurs et par leurs choix de systèmes de culture. En effet, divers travaux d'agronomie (Benoît et al, 1995 ; Mignolet et al, 1997 ; Mignolet et al, 1999) ont mis en lumière que l'Organisation Territoriale des Systèmes de Culture (OTSC) mettant en œuvre le choix des couverts végétaux et leurs modes de conduite dans un territoire donné, jouait un rôle majeur dans l'élaboration de la qualité des eaux. Une hiérarchisation des divers systèmes de culture, des plus agressifs aux plus res-

pectueux des ressources en eau, a pu être faite (Mary et al, 1996 ; Benoît et al, 1997 ; Mignolet et al, 1997 ; Mignolet et al., 1999 ; Martin et al., 1998). Ces travaux ont ainsi permis de construire un indicateur majeur du diagnostic agro-environnemental sur les bassins d'alimentation et de captage (BAC) : la proportion de la surface du BAC en systèmes de culture à risques localisés sur des terrains à risques (Fabre et Kockmann, 1996).

L'enjeu est donc, pour les agronomes, d'aider les acteurs en charge de la gestion des ressources en eau à adopter des plans prévisionnels d'usage du territoire permettant un maintien d'une qualité des eaux évitant le recours aux solutions curatives. C'est dans cette perspective que les chercheurs agronomes se sont engagés dans des activités de recherche-intervention visant à faire évoluer l'OTSC sur des territoires où la qualité de l'eau était à reconquérir comme illustré ci-dessous.

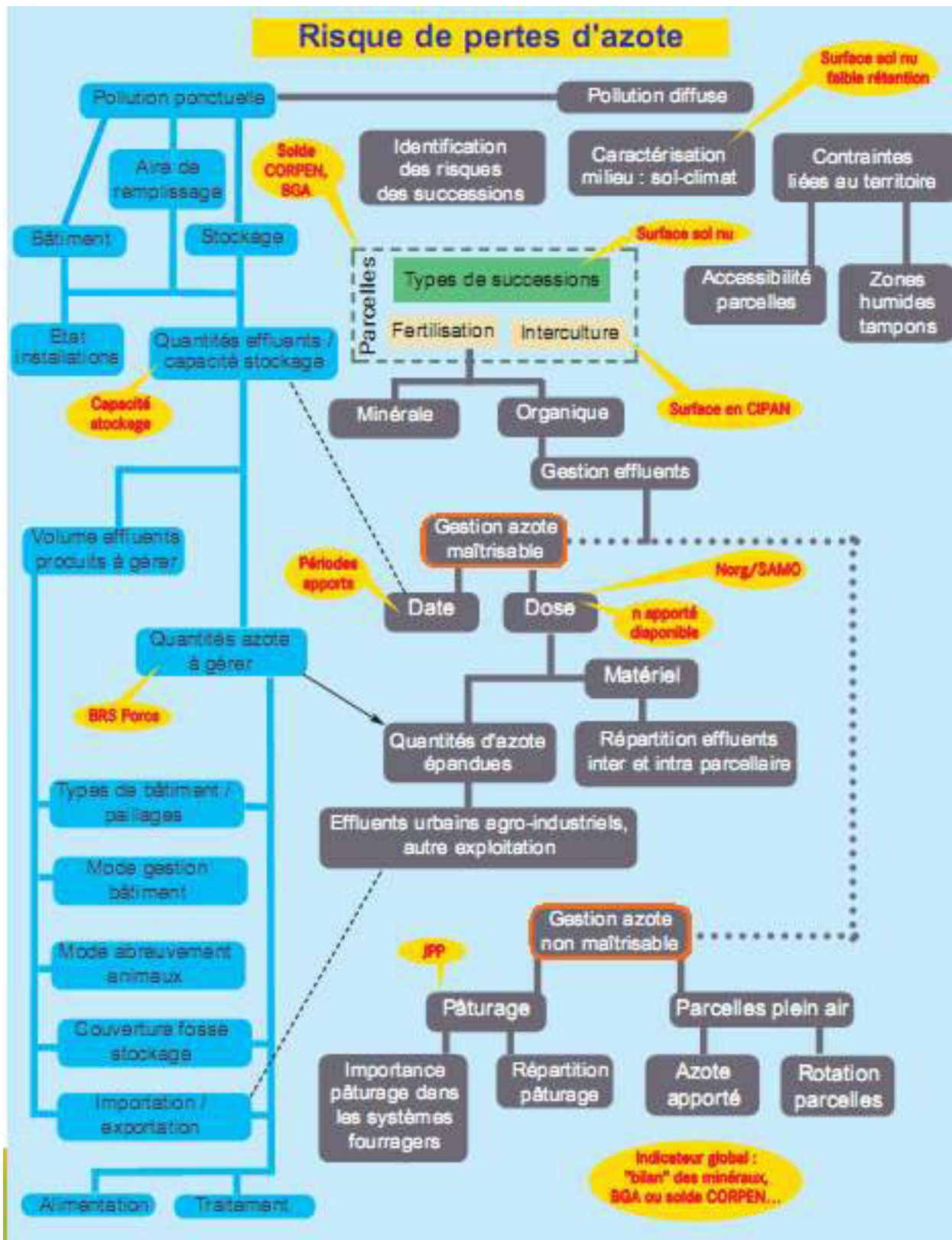


Figure 4 : Outil de diagnostic de risque de pollution azotée à l'échelle d'une exploitation agricole

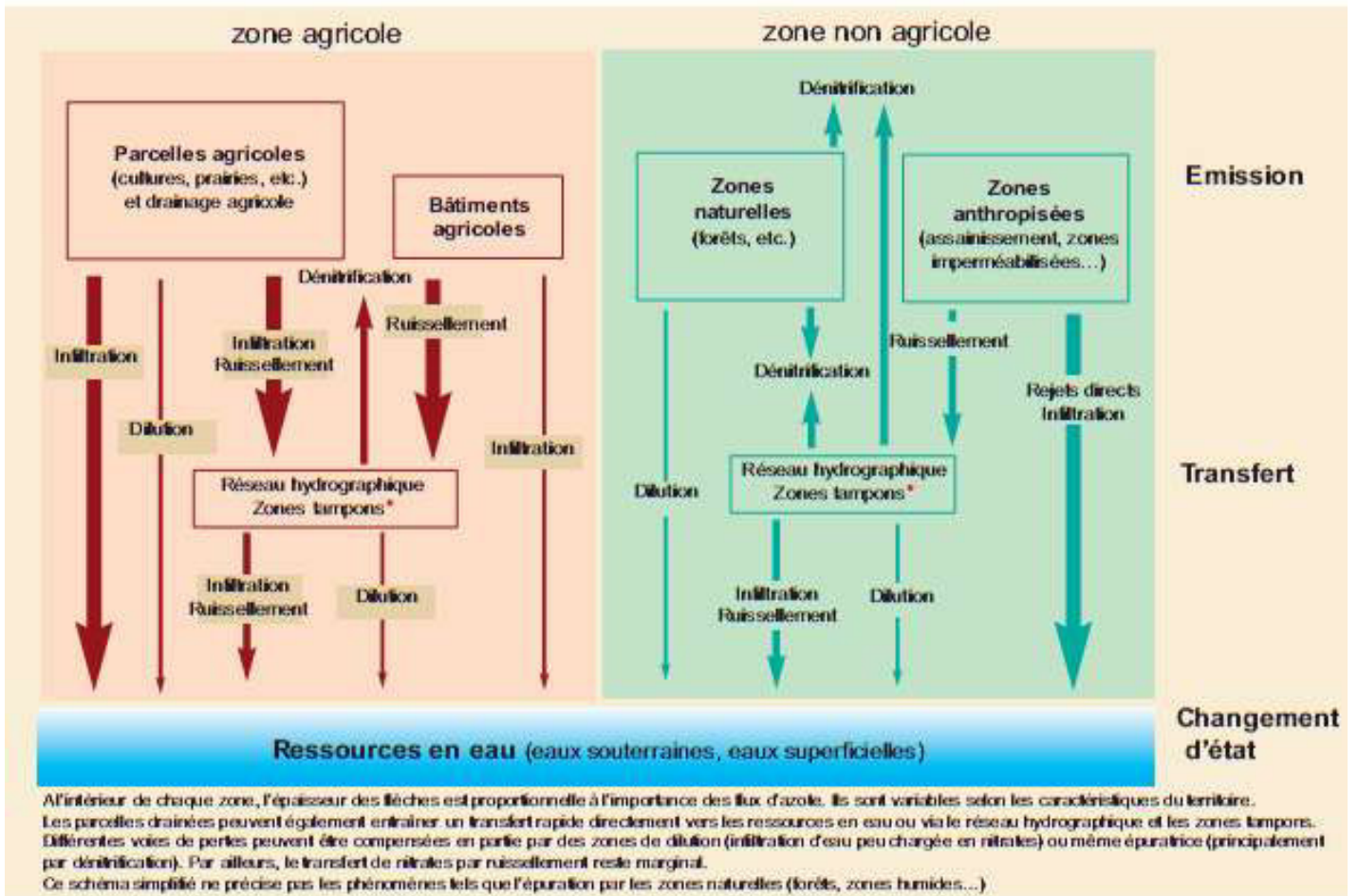


Figure 5 : Outil de diagnostic de risque de pollution azotée à l'échelle du bassin d'alimentation (CORPEN, 2006)

Des exemples de recherche-intervention au niveau de bassins versants

Les agronomes se sont engagés dans des activités de recherche mobilisant décideurs et acteurs locaux pour (i) identifier les OTSC permettant d'atteindre l'objectif d'amélioration de la quantité et/ou qualité de l'eau retenu par les parties concernées et (ii) implémenter des innovations territoriales permettant de faire évoluer l'OTSC en conséquence. Ils recherchent les OTSC permettant de réduire la pression sur la ressource en permettant une meilleure réalimentation des hydrosystèmes et/ou en limitant les prélèvements d'eau dans les hydrosystèmes et/ou en limitant la pollution de ces hydrosystèmes. Les expériences de recherche-intervention les plus avancées et ayant donné lieu à la mise en place d'innovations territoriales concernent les problèmes de pollution de l'eau. Ainsi, au cours des 18 dernières années, nous avons mobilisé trois situations de re-

cherche-intervention pour protéger la qualité des ressources en eau, en Lorraine (Tableau 1). Deux concernent des ressources en eau potable, l'opération Ferti-Mieux du Haut Saintois et le remboursement pour protéger le bassin d'alimentation à Xermaménil, et une troisième correspond à la ressource en eau minérale de Vittel. Les deux ressources en eau potable sont régies par les gestionnaires de l'eau (maires pour les régies communales, présidents pour les syndicats intercommunaux) et les gestionnaires du territoire des bassins d'alimentation (agriculteurs, forestiers, résidents) (Salou, 1992). Dès 1987, une équipe de l'unité SAD Versailles-Dijon-Mirecourt a été impliquée dans la gestion des ressources en eau et la prévention de la pollution par les nitrates, en particulier dans le bassin des eaux minérales de Vittel (Deffontaines *et al.*, 1993).

	Caractéristiques du site d'étude	Innovation territoriale initiée
Sources de Xermaménil	Bassin de 65 hectares alimentant de façon autonome la commune	Remembrement communal pour protéger les trois sources d'eau potable
Nappes et sources du Haut-Sainctois	18 sources issues d'un plateau de 850 hectares alimentent totalement 14 communes et partiellement un syndicat intercommunal de 40000 habitants (Heydel et al, 1997)	Mise en place d'une Cuma de gestion des flux azotés (CUMA «l'eau vive» de l'opération Ferti-Mieux du Haut-Sainctois)
Gîte hydrominéral de Vittel	4500 hectares où une réorganisation territoriale intensive fut menée sous l'égide du producteur d'eau minérale et de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse	Gestion contractuelle du territoire par une restructuration des systèmes de culture (nature, localisation)

Tableau 1: Caractéristiques des situations de recherche-intervention et innovations territoriales initiées

Chaque parcelle culturale sur laquelle un système de culture est mis en œuvre participe à deux entités spatiales fonctionnelles: un bassin d'alimentation et une exploitation agricole. Dans ces trois exemples, l'assolement du bassin est l'indicateur de l'organisation spatiale des cultures. Le fonctionnement et la dynamique des activités sont décrits par l'occupation du sol, les types de couverts ou de cultures aux différents niveaux d'organisation concernés, la parcelle, l'exploitation, le bassin d'alimentation. Les Systèmes d'Information Géographique et l'analyse d'images de télédétection sont les outils d'analyse spatiale utilisés pour décrire et comparer ces assolements. Ils fournissent les représentations spatiales du fonctionnement et de l'évolution du système, à présenter aux acteurs concernés (Benoît et al, 1997).

Pour faire évoluer l'OTSC des territoires d'étude, nous développons trois types d'innovations territoriales permettant de changer les pratiques agricoles sur les parcelles générant un fort risque de pollution (Tableau 1). Sur le site de Xermaménil, le maire a pu relativement facilement opérer un remembrement du fait des propriétés agricoles dont la commune dispose, comme la plupart des communes lorraines. L'enjeu a été de repositionner les terrains communaux sur le territoire à en-

jeu collectif, le bassin d'alimentation des sources, et de construire une nouvelle relation foncière propriétaire - exploitants via une mise à disposition de ces terrains communaux. Ainsi, les terrains communaux repositionnés dans le bassin furent ensuite reloués avec comme contraintes d'usage l'implantation de graminées fourragères et leur exploitation en prairies permanentes. Sur le territoire de l'eau du Haut-Sainctois, une Cuma a été mise en place pour gérer les flux d'azote issus des fumiers et composts. Cette Cuma a une fonction territoriale innovante tout en s'appuyant sur un type d'organisation courant en agriculture. Elle gère depuis 1993 un flux annuel de l'ordre de 45000 tonnes de fumier. Ces fumiers sont compostés puis épandus à faibles doses sur les prairies permanentes, ce qui garantit une très faible lixiviation nitrique (Benoît et al, 1995). Enfin, sur le site de Vittel, s'est opérée une construction lente de relations contractuelles entre une société productrice d'eau minérale et les agriculteurs présents sur le site. L'achat foncier partiel accompagné d'une remise à disposition des parcelles avec changement des systèmes de culture, en a été le cœur (Gaury, 1992). Ici, les échanges entre la société exploitante de l'eau minérale et les agriculteurs ont été l'objet de phases successives mais, pour chacune d'elle, l'usage possible des surfaces en était le moteur (Benoît et al, 1997).

Enseignements et perspectives

Les exemples de travaux présentés dans cet article sont révélateurs de la façon avec laquelle les recherches sur la gestion de l'eau ont été conduites jusqu'à présent à l'INRA.

Les recherches sur les aspects quantitatifs et celles conduites sur les aspects qualitatifs sont conduites de manière parallèle, le plus souvent sans interaction directe. Ceci s'explique entre autre par la localisation des sites d'étude (« zones-atelier ») et des labos de recherche, mais aussi par une injonction de « spécialisation » qui a eu cours pendant longtemps de la part des instances hiérarchiques de l'INRA (spécialisation sur l'objet de recherche et sur les fronts de recherche). Cela a conduit à des orientations spécifiques de chaque unité de recherche. D'où une orientation très « outils d'aide à la décision » sur les questions de gestion quantitative et une orientation « recherche-intervention » sur les questions de ges-

tion qualitative, ainsi qu'il apparaît au travers des exemples présentés. A noter toutefois que ces exemples ne sont pas exhaustifs, et on peut noter le développement d'outils d'aide à la décision sur des questions de gestion qualitative (par exemple, à l'INRA de Rennes avec l'outil Territ'eau – Gasciel-Odoux et al., 2009).

Ce cloisonnement des recherches n'est plus souhaitable. En effet, il est nécessaire de raisonner conjointement quantité et qualité de l'eau pour plusieurs raisons :

Dans les régions où la ressource peut être limitante (et ces régions vont être de plus en plus nombreuses sous l'effet du changement climatique), la capacité de dilution de la pollution des eaux par la quantité d'eau disponible peut être (ou devenir) limitante. De manière corollaire, si les agriculteurs limitent la pollution diffuse, ils pourront bénéficier de plus d'eau pour l'irrigation puisqu'une part moindre sera consacrée au maintien de la salubrité des cours d'eau.

Au niveau des systèmes de production, l'eau peut être vue à la fois comme un levier de production et comme un vecteur de polluants.

Enfin, au niveau des territoires, l'agriculture a une vocation multifonctionnelle. On lui reconnaît des fonctions économiques et sociales, mais aussi environnementale : elle contribue à la détermination de la quantité et de la qualité de l'eau restituée au milieu (rivières, nappes).

Aborder conjointement qualité et quantité de l'eau dans un territoire agricole nécessite donc d'avoir une approche systémique, notamment au niveau des systèmes de culture : comprendre la cohérence du système pour éviter de générer un problème de qualité de l'eau en voulant résoudre un problème de quantité. Par exemple, remplacer une culture de maïs par un blé diminue certainement la demande en eau d'irrigation, mais augmente l'usage global de produits phytosanitaires, et ce d'autant plus si le blé est conduit en monoculture. L'évaluation multicritère d'OTSC requiert de nombreux outils pour décrire ces OTSC de manière exhaustive sur le territoire (bases de données, SIG, méthodes statistiques), pour calculer les indicateurs d'impact sur la qualité et la quantité d'eau mais aussi sur la durabilité des systèmes (modélisation et couplage de modèles) et pour agréger ces indicateurs de natures diverses (méthodes d'analyse multicritère, SIG). Ce travail relève donc d'une approche mettant la modélisation au service de l'évaluation intégrée de systèmes

complexes (Integrated Assessment Modelling - Jakeman and Letcher, 2003). Ce travail de modélisation peut être conduit sur des terrains multiples dans la mesure où les données sont disponibles, mais les approches participatives et de recherche intervention nécessitent des terrains ou des territoires démonstratifs sur lesquels les acteurs s'engagent dans la durée avec les chercheurs pour identifier les solutions d'avenir.

Pour conclure, il ressort que pour mieux aider les décisions des acteurs, publics et privés, la recherche agronomique devrait :

- Coordonner les efforts au sein de zones-atelier, chantiers de recherche et ORE de manière plus soutenue pour que les questions de quantité et qualité d'eau puissent être abordées sur des terrains communs.

- Coordonner les efforts méthodologiques faits jusqu'à présent soit sur les aspects qualitatifs et soit sur les aspects quantitatifs mais qui concernent l'un et l'autre : construction de scénarios territorialisés, évaluation multi-critères spatialisée, modélisation des pratiques, coordination des pratiques. En particulier, l'acquis sur les démarches participatives accompagnant ces différents points méthodologiques doivent être partagés.

Bibliographie

Benoît, M., Deffontaines, J.P., Gras, F., Bienaimé, E., Riela-Cosserat, R., 1997. Agriculture et qualité de l'eau. Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation. *Cahiers Agriculture*; 6 : 97-105.

Benoît, M., Saintôt, D., Gaury, F., 1995. Mesures en parcelles d'agriculteurs des pertes en nitrates. Variabilité sous divers systèmes de culture et modélisation de la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation. *C.R. Acad. Agric.*, 81 : 175-188.

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.

Bratman, M.E., 1987. *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 200 p.

Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Nicoulaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Cellier, P., Machet, J.M., Meynard, J.M., Delécolle, R., 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18, 311-346.

Clavel, L., 2010. *Développement d'une méthode de construction et d'évaluation de scénarios portant sur la distribution des systèmes de culture de grands territoires. Application à la*

demande en eau d'irrigation dans le système Neste. Thèse de Doctorat de l'INP-Toulouse.

CORPEN, 2006. *Des indicateurs azote pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire*. 111 p.

Deffontaines, J-P., Benoît, M., Brossier, J., Chia, E., Gras, F., Roux, M. (Ed.), 1993. *Agriculture et qualité des eaux ; diagnostic et propositions pour un périmètre de protection*. INRA-SAD, 334 p.

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

Dury, J, Garcia, F., Reynaud, A., Therond, O., Bergez, JE, 2010. Modelling the Complexity of the Cropping Plan Decision-making. In: *Environmental Modelling and Software* (Eds). International Environmental Modelling and Software Society. Ottawa, Canada, p. 8.

Fabre, B., Kockmann, F., 1996. Evaluation des conséquences économiques d'un changement de système de culture in *Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Journée technique du 10 janvier 1996. INAPG, 115-126.

Gaury, F., 1992. *Systèmes de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Dynamique passée et actuelle en région de polyculture-élevage sur le périmètre d'un gîte hydrominéral*. Thèse de Doctorat de l'ENSA de Rennes, 229 pages + annexes

Gascuel-Odoux C., Massa F., Durand P., Merot P., Troccaz O., Baudry J., Thenail C., 2009. Framework and Tools for Agricultural Landscape Assessment Relating to Water Quality Protection. *Environmental Management* 43:921-935

Heydel, L., Benoît, M., Schiavon, M., 1997. Estimation des apports de produits phytosanitaires à l'échelle de bassins d'alimentation. *Agronomie* (1997) 17,25-33

Jakeman, A. J., Letcher, R. A., 2003. Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling & Software*, 18 : 491-501.

Leenhardt, D., Trouvat, J. L., Gonzales, G., Perarnaud, V., Prats, S., Bergez, J. E., 2004a. 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., Trouvat, J. L., Gonzales, G., Perarnaud, V., Prats, S., Bergez, J. E., 2004b. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale: II. Validation of ADEAUMIS. *Agricultural Water Management*, 68 : 233-250.

Le Gal, P.-Y., Merot, A., Moulin, CH, Navarrete, M., Wery, J., 2009. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environmental Modelling & Software*, 25 : 258-268.

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

Martin-Clouaire, R., Rellier, J.-P., 2009. Modelling and simulating work practices in agriculture. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 4: 42-53.

Mary, B., Beaudoin, N., Benoît M., 1996. Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau, in G. Lemaire et B. Nicolardot (Eds), *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Reims. 19-20 octobre 1996, *Les colloques n°83*, 289-312. INRA, Paris.

Mignolet, C., Benoît, M., Saintôt, D., 1997. Systèmes d'élevage et risque de pollution azotée. Construction d'un indicateur de risque et application dans la plaine des Vosges. *INRA Productions animales*, 10 : 275-285.

Mignolet, C., Thénard, V., Benoît, M., Anfrue, M.N., Foissy, D., Grosse, M., Trommenschlager, J.M., 1999. Livestock farming systems and sustainable drinking water production : proposition of risk indicators at different organisational levels. *Livestock Production Science*, 61 : 307-313.

Salou, M-C., 1992. *Elaboration de la qualité des eaux dans des bassins versants agricoles. Essai de modélisation en milieu calcaires (exemple des plateaux de Vicherey et d'Aboncourt)*, DEA Géographie, Metz ; INRA-SAD Mirecourt, 117 pages + annexes.

Simon, H., 1947. *Administrative Behavior: A Study of Decision-making Processes in Administrative Organization*, New York: The Free Press.

Simon, H.A., 1976. *From Substantive to Procedural Rationality*. In S. J. Latsis (Ed). Cambridge University Press, New York, pp. 129-148.

Trouvat, J. L., 1997. Concepts de base de la gestion quantitative de la ressource en eau. In : AFEID-AGPM (Eds), *Irrigation, outil de qualité et de régularité de la production agricole pour les marchés et les industries d'aval. La gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin versant: l'exemple du Sud-Ouest*, pp 121-136.