

L'organisation des systèmes de culture dans les bassins d'alimentation de captages : innovations, retours d'expériences et leçons à tirer

Marc Benoît^a et François Kockmann^b

Ce texte est issu d'un exposé réalisé lors du colloque « Des systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? ». Le colloque a été organisé le 27 mars 2008 à l'APCA¹, par l'ACTA², l'ADEME³, AgroParisTech, ARVALIS-Institut du végétal, l'APCA, la chambre régionale d'agriculture de Bourgogne, le CIRAD⁴, l'EPN⁵ de Rambouillet, la FNCIVAM⁶, l'INRA⁷, l'ITAB⁸, TRAME⁹ et le RMT¹⁰ Systèmes de culture innovants.

La gestion des ressources en eau (qualité, captages) devient un sujet incontournable des politiques publiques élaborées dans le cadre des dispositions de la directive sur l'eau et de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques. Les acteurs locaux – collectivités, propriétaires et agriculteurs – sont incités à anticiper et se concerter pour mieux maîtriser la ressource en eau des bassins d'alimentation de captages notamment en cas de risques de pollution. Après un rappel des différentes échelles de l'organisation territoriale des systèmes de culture, les auteurs proposent ici, à partir d'exemples de travaux conduits en Lorraine et en Bourgogne, une méthodologie générique de protection à long terme des ressources en eau dans les bassins d'alimentation de captages, avec pour objectif d'aider les décideurs et les gestionnaires impliqués dans le domaine de l'eau à coordonner leurs différentes actions.

L'agriculture est fortement concernée par le développement durable, tout particulièrement pour ce qui concerne ses pratiques au niveau des bassins d'alimentation de captages (BAC) d'eau potable. En effet, au-delà des cinq cents captages prioritaires retenus dans les conclusions du Grenelle de l'Environnement, ce sont en fait plus de vingt mille BAC en France qui sont concernés par les exigences de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) et de la

loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA). La problématique est majeure dans la mesure où, sur toutes ces situations, les acteurs locaux, notamment les agriculteurs, sont confrontés à une obligation de résultats au niveau de la qualité des ressources en eau, et ce dans un délai bref (Sebillotte *et al.*, 2003).

Au niveau des BAC, la mise en place d'une agriculture multifonctionnelle alliant viabilité éco-

Les contacts

a. INRA, département SAD, Sciences pour l'action et le développement, UR 055ASTER, 662 avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt

b. Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire, 59 rue du 19 mars 1962, BP 522, 71010 Mâcon. Cedex et INRA, LISTO, Laboratoire de recherche sur les innovations socio-techniques et organisationnelles en agriculture, rue du Docteur Petitjean, 21000 Dijon

1. Assemblée permanente des chambres d'agriculture.
2. Association de coordination technique agricole.
3. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
4. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
5. Établissement public national.
6. Fédération nationale des centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural.
7. Institut national de la recherche agronomique.
8. Institut technique de l'agriculture biologique.
9. Centre de ressources et de développement agricole au service du monde agricole.
10. Réseau mixte technologique.

11. Cadre méthodologique dans lequel une ingénierie de gestion peut s'inscrire dans un projet en sciences de gestion.

12. Dans le contexte de cet article, le terme « innovations » recouvre des modifications d'organisation et de pratiques souvent construites par l'association de bases existantes et de modalités originales résultant d'une analyse territorialisée.

nomique, durabilité écologique et équité sociale, sont des objectifs prioritaires pour les organismes de développement, et en particulier les chambres d'agriculture, qui assument des missions d'expertise, de médiation et d'animation dans le cadre de démarches territorialisées.

Dans ce contexte, pour la recherche, l'enjeu est de transformer des questions vives et multi-partenariales en solutions à long terme construites dans une perspective de recherche-intervention au sens d'A. Hatchuel¹¹.

Depuis vingt ans, des expériences locales sur certains BAC ont été conduites avec une forte implication de la recherche agronomique. Sur ces territoires singuliers se combinent deux logiques : celle de la production agricole et celle de la protection de ressources en eau. La réorganisation de ces territoires par modifications concertées de systèmes de culture est la stratégie généralement retenue pour reconquérir ou préserver la qualité des ressources. L'enjeu est de créer une dynamique collective, au niveau des acteurs locaux, pour concevoir les innovations¹² concrétisant la mise en place d'une agriculture multifonctionnelle.

Nous retenons de ces travaux que l'étude de l'organisation territoriale des systèmes de culture (OTSC), définie comme l'une des tâches de l'agronome par Sebillotte (1974), prend une place primordiale dans le contexte des BAC. Comment mettre en pratique une démarche de diagnostic territorial finalisée sur la conception et la mise en place d'une OTSC répondant aux exigences de l'agriculture durable, au niveau d'un BAC ? Comment favoriser les indispensables innovations avec les acteurs concernés ? Quelles leçons se dégagent des expériences ?

Après un rappel des différentes échelles de l'organisation territoriale des systèmes de culture, nous proposons à partir d'exemples de travaux conduits en Lorraine et en Bourgogne au cours des deux dernières décennies, une méthodologie générique de protection à long terme des ressources en eau dans les BAC. Ce transfert d'expériences, avec certes ses limites, est proposé à l'attention des conseillers et responsables professionnels du développement ainsi que des décideurs impliqués dans le « monde de l'eau » : administrations, agences de l'eau, collectivités territoriales notamment. En effet, selon les choix politiques, les BAC seront ou des sanctuaires figés par les réglementations, ou des « laboratoires d'innovations », impliquant acteurs locaux et institutionnels ainsi que conseillers et chercheurs.

L'organisation territoriale des systèmes de culture (OTSC), au cœur de la résolution du problème

La prise en considération des enjeux environnementaux a mis en relief le rôle central du concept de système de culture (SDC), à trois niveaux d'organisation des systèmes agraires : la parcelle, le bassin versant concerné par l'alimentation du captage, et l'exploitation (Benôit et Papy, 1997). Le concept de SDC, défini par Sebillotte (1982), insiste sur la compréhension des cohérences techniques et comprend donc les itinéraires techniques et les successions culturales ; le concept, généralement appliqué aux terres labourées, est bien sûr à élargir aux prairies permanentes, successions stables mais exploitées selon des itinéraires (fauche, pâture...) et des objectifs variés.

Au niveau de la parcelle

La nature des terrains, comprise au sens large – sol, sous-sol, relief – joue un rôle déterminant sur les risques de lixiviation et de ruissellement. C'est l'ensemble « terrain-SDC » qui détermine, dans un contexte climatique local donné, la contribution aux pollutions diffuses (nitrates, phosphore, phytosanitaires). Lors de la mise en place des opérations de conseil, labellisées Ferti-Mieux (encadré 1), ciblées sur la maîtrise de la pollution par les nitrates, des « grilles d'indicateurs de risques » ont ainsi été localement construites (Lanquetuit et Sebillotte, 1997). Pour l'évaluation des risques de transfert du phosphore par ruissellement (Dorioz, 2007) et des substances phytosanitaires (Real et Gril, 2001), il faut enrichir la caractérisation « terrains-SDC » par d'autres critères, en particulier la présence de haies, de fossés, de drainage et de bandes enherbées, **important étant alors de tenir compte des circuits réels de cheminement des eaux.**

Au niveau du BAC

La prise en charge de l'enjeu relatif à la préservation de la ressource en eau a mis en exergue un nouvel objet (ou niveau d'organisation) : le BAC, délimité par l'hydrogéologie, au sens de la LEMA. La connaissance du système hydrodynamique est indispensable pour (i) évaluer les modalités et les temps de transferts des éléments vers la ressource en eau, et donc, les délais de réponse pour restaurer une situation dégradée ; (ii) situer la vulnérabilité de la ressource par rapport au climat et sa variabilité, sachant que certains

Encadré 1

Ferti-Mieux

Le concept Ferti-Mieux, instauré en 1990, est une initiative française dont l'objectif principal est la protection de la qualité de l'eau. Organisées par l'Association nationale pour le développement agricole (ANDA), ces opérations consistent en un ensemble de conseils et de démonstrations mises gratuitement à la disposition d'un groupe d'agriculteurs d'une région naturelle qui s'engage dans une action volontaire de protection de la ressource en eau. Les exploitations concernées sont souvent situées dans des zones de captage d'eau destinée à la consommation humaine.

Ces opérations correspondent à une volonté d'intégration de l'agriculture dans la politique locale de l'eau. Chacune d'entre elles est ainsi adaptée à la solution des problèmes locaux de protection des eaux. Selon les cas, il s'agit de mieux maîtriser une ou plusieurs séquences agricoles : irrigation, systèmes d'élevages, systèmes de cultures, pratiques de fertilisation et réduction de l'utilisation de phytosanitaires.

aquifères répondent plus lentement aux accidents alors que d'autres sont très exposés ; (iii) négocier en « connaissance de cause » les objectifs relatifs à la qualité de la ressource (délai, teneur moyenne à rechercher, assortie d'une tolérance en année climatique défavorable) et interpréter ensuite les résultats lors des plans d'actions (les contrôles portant simultanément sur la qualité et le débit de la ressource en eau).

Ainsi, 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, joue un rôle majeur dans l'élaboration de la qualité des eaux (Benoît *et al.*, 1995 ; Mignolet *et al.*, 1997 ; Mignolet *et al.*, 1999). Ceci est d'autant plus fondé que nous pouvons maintenant hiérarchiser les divers systèmes de culture des plus agressifs aux plus respectueux des ressources en eau (Mary *et al.*, 1996 ; Benoît *et al.*, 1997 ; Mignolet *et al.*, 1997 ; Mignolet *et al.*, 1999 ; Martin *et al.*, 1998), en particulier en pointant le rôle protecteur des prairies permanentes, où fauche et pâture sont deux conduites hiérarchisables (Benoît et Simon, 2004). L'OTSC, resituée dans son histoire, est à superposer à la cartographie des terrains, dans la mesure où la proportion de la surface du BAC en SDC à risques, localisés sur des terrains à risques, constitue un indicateur majeur du diagnostic agro-environnemental à poser, préalablement au plan d'actions (Fabre et Kockmann, 1996).

L'agronome est donc conduit à rechercher l'OTSC la plus pertinente pour atteindre l'objectif retenu pour la qualité de l'eau ; la solution idéale est de disposer de grilles de risques afin de hiérarchiser les situations et de simuler l'impact de différents

scénarios correspondant à différentes OTSC sur la ressource. Ces connaissances sont disponibles dans certains contextes, en particulier pour évaluer les flux de nitrates ; la modélisation est en revanche plus difficile pour l'évaluation des risques liés aux produits phytosanitaires.

Au niveau de l'organisation de l'exploitation agricole

L'organisation des exploitations agricoles est fortement impactée par les enjeux environnementaux. En effet, dans le fonctionnement habituel des exploitations, les organisations temporelles et spatiales des couverts végétaux sont si intimement liées dans le processus décisionnel de l'agriculteur que le vocabulaire courant utilise parfois les mêmes termes : « assolement triennal, le quartier des saisons ». Élargie à l'ensemble des productions végétales, y compris les cultures pérennes, la notion d'assolement en tant que répartition spatiale des cultures a du sens par rapport au fonctionnement de l'exploitation, mais aussi par rapport à l'interaction entre les activités agricoles et les autres activités du territoire. Les SDC et leurs localisations sur l'exploitation sont donc le résultat intégratif d'un ensemble articulé de règles de décisions mobilisées par l'agriculteur (Aubry *et al.*, 1998 ; Le Ber et Benoît, 1998).

Or, les choix des SDC et de leurs localisations se trouvent plus ou moins sévèrement remis en cause par les enjeux environnementaux sur le BAC. Les conséquences sont d'autant plus lourdes que la fraction de la surface localisée à l'intérieur du BAC, par rapport à la surface agricole utile de l'exploitation, est importante. Dans le collectif d'agriculteurs concernés par un même BAC, les

taux de concernement (Benoît *et al.*, 1997) entre exploitations sont généralement assez hétérogènes, et constituent des éléments majeurs des futures actions à mettre en œuvre.

Initiation et observation d'innovations territoriales issues de cinq expériences finalisées sur la protection des ressources en eau

Nous retenons ici cinq exemples illustrant la réorganisation des activités agricoles dans la perspective de préserver les ressources en eau. Trois expériences correspondent à des chantiers partenariaux de l'INRA-SAD¹³ en Lorraine, et deux autres ont fait l'objet d'une forte coopération entre recherche et développement, en Saône-et-Loire. Pour chacune des expériences, nous résumons brièvement le contexte et les innovations territoriales les plus structurantes.

Trois chantiers de recherche-intervention menés en partenariat en Lorraine

Au cours des dix-huit dernières années, nous avons mobilisé trois situations de recherche-intervention : deux concernent des ressources en eau potable, l'opération Ferti-Mieux du Haut-Saintois et le remembrement 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).

Les trois exemples d'hydrosystèmes où des innovations territoriales visaient à modifier les systèmes de culture (modalités et/ou localisation) ont comme caractéristiques :

- les sources de Xermaménil, bassin de 65 hectares alimentant de façon autonome la commune ;
- les nappes et sources du Haut-Saintois, où dix-huit sources issues d'un plateau de 850 hectares

alimentent totalement quatorze communes et partiellement un syndicat intercommunal de quarante mille habitants (Heydel *et al.*, 1997) ;

- le gîte hydrominéral de Vittel, de 4 500 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 (Deffontaines *et al.*, 1993).

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 « collectif » 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).

Nous développons ci-après trois innovations territoriales initiées dans ces situations :

- celui d'un remembrement communal pour protéger trois sources d'eau potable dans la commune de Xermaménil ;
- celui de la naissance d'une CUMA¹⁴ de gestion des flux azotés à l'échelle de bassins d'alimentation : la CUMA « L'eau vive » de l'opération Ferti-Mieux du Haut-Saintois ;
- celui de la mise en gestion contractuelle d'un territoire par une restructuration des SDC (nature, localisation) sur le périmètre de Vittel.

Le remembrement pour l'eau mis en place par le maire de Xermaménil lui a été facilité par les 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 enjeu 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.

13. Département « Sciences pour l'action et le développement » de l'Institut national de la recherche agronomique.

14. Coopérative d'utilisation de matériel agricole.

La CUMA « L'eau vive » est un collectif gérant les flux d'azote issus des fumiers et composts sur le territoire de l'eau du Haut-Santois. 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 45 000 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).

Le troisième cas a été l'occasion d'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 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).

Deux opérations de développement territorialisé en Saône-et-Loire

En plaine alluviale de la Saône, les prairies permanentes les moins exposées aux inondations ont fait l'objet de retournement au profit de la monoculture de maïs ; la qualité de l'eau de la majorité des captages s'est alors rapidement dégradée. Dès 1988, la chambre d'agriculture de Saône-et-Loire (CASL) a noué un partenariat avec l'INRA/Dijon pour réaliser un diagnostic sur l'amplitude et la durée des arrière effets prairiaux sur la fourniture en azote par le sol, afin d'ajuster les conseils. En 1991, la CASL initie une opération collective de conseil, « Cultivons l'eau potable », labellisée Ferti-Mieux à trois reprises, sur la zone vulnérable de la Saône.

En 1997, sur la suggestion du conseil scientifique de Ferti-Mieux, la CASL met en place sur le champ captant de l'Abergement de Cuisery un dispositif expérimental visant à évaluer les pertes en nitrates sous les principales situations « terrains-SDC », ainsi que leur impact sur la nappe. L'étude (1997/2006) a été conduite en partenariat avec l'INRA/Mirecourt, le laboratoire d'hydrogéologie de l'université d'Avignon ainsi que l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse notamment. Les résultats ont mobilisé en particulier le modèle agro-environnemental « Agriflux » et se sont concrétisés par une grille d'indicateurs de risques ainsi que par un guide méthodologique finalisé

sur l'identification des stratégies pertinentes à l'échelle du BAC (Novak *et al.*, 2006).

Dès 1995, le syndicat des eaux de l'Abergement de Cuisery, qui alimente vingt-trois mille habitants, met en œuvre, avec la CASL et ses partenaires, un plan d'actions reposant sur une stratégie conjuguant trois innovations : la remise en prairie extensive de quarante hectares jusqu'alors en maïs, localisés dans le périmètre de protection rapproché, la mobilisation des mesures agro-environnementales (réduction d'intrants et remise en prairie) ainsi que l'application généralisée des pratiques recommandées par l'opération Ferti-Mieux sur l'ensemble du BAC.

La remise en prairies au niveau du PPR¹⁵ a fait l'objet d'une négociation réussie entre le syndicat des eaux, le conseil général, les administrations DDAF¹⁶ et DDASS¹⁷, les propriétaires et les onze agriculteurs concernés.

En 2003, l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse initie une démarche « Défi sur l'eau », visant à expérimenter des innovations, finalisées sur la prise en considération des enjeux environnementaux, sur des territoires circonscrits, dans la perspective d'éclairer ensuite sa politique du 9^e programme. La CASL saisit cette opportunité pour répondre à une attente locale : la commune de Saint-Germain-du-Plain, qui a une forte proportion de ses terres localisées en zone inondable de la Saône, avait sollicité la DDAF et la CASL pour mieux valoriser les terrains communaux. Un rapide diagnostic avait montré l'imbrication en réalité de plusieurs enjeux : la gestion des communaux, mais aussi la préservation de la ressource en eau, la gestion écologique des prairies à rôle des genêts¹⁸, l'aménagement d'usages récréatifs, sans oublier l'enjeu transversal de la prévention des inondations et du rôle des dispositifs de haies, fossés et digues.

La question initiale masquait donc un problème plus complexe : la construction d'un projet territorial cohérent, intégratif des différents enjeux environnementaux et agricoles. Dans cette perspective, la CASL fait appel à l'INRA/Dijon qui, dans le cadre d'une convention « recherche-intervention », conçoit une démarche de travail.

Au-delà des aspects méthodologiques, l'innovation qui retient notre attention concerne la réorganisation du parcellaire, qui impacte l'organisation du travail et, *in fine*, la capacité à prendre en compte les différents enjeux. En effet,

15. Plan de prévention des risques.

16. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt.

17. Direction départementale des affaires sanitaires et sociales.

18. Le rôle des genêts est un oiseau migrateur présent en France d'avril à août, vivant presque exclusivement dans les prairies de fauche des vallées et marais inondables.

le collectif des douze agriculteurs concernés a d'une part négocié avec le maire, une nouvelle modalité de gestion des communaux, divisés en cinq lots avec baux de longue durée en lieu et place du régime ancestral de la vaine pâture et, d'autre part, réorganisé les autres surfaces en prairies, très morcelées, en réalisant des échanges à l'amiable. Dès lors, les agriculteurs ont remis en valeur les communaux et intégré l'enjeu « biodiversité » dans leurs pratiques, tout en préservant la ressource en eau.

Première synthèse des expériences

Nous pouvons extraire de chacune de ces expériences la synthèse suivante :

- les innovations territoriales sont réalisées à partir de « briques de base » existantes. Dans chacun des sites, les innovations reprennent des dispositifs très connus dont seules quelques modalités sont originales : remembrer en insistant pour faire correspondre propriétés communales et contour du bassin d'alimentation (Xermaménil) ; contractualiser en introduisant en contrepartie des règles agronomiques dans l'usage des parcelles (Vittel) ; constituer une CUMA dont l'objectif est de gérer des flux de fumiers sous contraintes d'apports très réduits dans les bassins d'alimentation ; indemniser en contrepartie de la servitude de remise en prairie en PPR et, au-delà, MAE¹⁹ pour inciter à la réduction d'intrants (L'Abergement) ; réorganiser le parcellaire à l'amiable et actualiser des modes de gestion (Saint-Germain). L'originalité (ou l'innovation) est liée à la finalisation des procédures et dispositifs vers la prise en considération des questions environnementales et à une territorialisation fine de ces actions ;

- les finalités de ces « innovations territoriales » autour de dispositifs standards, protéger les ressources en eau, voire biodiversité, et maintenir une agriculture compatible, étaient connues de tous, que chaque acteur les considère comme justifiées ou non. Ainsi, les évolutions de comportements de chaque acteur étaient évaluées à l'aune de ces finalités.

Tous les acteurs concernés ont souhaité disposer d'un suivi des résultats sur la qualité des ressources en eau, résultats qui étaient restitués à tous. Ainsi, dès les années 1990, l'obligation de résultat apparaissait à une gamme variée d'acteurs comme un principe qui devait guider ces innovations territoriales ; ils anticipaient ainsi sur les obligations de résultats de la directive cadre européenne.

Les modalités de mise en œuvre d'une réorganisation territoriale des systèmes de culture dans un BAC

En référence aux cinq expériences brièvement relatées précédemment, nous dissocions deux étapes : la première est relative au diagnostic territorial finalisé sur un projet, la seconde s'attache à sa concrétisation par un plan d'actions et à sa gestion dans le temps.

L'itinéraire méthodologique pour la construction d'un diagnostic territorial

Le chantier de recherche-intervention de Saint-Germain a été fort instructif sur les conditions à réunir pour négocier un projet complexe, multi-acteurs et multi-enjeux : un itinéraire méthodologique a été formalisé (Soulard *et al.*, 2006). La démarche proposée imbrique des travaux d'études et des lieux d'échanges avec les acteurs du projet (figure 1) : l'itinéraire vise à articuler des questions posées à deux échelles d'actions, le territoire – en l'occurrence, ici, le BAC – et les exploitations agricoles. Il indique aussi qu'il convient d'organiser le processus de mobilisation des acteurs en les associant aux études-diagnostic, puis en les accompagnant dans la co-construction de solutions opérationnelles, mises en discussion à l'intérieur des différents collectifs, agriculteurs, maire et conseillers municipaux, et institutionnels.

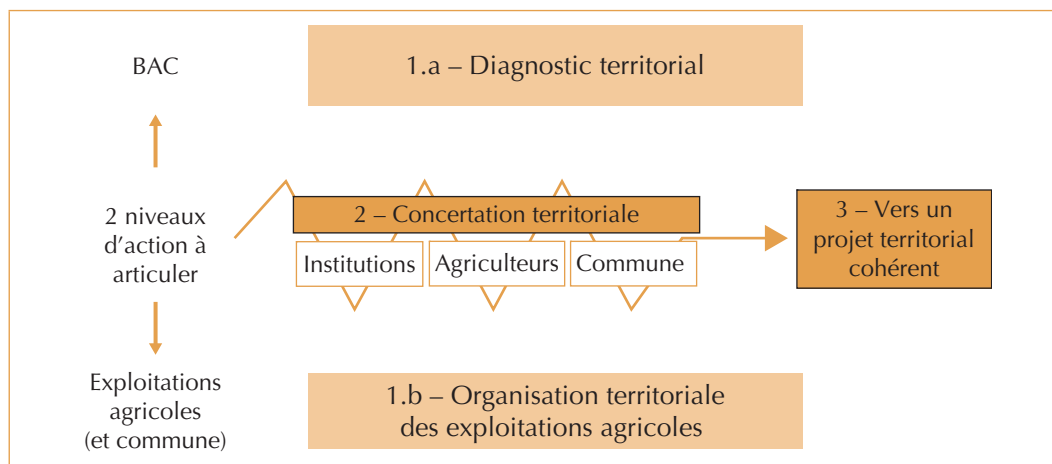
LA PREMIÈRE PHASE DE L'ITINÉRAIRE : L'ÉTUDE DES INTERDÉPENDANCES EXPLOITATION-TERRITOIRE

Elle s'appuie sur une méthodologie élaborée par l'INRA et l'ENESAD²⁰ (Soulard *et al.*, 2002). C'est au cours d'un entretien compréhensif²¹ avec l'agriculteur que le schéma d'organisation territoriale de l'exploitation agricole (SOT) se concrétise par la construction de croquis cartographiques successifs de l'exploitation, qui représentent la ou les logiques de l'agriculteur sur le territoire de son exploitation. Ces croquis permettent la confrontation des pratiques mises en œuvre avec celles mises en jeu par les questions d'environnement identifiées sur le territoire, ici le BAC ; le SOT facilite l'évaluation des marges de manœuvre de l'agriculteur pour adapter ses SDC. Toutefois, la démarche nécessite de travailler les représentations spatiales pour en faire un réel outil opérationnel d'aide au développement territorial, en s'inspirant des travaux menés par Christophe *et al.* (1996).

19. Mesures agro-environnementales

20. Établissement national d'enseignement supérieur agronomique de Dijon.

21. Au sens de J.-C. Kauffman (1996), *Les entretiens compréhensifs*, PUF. Ces entretiens compréhensifs visent à retenir les raisons explicitées par les acteurs.



◀ Figure 1 – Itinéraire méthodologique pour un diagnostic territorial (C. Soulard).

LA SECONDE PHASE DE L'ITINÉRAIRE : L'APPROPRIATION DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET LA FORMULATION DES SOLUTIONS

Cette phase se réfère directement aux travaux de sciences sociales expérimentés par le groupe d'expérimentation et de recherche sur le développement d'actions localisées (GERDAL). L'objectif recherché est de créer les conditions pour que le groupe d'agriculteurs s'approprie les enjeux environnementaux, puis réfléchisse aux solutions concrètes, accessibles pour intégrer ces enjeux dans leurs pratiques territoriales. L'expérience montre qu'il faut aussi être à l'écoute des élus locaux et des acteurs institutionnels. Dans cette démarche de prospective territoriale, l'animateur a le rôle très difficile d'agencer ces trois sphères, en créant des temps d'écoute et de création spécifiques à chacune, et des temps de confrontation pour négocier un projet concerté. L'association des élus locaux à la démarche est d'autant plus impérative qu'il existe une forte dissymétrie d'informations et d'expertise entre les agriculteurs qui connaissent finement le terrain, son histoire foncière et le contexte réglementaire, et les élus, souvent désemparés face à une telle somme d'informations à mobiliser.

Le plan d'action pour la réorganisation territoriale des systèmes de culture au niveau du BAC

UN SCHÉMA POUR COORDONNER LES POINTS DE VUE

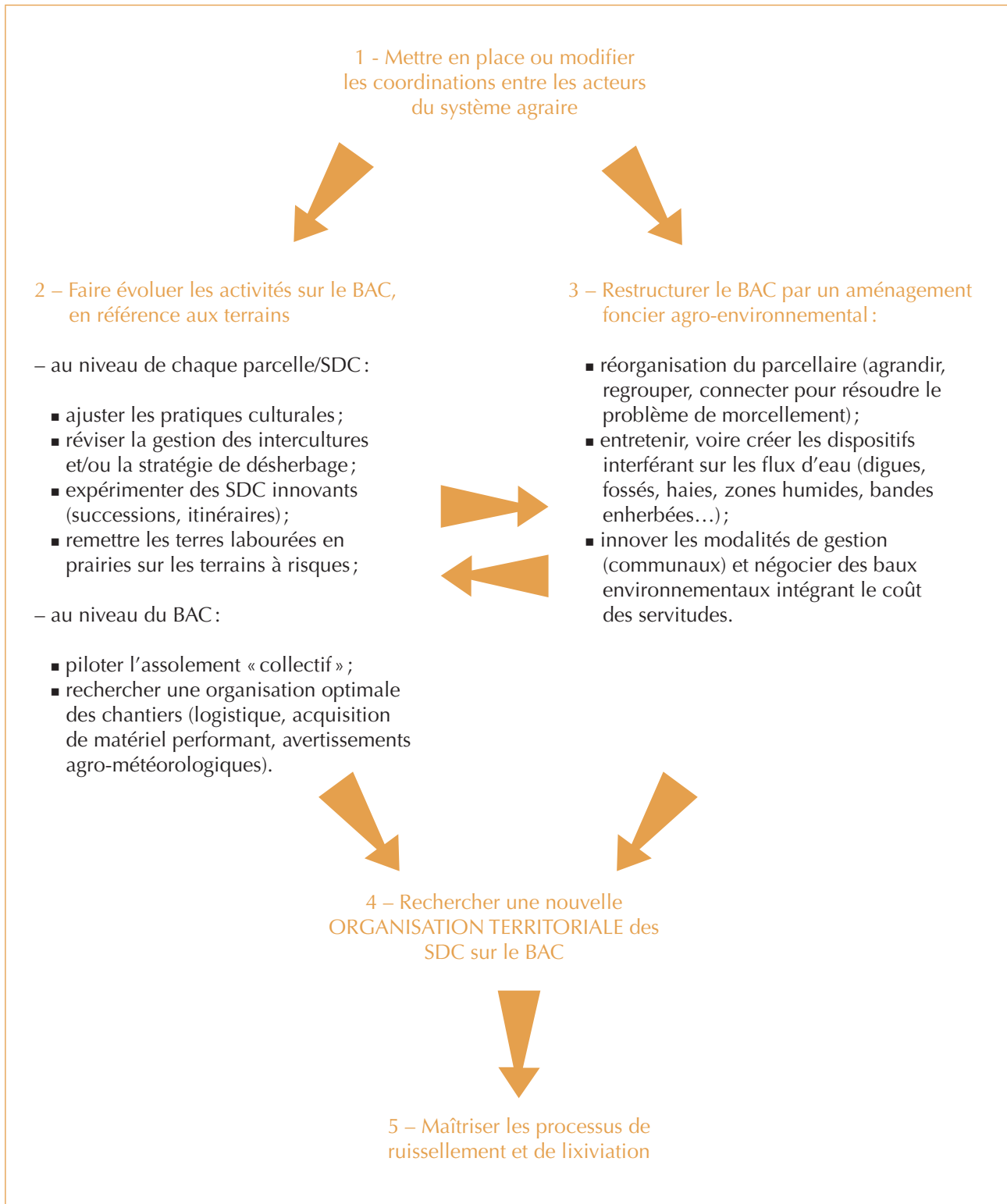
Dans ces expériences, les innovations territoriales sont tout à la fois techniques, organisationnelles et symboliques (Sebillotte *et al.*, 2003). Nous

formalisons les innovations territoriales pour protéger durablement un BAC dans la figure 2, où nous identifions :

– **une fonction déterminante de coordination** entre les acteurs impliqués dans le système agraire englobant le BAC. Ce peut être par exemple la mise en place d'un comité de pilotage local, co-présidé par le syndicat des eaux et la chambre d'agriculture, rassemblant tous les acteurs impliqués, dans leur diversité, pour négocier le plan d'actions. Le comité de pilotage peut se doter de plusieurs cellules afin de renforcer les coordinations et les régulations au cours de la mise en œuvre du plan d'actions ; un « tableau de bord » constitue un outil de pilotage et de communication très utile ;

– **deux axes stratégiques :**

- le premier est de **faire évoluer les activités sur le BAC**. Un premier niveau d'action concerne chaque parcelle, à resituer au niveau du terrain et de sa localisation, avec une gamme graduée de changements de pratiques, en allant de simples ajustements de certaines pratiques à la remise en cause radicale du SDC, en passant par la création de SDC innovants (Meynard *et al.*, 2001). Une autre façon de faire évoluer les activités sur le BAC est de piloter un assolement « collectif » afin d'organiser dans le BAC la répartition territoriale des cultures et de les réguler d'une année sur l'autre, ou encore d'optimiser l'organisation des chantiers afin d'avoir des épandages rigoureux, répondant aux exigences de précision que requiert la limitation des flux vers les ressources (Boiffin, 2001) ;



▲ Figure 2 – Schématisation des innovations territoriales et de leur mise en œuvre pour protéger durablement les ressources en eau.

• le second axe stratégique concerne **la restructuration du BAC par un aménagement foncier agro-environnemental**. Là aussi, cet axe met en jeu différents leviers d'actions : la réorganisation du parcellaire, afin de faciliter l'organisation du travail mais aussi de créer des corridors biologiques bénéfiques à la biodiversité ; l'entretien et/ou la création de dispositifs interférant sur les flux d'eau, sachant que certaines initiatives peuvent aussi être favorables à une gestion agro-écologique des populations (Deguine et Ferron, 2004), atout pour le développement de SDC innovants et durables. Enfin, des innovations concernent les modalités de gestion ; au-delà des « communaux », le « bail environnemental » envisageable aujourd'hui entre un syndicat des eaux, propriétaire, et un agriculteur, mérite la plus grande attention, dans la mesure où il crée des conditions équitables en intégrant le coût des servitudes ; le bail environnemental pourrait être une solution intéressante pour les parcelles situées sur des terrains à risques, dans le BAC. Les SAFER²² constituent alors des partenaires incontournables.

L'ORGANISATION TERRITORIALE DES SDC ET SON IMPACT SUR LE BAC

C'est pour nous un bon indicateur du fonctionnement des exploitations agricoles et il joue un rôle majeur dans les questions de maîtrise des processus naturels. Il rend compte de la double signification du terme organisation, dans son acception active de mise en œuvre des activités et dans sa résultante, la répartition spatiale des couverts végétaux. Il présente un point de vue riche sur l'utilisation du territoire, car il ne s'enferme pas dans la seule vision agricole, mais a du sens pour les autres acteurs de l'espace rural. De plus, c'est un révélateur des innovations à l'œuvre ; il fournit des éléments concrets de comparaison pour cerner les évolutions de territoires à enjeux environnementaux.

L'OTSC JOUE UN RÔLE MAJEUR SUR LES FLUX BIO-GÉOCHIMIQUES

En interaction avec les terrains, et donc sur la maîtrise des processus de ruissellement et de lixiviation, nous mentionnons ici la nécessité, dans les plans d'action, de prévoir un dispositif rigoureux de contrôle de la qualité de la ressource en eau, sans négliger les aspects quantitatifs. La transparence des données relatives à la ressource en eau est fondamentale pour mobiliser durablement les acteurs et pour évaluer la pertinence du plan d'actions, qui peut nécessiter des réactualisations au fil du temps.

Discussion

L'OTSC RÉSULTE DU FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME AGRAIRE, MAIS C'EST AUSSI UN SYSTÈME AGRAIRE À RECONSTRUIRE

L'OTSC est un bon révélateur des modes de fonctionnement agricoles dont nous pouvons rendre compte (Benoît, 1985 ; Benoît, 1990 ; Morlon et Benoît, 1990 ; Leber et Benoît, 1998). Traduction instantanée d'interactions entre acteurs et territoires, l'OTSC reflète un ensemble complexe de règles d'organisation d'activités dans un territoire, d'évaluations de ces règles, et enfin, de conditions de changement de ces règles (Maxime *et al.*, 1995 ; Verburg *et al.*, 1999 ; Soulard *et al.*, 2002). La modification de cette OTSC a été centrale pour l'amélioration des ressources en eau des situations étudiées ; si l'on reprend le cas de Vittel, c'est bien le changement de systèmes agraires, plus intense que sur Xermaménil et l'Abergement, qui a permis les changements d'OTSC. D'autres situations, par exemple la maîtrise des processus d'érosion montrent que ces modifications ont des impacts généralisés (Joannon, 2004).

L'OTSC INDUIT DES ARBITRAGES CONTINUS ENTRE INDIVIDUS ET COLLECTIFS

L'utilisation du territoire doit être considérée à différents niveaux d'organisation, combinaison d'échelles de temps et d'espace (Leigh et Johnson, 1994 ; Thenail, 1996). Les interactions individu-collectifs sont à replacer dans les évolutions du territoire, en référence à l'évolution du contexte technique et socio-économique (Muxart *et al.*, 1992). Dans les cas étudiés, les évolutions d'OTSC voulues par les gestionnaires de ressources en eau ont modifié les logiques individuelles. Très marquées à Xermaménil, avec disparition des cultures remplacées par des prairies après remembrement, ces évolutions ont été notables à Vittel et à l'Abergement, et très ténues dans le Haut-Saintois, où seules les cultures intermédiaires et une répartition des déjections animales ont été mises en œuvre. Ainsi, l'état à un instant donné de l'OTSC d'un bassin est la résultante d'ajustements individuels non concertés... jusqu'au moment où un pilotage concerté de ce bassin devient nécessaire.

L'OTSC SE FAIT AU TRAVERS D'ACTES TECHNIQUES

L'OTSC est la résultante des interventions de l'agriculteur sur l'espace qu'il maîtrise, de ses choix et façons de pratiquer (Husson et Benoît, 2004). Les agronomes ont proposé différentes

22. Société d'aménagement foncier et d'établissement rural. Il y en a 27 en France : ce sont des sociétés anonymes à but non lucratif, sous tutelle des ministères de l'Agriculture et des Finances. Leurs missions d'intérêt général ont pour objectif de participer à l'aménagement durable et équilibré de l'espace rural.

23. Politique agricole commune.

notions pour rendre compte de la façon dont les actes techniques organisent le territoire. Le fait technique (Gras *et al.*, 1989), *considéré comme une charnière entre le milieu physique et le milieu socio-économique*, prend en compte à la fois les effets des interventions techniques et les conditions de leurs choix effectifs au niveau de l'exploitation. Dans ces cinq situations, l'OTSC modifiée est le résultat visé par les innovations territoriales mises en œuvre, et la situation du remembrement avec changement total d'assolement sur le bassin de Xermaménil en est l'expression la plus marquée.

En conclusion et perspectives : cinq leçons et cinq questions

Cinq leçons à tirer pour les agronomes et les gestionnaires en charge des reconstructions de territoires de l'eau

LEÇON 1 : LE TERRITOIRE DEVIENT L'OBJET CENTRAL DES NÉGOCIATIONS POSÉES INITIALEMENT SUR L'EAU

Les exemples présentés ici servent de support à la présentation d'un « schéma général d'innovations territoriales », où ces territoires sont vus comme des enjeux maintenant partagés entre acteurs de la société rurale, et pas seulement entre les agriculteurs. Les interactions agriculture-collectivités locales seront à étudier avec attention par les agronomes, en y associant des concepts d'ingénierie territoriale (Pahl et Beitz, 1996).

LEÇON 2 : LE TEMPS DE RÉPONSE DU BASSIN EST SOUVENT LIMITÉ PAR LA VITESSE DES CHANGEMENTS DES PRATIQUES AGRICOLES

Dans les cas étudiés, les évolutions qualitatives des ressources en eau ont été beaucoup plus marquées et surtout beaucoup plus rapides que nos hypothèses initiales. Ainsi, si les innovations territoriales permettent des changements marqués de systèmes de culture, les ressources en eau peuvent évoluer aussi rapidement en amélioration qu'elles ne s'étaient dégradées. La latence du milieu physique peut ainsi être largement inférieure à la latence des changements de pratiques, en ciblant notamment les mesures sur les parcelles à risque ; toutefois, la diversité des systèmes hydrodynamiques nous conduit à accepter une diversité des délais de réponse.

LEÇON 3 : METTRE AU POINT UNE INNOVATION TERRITORIALE REPOSE SUR UNE ACTIVITÉ PROSPECTIVE PARTAGÉE

Ces expériences mettent en évidence la capacité des acteurs en présence, agriculteurs et gestionnaires de ressources en eau, à construire ensemble une vision prospective de petits territoires ruraux. L'enjeu à faire partager aux acteurs est bien de créer des conditions locales à la compatibilité agriculture/protection des ressources en eau, en s'extrayant parfois des règles générales (PAC²³, droit rural...) pour « sécuriser » ces innovations. Souvent, cet exercice de prospective renvoie au foncier ou à l'organisation parcellaire compatible avec la prise en compte des enjeux agricoles. Ainsi, la pérennité de tels dispositifs – c'est bien une question centrale de la durabilité – renvoie beaucoup à la question du foncier.

LEÇON 4 : L'OTSC, VU COMME LE PRODUIT D'ACTIVITÉS COLLECTIVES

L'OTSC est la résultante de deux axes stratégiques d'innovations territoriales : la modification des activités agricoles, en jouant en particulier sur les SDC, et la restructuration par un aménagement foncier agro-environnemental. En outre, la fonction de coordination des acteurs paraît primordiale dans un objectif d'efficacité collective.

LEÇON 5 : L'AGRONOME, MÉTIERS ET POSTURES

Nous pouvons tracer deux figures d'agronomes :

– **une position d'agronome-chercheur** qui fut double : être intégré dans les interactions d'acteurs construisant ces innovations territoriales, et s'en distancier par un continuuel exercice d'évaluation des effets de ces innovations sur les ressources en eau. L'enjeu est effectivement d'être présent comme un acteur du changement en train de s'instruire, et de maintenir un regard critique sur ce changement à l'œuvre en créant une tension *via* l'évaluation des résultats attendus sur les ressources en eau ;

– **une position d'agronome-développeur territorial**, qui comprend là aussi un double registre : une mission d'expertise lors du diagnostic territorial, avec le souci d'objectiver les situations et de concevoir l'OTSD la plus pertinente ; une mission de médiation et d'animation locale, avec les acteurs locaux et institutionnels, davantage orientée vers l'écoute, la création d'outils de médiation et la négociation. La solution idéale est d'assumer ces missions par deux agronomes différents, dans un travail en équipe (Kockmann, 2007).

Cinq questions sur la prise en charge de ces territoires de l'eau

QUESTION 1 : QUEL ENJEU STRATÉGIQUE EST PORTÉ PAR LES BAC ?

Ces territoires de l'eau seront-ils des sanctuaires avec un arsenal réglementaire, ou des « laboratoires d'innovations » pour expérimenter une agriculture multifonctionnelle ? Si cette deuxième option est retenue, nous avons là une opportunité pour enrichir rapidement nos connaissances dans la conception et la concrétisation de SDC innovants, en intégrant la dimension agro-écologique et obtenir des résultats sur l'eau.

QUESTION 2 : QUELLE PLACE RÉSERVER POUR LES AUTRES ACTEURS ?

Les réorganisations territoriales des SDC, pour protéger les ressources en eau, concernent certes tous les agriculteurs situés sur les BAC ainsi que les conseillers, mais aussi d'autres acteurs à convaincre (État, collectivités, agences de l'eau...), afin de partager le diagnostic et le plan d'action au travers de sensibilisation et de formation. À défaut, nous risquons une multiplication de foyers d'incompréhension et d'hostilité au niveau des BAC.

QUESTION 3 : QUELLES SONT LES LIMITES DE CES PREMIERS ACQUIS ?

Les expériences de recherche-intervention sur les BAC ont produit des acquis : certains transférables, développés dans le présent article, d'autres insuffisamment opérationnels comme le schéma d'organisation territoriale de l'exploitation ; il reste des lacunes relatives en particulier aux conditions économiques pour rémunérer une

agriculture multifonctionnelle pérenne. Les mesures agro-environnementales territorialisées actuelles, ciblées notamment sur les BAC, sont malheureusement codifiées par culture, alors que c'est au niveau du SDC que s'évaluent la performance agro-environnementale et le soutien économique nécessaire. De ce fait, si le dispositif d'accompagnement est plus simple, il manque de souplesse pour s'adapter à la diversité des situations locales. La question de la rémunération d'un service de protection préventive d'une ressource, demandé aux agriculteurs, est-elle compatible avec l'investissement consenti pour des solutions curatives appliquées aux eaux brutes ?

QUESTION 4 : QUEL DISPOSITIF CRÉER POUR ÉCHANGER SUR DE TELLES EXPÉRIENCES ?

Sur ces « expériences » en ingénierie territoriale : comment mieux partager les acquis ? Comment les insérer dans un réseau inter-organismes ? Comment de tels dispositifs peuvent-ils prendre en charge les enjeux des « trames bleues... et vertes » ? Comment capitaliser les acquis de ces expériences ? Un dispositif de partage de ces expériences est d'une impérieuse nécessité.

QUESTION 5 : COMMENT INSÉRER DANS LA DURÉE L'OBSERVATION CRITIQUE DE TELLES EXPÉRIENCES ?

La réponse est dans l'augmentation de notre capacité d'observation des relations territoires-techniques-acteurs et donc dans la dynamique des observatoires d'activités agricoles dans des territoires à enjeux (RMT OAAT²⁴), pour instruire et valider notre corpus d'informations, notamment pour modéliser les organisations territoriales des systèmes de culture. □

24. Le réseau mixte technologique relatif à l'observatoire des activités agricoles sur les territoires. Les RMT visent notamment à décroiser la recherche, formation et développement.

Remerciements

Ce travail a été soutenu financièrement par l'ANR (Agence nationale de la recherche) au sein du programme « Agriculture et développement durable », projet « ANR-05-PADD-011, Conception d'observatoires de pratiques territorialisées ». Il a aussi bénéficié du soutien du CASDAR²⁵ et du conseil régional de Bourgogne, projet « Systèmes de culture innovants ».

25. Compte d'affectation spéciale « développement agricole et rural ».

Résumé

En France, la problématique au niveau des vingt mille bassins d'alimentation de captages (BAC) recensés est de mettre en place une agriculture multifonctionnelle, conciliant la préservation et/ou la restauration des ressources en eau, et la viabilité économique des exploitations concernées. La prise en considération des enjeux environnementaux a mis en relief la pertinence du concept de système de culture, compris au sens large, incluant les prairies permanentes et la nécessité de comprendre, diagnostiquer et remettre en cause l'organisation territoriale des systèmes de culture à l'échelle du bassin versant. En référence à cinq expériences de recherche-intervention conduites en Lorraine et Bourgogne, brièvement resituées, les auteurs dégagent une méthodologie générique de protection à long terme des ressources en eau, dans les BAC. Ils dissocient deux étapes : le diagnostic territorial finalisé sur un projet, résultant d'une vision prospective partagée avec les acteurs locaux, puis sa concrétisation par un plan d'actions. Ce dernier articule deux axes stratégiques d'innovations territoriales : la modification des activités agricoles, en jouant en particulier sur les systèmes de culture, et la restructuration par un aménagement foncier agro-environnemental. La gestion dans le temps de l'organisation territoriale des systèmes de cultures retenue repose sur une fonction primordiale de coordination des acteurs locaux. Dans une mise en perspective, les BAC seront ou des sanctuaires protégés par un arsenal réglementaire, ou au contraire, des « laboratoires d'innovations » pour expérimenter une agriculture multifonctionnelle, avec notamment la création de systèmes de cultures innovants, intégrant la dimension agro-écologique. Les acteurs institutionnels du « monde de l'eau » auront là un rôle déterminant.

Abstract

France try to implement multifunctional agriculture linking preservation of water quality and economical performance of farms on 20000 watersheds used for drinking water. The environmental issues pointed out cropping system concept - sensu lato: as, crop and grassland management- and the central role of cropping systems spatial organisation at the landscape scale. More precisely, we have to understand, diagnose and re-design this spatial organisation of cropping system at the watershed scale. We use five in situ re-designing of cropping systems in Lorraine and Burgundy, to draw a general framework for water resources protection in the watersheds. The authors focus on two steps: the territorial diagnosis through a local and common design for the future cropping systems, and the implementation of this foresight through a share planning. This planning uses two axes: the evolution of cropping systems, and the relocation of cropping systems through a land re-design. This planning is based on the capacity of local stakeholders to coordinate their own evolutions in this common plan. In the future, these watersheds could be territory frozen with strict regulations or could be on the opposite "local innovations laboratories" to learn together the future of a multi-functional agriculture, with innovative cropping systems, innovative landscape design, with agro-ecology principles. The water stakeholders will have the central role in this choice.

Bibliographie

- AUBRY, C., PAPY, F., CAPILLON, A., 1998, Modelling decision-making processes for annual crop management, *Agricultural systems*, n° 56, p. 45-65.
- BENOÎT, M., 1985, *La gestion territoriale des activités agricoles. L'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en région d'élevage*, thèse de Docteur-Ingénieur INA-PG « Sciences Agronomiques », 152 p. + annexes.
- BENOÎT, M., 1990, La gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain, *Mappemonde*, 90/4, p. 15-17.
- 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(4), p. 175-188.
- 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*, 1997, n° 6, p. 97-105.
- BENOÎT, M., PAPY, F., 1997, Pratiques agricoles et qualité de l'eau sur un territoire alimentant un captage, in : *L'eau dans l'agro-écosystème*, RIOU, C., BONHOMME, R., CHASSIN, P., NEVEU, A., PAPY, F. (eds), INRA Éditions, p. 323-338.
- BOIFFIN, J., 2001, *Agronome et multifonctionnalité*, in : *Nouveaux défis de la fertilisation raisonnée*, GEMAS-COMIFER, 5^{es} rencontres de la fertilisation raisonnées, p. 341-350.
- CHRISTOPHE, C., LARDON, S., MONESTIEZ, P. (éd.), 1996, *Étude des phénomènes spatiaux en agriculture*, INRA Éditions, Paris, série colloque, 365 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.
- DORIOZ, J.-M., 2007, Effets des dispositifs enherbés sur les transferts diffus de phosphore dans les bassins versants agricoles, in : *Étude et Gestion des Sols*, volume 14, n° 4, AFES, p. 249-267.
- FABRE, B., KOCKMANN, F., 1996, Évaluation 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, p. 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 p. + annexes.
- GRAS, R., BENOÎT, M., DEFFONTAINES, J.-P., DURU, M., LAFARGE, M., LANGLET, A., OSTY, P.-L., 1989, *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude*, Coéd. INRA-L'Harmattan, 160 p.
- HEYDEL, L., BENOÎT, M., SCHIAVON, M., 1997, Estimation des apports de produits phytosanitaires à l'échelle de bassins d'alimentation, *Agronomie* (1997), n° 17, p. 25-33.
- HUSSON, J.-P., BENOÎT, M., 2004, Les risques en systèmes de grandes cultures, in : *La géographie des risques dans le monde*, WACKERMANN, G. (ed.), Dossier n° 4, p. 287-302.
- JOANNON, A., 2004, *Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus écologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du pays de Caux, Haute-Normandie*, thèse de doctorat en agronomie, INAPG, 239 p. + annexes.
- KOCKMANN, F., 2007, *L'agriculture interrogée par le développement durable : une expérience en Saône-et-Loire*, *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n° 54, septembre 2007, p. 65-79.
- LE BER, F., BENOÎT, M., 1998, Modelling the spatial organisation of land use in a farming territory. Example of a village in the « Plateau Lorrain », *Agronomie*, n° 18, p. 103-115.
- LEIGH, R.-A., JOHNSTON, A.-E., 1994, *Long term Experiment in Agricultural and Ecological Sciences*, Harpenden, UK, Rothamsted Experimental Station, CAB International, 428 p.

MARTIN, P.-H., PAPY, F., SOUCHÈRE, V., CAPILLON, A., 1998, Maîtrise du ruissellement et modélisation des pratiques de production, *Cahiers Agriculture*, n° 7, p. 111-119.

MARY, B., BEAUDOIN, N., BENOÎT, M., 1996, Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau, in : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, LEMAIRE, G., NICOLARDOT, B. (eds), Reims, 19-20 octobre 1996, Les colloques, n° 83, INRA, Paris, p. 289-312.

MAXIME, F., PAPY, F., MOLLET, J.-M., 1995, Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture, *Cahiers Agricoles*, n° 4, p. 351-62.

MEYNARD, J.-M., DORRÉ, T., HABIB, R., 2001, L'évaluation et la conception de systèmes de cultures pour une agriculture durable, *CR Académie d'Agriculture Fr.*, 87.4, p. 223-236

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 (4), p. 275-285.

MIGNOLET, C., THÉNARD, V., BENOÎT, M., ANFRIE, 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*, n° 61, p. 307-313.

MORLON, P., BENOÎT, M., 1990, Étude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système, *Agronomie*, 1990 (6), p. 499-508.

MUXART, T., BLANDIN, P., FRIEDBERG, C., 1992, Hétérogénéité du temps et de l'espace : niveaux d'organisation et échelles spatio-temporelles, in : *Sciences de la nature, sciences de la société*, JOLLIVET, M. (ed.), Paris, France, CNRS, p. 403-425.

NOVAK, S., KOCKMANN, F., VILLARD, A., BANTON, O., COMTE, J.-C., 2006, Adapter la stratégie culturale au type de sol, *Perspectives agricoles*, n° 321, avril 2006

NOVAK, S., VILLARD, A., KOCKMANN, F., BANTON, O., 2006, Élaboration d'un outil d'aide à la décision pour limiter les pertes en nitrates – L'exemple des principaux sols et systèmes de cultures du Val de Saône, *Ingénieries-EAT*, n° 45, p. 29-47

PAHL, G., BEITZ, W., 1996, *Engineering Design. A systematic Approach*, Springer-Verlag, 617 p.

REAL, B., GRIL, J.-J., 2001, Diagnostic CORPEN : des solutions adaptées aux différents types de pollution diffuse, *Perspectives Agricoles*, n° 268, mai 2001, p. 24-47.

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

SEBILLOTTE, M., 1982, Les systèmes de culture. Réflexions sur l'intérêt de cette notion à partir de l'expérience en région de grandes cultures, in : *Séminaire du département d'Agronomie*, INRA, 16-18 mars, p. 63-80.

SEBILLOTTE, M., LECLERC, L.-A., HOFELACH, P., SEBILLOTTE, C., 2003, *Prospective Eau et Milieu aquatique*, Cemagref-INRA, INRA Éditions, 211 p.

SOULARD, C., MORLON, P., CHEVIGNARD, N., 2002, Le schéma d'organisation territoriale de l'exploitation agricole : un outil dans l'étude des relations agriculture-environnement, Communication aux journées Olivier de Serres, Entretiens du Pradel : Agronomes et Territoires , 12 et 13 septembre 2002.

SOULARD, C.-T., KOCKMANN, F., DUFOUX, M., 2006, Construction d'un projet territorial agriculture et environnement en prairies humide du val de Saône, in : *Qualité de l'eau en milieu rural. Savoirs et pratiques dans les bassins versants*, MÉROT, P. (ed.), INRA Éditions, p. 317-322.

THENAIL, C., 1996, *Exploitations agricoles et territoire(s) : contribution à la structuration de la mosaïque paysagère*, thèse de l'université de Rennes I, 396 p.

VERBURG, P.-H., DE KONING, G.-H.-J., KOK, K., VELDKAMP, A., BOUMA, J., 1999, A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use, *Ecological Modelling*, 116(1), p. 45-61.