

Concilier efficacité technico-économique et environnementale des exploitations agricoles en zone vulnérable : apport du diagnostic agraire

F. Mabon¹, T. Raimbault¹, P. Moreau¹,
S. Devienne², L. Delaby³, P. Durand¹,
L. Ruiz¹, F. Vertès¹

Dans les bassins versants côtiers particulièrement vulnérables (“marées vertes” récurrentes), la durabilité de la production agricole est confrontée à un rude défi, la réduction des flux de nitrates. Dans le bassin versant de la Lieue-de-Grève, le diagnostic agraire fournit des éléments intéressants.

RÉSUMÉ

Le diagnostic agraire a été associé à un travail de modélisation environnementale pour comprendre la rationalité des systèmes de production et évaluer leurs résultats techniques, économiques et environnementaux par type de système, dans une perspective d'évolution. Les conditions pédoclimatiques sont favorables à l'élevage laitier ; les systèmes herbagers, compétitifs, sont gênés par le morcellement parcellaire. Les 2 scénarios d'évolution (poursuite des pratiques actuelles et systèmes fourragers économes) simulés avec le modèle TNT2 ne suffisent pas pour atteindre le taux de nitrate recherché dans le cours d'eau. Il est donc nécessaire de construire, avec l'ensemble des partenaires, des systèmes de production innovants assurant la viabilité économique et environnementale des exploitations.

MOTS CLÉS

Bilan d'azote, Bretagne, environnement, évolution, fertilisation azotée, lessivage, nitrate, pollution de l'eau, prairie, pratique des agriculteurs, production laitière, simulation, système d'exploitation.

KEY-WORDS

Brittany, change in time, dairying, environment, farmers' practices, grassland, leaching, nitrate, nitrogen balance, nitrogen fertilisation, water pollution, farming system, simulation.

AUTEURS

1 : INRA, Agrocampus Rennes, UMR Sol Agro et Hydrosystèmes Spatialisation, 4, rue Stang Vihan, F-29000 Quimper ; Flavie.Mabon@rennes.inra.fr et Françoise.Vertès@rennes.inra.fr

2 : AgroParisTech, UER Agriculture Comparée et Développement Agricole, F-75000 Paris

3 : INRA, Agrocampus Rennes, UMR Production du Lait, F-35590 Saint-Gilles

Introduction

L'agriculture doit produire à la fois plus et mieux pour répondre aux besoins alimentaires et à des enjeux environnementaux de mieux en mieux objectivés. Les impacts des pollutions engendrées par les systèmes d'élevage intensif sont particulièrement visibles dans des milieux récepteurs fragiles (baies fermées sensibles à l'eutrophisation, zones de captages...), avec par exemple la prolifération d'algues vertes sur une partie des côtes de Bretagne. En Europe, les expériences telles que celles de Vittel ou de **Munich**¹ montrent qu'**il est possible de concilier élevage et qualité des eaux grâce à des actions fortes auprès des agriculteurs**, qui ont été incités à mettre en place des mesures de protection importantes (passage en agriculture biologique, extension des surfaces en prairies, réduction de la culture de maïs) par d'importants soutiens financiers, pris en charge par la collectivité ou une entreprise privée.

Dans un contexte agricole dominé par des exploitations de bovins laitiers et malgré des concentrations moyennes en nitrates des cours d'eau modérées (30 mg NO₃/l), la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes-d'Armor) est affectée, depuis les années 1970, par des "marées vertes" récurrentes liées à l'eutrophisation du milieu. Malgré d'importantes réductions de la pression azotée depuis 20 ans, leur intensité ne diminue pas. MÉNESGUEN (1999) a montré qu'il faudrait atteindre 8 à 10 mg/l pour réduire de moitié le tonnage d'algues.

Se basant sur cette hypothèse, les collectivités territoriales ont mis en œuvre un programme de reconquête de la qualité des eaux, auquel la recherche est associée (ANR ACASSYA, www.inra.fr/acassya). L'objectif est de mettre au point des systèmes de production innovants et robustes, techniquement et économiquement, qui préservent la viabilité des exploitations agricoles et réduisent fortement les pertes d'azote. **Le soutien de la collectivité se fait donc à la base, pour aider à la co-construction de ces nouveaux systèmes de production, en associant les agriculteurs, le développement agricole et les chercheurs**, dans un contexte environnemental, politique et économique particulièrement difficile : proliférations exceptionnelles d'algues liées au climat en 2008 et 2009, contentieux de la Directive Cadre sur l'Eau et remise en cause de plus en plus pressante du modèle productiviste breton, fragilisé de plus par la crise économique.

En quoi les pratiques agricoles passées et actuelles expliquent-elles la qualité de l'eau ? Comment mettre en œuvre cette démarche de co-construction de scénarios d'évolution, en évaluer les performances techniques, économiques et environnementales, et les conditions de leur généralisation **à l'échelle d'un territoire** ? Nous avons choisi de réaliser dans une première phase un diagnostic technique, économique et environnemental permettant d'établir un état des lieux préalable à toute élaboration de scénarios d'évolution, en associant la méthodologie du diagnostic agraire (COCHET

1 : <http://www.observatoire-environnement.org/OBSERVATOIRE/5-eau-potable-15-37-98.html>

et DEVIENNE, 2006 et 2007), l'analyse des bilans apparents d'azote (SIMON et LE CORRE, 1992) et la modélisation agro-environnementale des flux de nitrates par le modèle TNT2 (BEAUJOUAN *et al.*, 2001). Nous exposons ici cette démarche et les premiers résultats obtenus à l'échelle des exploitations sur l'ensemble de notre site d'étude (1^{re} partie) puis à l'échelle du sous-bassin versant principal, le Yar, pour la modélisation territoriale des flux d'azote (2^e partie).

Le diagnostic agricole

Cette démarche analyse le système agricole d'une petite région afin d'en caractériser la dynamique ainsi que la diversité des exploitations qui le composent.

1. Méthodologie

Il s'agit de **comprendre la rationalité des pratiques agricoles mises en place par les exploitants, les contraintes auxquelles elles répondent, et d'en évaluer les résultats** techniques et économiques. L'objectif final est de formuler des hypothèses quant aux perspectives d'évolution des exploitations, et d'identifier et hiérarchiser les problèmes rencontrés par les agriculteurs pour mettre en lumière les conditions dans lesquelles ils pourraient modifier leurs pratiques (DEVIENNE et WYBRECHT, 2002).

La **typologie des exploitations** est abordée **grâce au concept de système de production**, qui désigne "un ensemble d'exploitations ayant accès à des ressources comparables (même type de localisation, de gamme de superficie, de niveau d'équipement et de main d'œuvre), placées dans des conditions socio-économiques semblables et qui pratiquent une combinaison donnée de productions, bref un ensemble d'exploitations pouvant être représentées par un même modèle" (COCHET et DEVIENNE, 2006). Un système de production agricole est composé de différents systèmes de cultures et systèmes d'élevage, dont il s'agit de comprendre le fonctionnement interne, ainsi que leurs interactions. Cela permet de mettre en lumière les relations de complémentarité ou de concurrence entre les sous-systèmes, et donc de comprendre comment les différentes pratiques permettent d'utiliser au mieux les ressources limitées et d'éviter les goulets d'étranglements, qu'ils soient constitués par des pointes de travail, des déficits fourragers, des problèmes de trésorerie... Le facteur le plus limitant permet de repérer la limite technique supérieure du système de production. Ce système de production est un modèle, qui ne s'attache pas à décrire le fonctionnement d'une exploitation précise dans toutes ses particularités, mais **vise plutôt à décrire une logique de fonctionnement générique**. Ceci permet d'envisager, pour chaque système, l'éventail des choix possibles en matière d'investissements et d'évolution.

La construction de la typologie des systèmes de production **repose sur une démarche d'analyse paysagère et de reconstitution de l'histoire du système agricole**. Il s'agit de pré-identifier les systèmes de production avant de les caractériser finement, dans

une démarche itérative. L'étude paysagère vise à délimiter et à décrire les différentes parties du territoire étudié, et à déduire de leurs caractéristiques des hypothèses sur les modes d'exploitation de chacune des parties, les relations qui existent entre elles, ainsi que sur les différents modes d'exploitation qui se sont succédés dans le temps, orientant ainsi l'étude historique. Celle-ci, à partir de la bibliographie et d'entretiens avec les agriculteurs retraités de la région, permet de reconstituer l'évolution du mode d'exploitation des milieux, et de mettre en évidence les mécanismes ayant conduit à la différenciation des systèmes de production et à leur diversité actuelle.

L'analyse détaillée des systèmes de production actuels se fait **dans un deuxième temps**, grâce à des entretiens auprès des exploitants en activité. Le choix des exploitations enquêtées se fait d'une part à partir des hypothèses issues de l'étude historique et d'autre part grâce à la connaissance de terrain des différents acteurs locaux (agriculteurs, conseillers agricoles...). Le fonctionnement technique de chaque système de production est modélisé à partir des données acquises lors des entretiens ; ces modèles de fonctionnement technique permettent de reconstituer les résultats économiques, qui ne sont donc pas évalués à partir des résultats comptables. En effet, la comptabilité agricole est réalisée pour une année particulière, alors qu'on cherche à analyser le fonctionnement "en année moyenne" des systèmes de production, et à mettre en avant **deux critères** : d'une part **la valeur ajoutée**, qui mesure la création de valeur d'un système de culture ou d'élevage hors subvention, et d'autre part **le revenu agricole**, qui permet de formuler des hypothèses quant aux perspectives d'évolution des différents systèmes de production. On pourra trouver plus de détails sur les modalités des calculs économiques dans DEVIENNE et WYBRECHT (2002).

Sur les **bassins versants de la Lieu-de-Grève**, les entretiens avec 28 agriculteurs retraités se sont déroulés de mars à mai 2008, et 24 exploitations ont été étudiées en détail d'avril à juillet 2008 (MABON, 2008). Un calcul de bilan apparent d'azote (SIMON et LE CORRE, 1992) a été réalisé pour 50 exploitations par la Chambre d'Agriculture de Lannion sur la campagne 2005-2006.

2. Résultats

■ Un bassin versant littoral au relief accentué, spécialisé dans l'élevage laitier

Le territoire étudié, de 120 km² pour 8 500 ha de SAU, est composé de 5 bassins versants (BV), dont le plus grand est celui du Yar, qui alimentent la baie de Saint-Michel-en-Grève. Il compte 170 exploitations en 2007, dont plus de 85% d'élevages bovins laitiers, et 4% comportant un atelier hors sol de porcs ou de volailles. 50% de la SAU sont en prairie temporaire, de ray-grass pur ou associé au trèfle blanc. Nous l'avons subdivisé en **quatre zones** :

- deux zones vallonnées sur granite, la zone Lanvellec se distinguant de celle de Guerlesquin par une rupture de pente et une

élévation des altitudes vers Guerlesquin, avec affleurement du substrat granitique (début des Monts d'Arrée). Les sols sont bruns, filtrants et acides, avec une accumulation d'argiles en fond de vallons ;

- une zone de plaine à l'est du territoire recouverte par des limons éoliens, sur lesquels se sont développés des sols profonds beaucoup plus favorables aux cultures annuelles ;

- au nord, la zone littorale est constituée de profondes vallées encaissées, sur roches métamorphiques, dont les interfluves étroits ont conservé quelques placages de limons éoliens.

La région bénéficie d'une pluviométrie importante en juin et juillet, prolongement de celle des Monts d'Arrée, qui la rend beaucoup plus favorable à la pousse de l'herbe en été que le reste du littoral nord breton (MADEC, 2006). Le pâturage est favorisé sur les terres portantes, mais des problèmes de récolte de l'herbe peuvent se poser en année humide. La très **grande sensibilité du milieu aux pertes de nitrates** est liée aux fortes pentes et aux sols filtrants. Elle est **renforcée par la configuration de la baie** de Saint-Michel-en-Grève : un estran large d'un kilomètre, en pente douce, à l'abri des courants côtiers, qui procure aux algues une eau peu brassée se réchauffant rapidement au printemps, conditions idéales pour leur croissance.

■ Etude historique : agrandissement et spécialisation des exploitations au sein d'un milieu naturel plus contraignant que dans les régions voisines

Le **système agraire en place au début du XX^e siècle** dans cette région permet de répondre à **un problème principal : celui du renouvellement de la fertilité dans des sols acides et filtrants**, qui limitent la minéralisation de la matière organique et la fixation des cations. Les sables coquilliers de la baie de Saint-Michel-en-G. permettent d'améliorer le problème d'acidité pour les terres les plus proches du littoral, et le renouvellement de la fertilité est assuré par la production d'un maximum de fumier, par le biais d'une stabulation quasi permanente, et par le soutrage. Cette pratique reposait sur l'exploitation de la lande comme réserve complémentaire de fertilité : les agriculteurs y prélevaient des végétaux ligneux non consommables par les animaux, dont ils se servaient pour la litière. Le piétinement par les animaux et le mélange avec les déjections favorisaient leur décomposition, permettant ainsi d'accroître la quantité de matière organique facilement biodégradable disponible pour les terres labourables. La pratique du soutrage va de pair avec un système fourrager fondé sur l'affouragement en vert et un pâturage limité aux bords de champs et aux vergers. Les fourrages récoltés sont constitués de plantes sarclées (chou fourrager, betteraves et navets), du foin des prairies permanentes et des prairies de fond de vallées, irriguées en été et drainées en hiver. Les rotations pratiquées sur les terres labourables, du type plante sarclée (ou céréale d'hiver) / dérobée ou céréale de printemps / trèfle violet semé sous couvert, permettent de maintenir les sols couverts

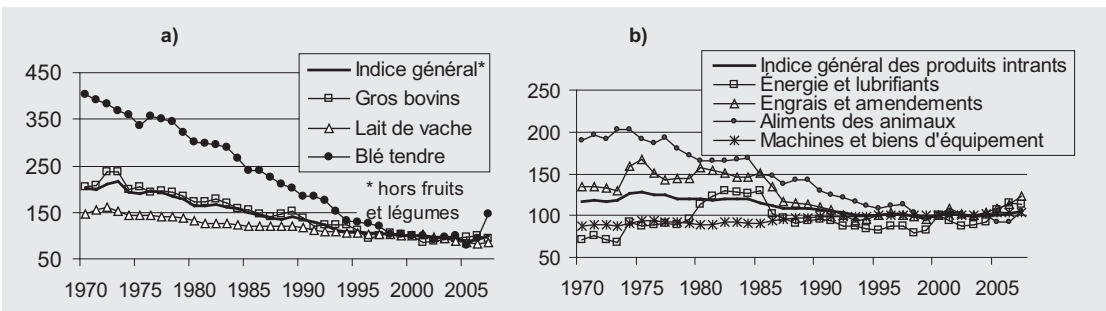
pendant les périodes de lessivage. De plus, tous les produits vendus sont des produits transformés (beurre, porcs, veaux de lait, bœufs...), ce qui maximise leur valeur ajoutée tout en utilisant pleinement la main d'œuvre disponible.

Dans les années 1950, la généralisation des engrais et amendements résout le problème de l'entretien de la fertilité et supprime la nécessité de la pratique de la stabulation permanente et du soutrage. Cela permet d'augmenter les rendements sur les terres déjà labourées mais aussi, grâce à la motorisation, de retourner les prairies permanentes et d'introduire les prairies temporaires dans les rotations. L'augmentation des rendements et de la densité énergétique des fourrages cultivés permet d'introduire la vache normande, moins rustique mais plus productive que l'armoricaine. On assiste donc à une **phase d'augmentation de la productivité du travail dans le cadre d'un système de polyculture-polyélevage**, par une augmentation du capital (motorisation) et des consommations intermédiaires. Ces transformations profondes du système agraire ont eu des **conséquences environnementales** importantes, quatre facteurs concourant au lessivage d'importants excédents d'azote : i) la minéralisation de la matière organique brute, auparavant bloquée par l'acidité du sol, ii) le retournement simultané de grandes surfaces de prairies permanentes et de landes, iii) l'épandage d'azote minéral en quantité excédentaire, et iv) l'épandage non raisonné des engrais de ferme, désormais considérés comme des déchets.

Le mouvement général d'accroissement de la productivité du travail agricole en France conduit à partir du début des **années 1960** à une **diminution rapide des prix agricoles** à la production (figure 1a) par rapport à ceux des consommations intermédiaires et des biens d'équipements (figure 1b). Face à cette évolution défavorable, la stratégie majoritaire a consisté à augmenter de façon importante le produit brut par hectare et par actif pour maintenir le revenu, au prix d'un recours accru aux consommations intermédiaires et à l'adoption d'un équipement de plus en plus performant. Ce mouvement de capitalisation continu a permis d'augmenter sans cesse la superficie travaillée par actif et la production par hectare mais en éliminant à chaque étape les exploitations les moins rentables non reprises. Cette situation sociale était rendue acceptable par le contexte économique général des années 50 à 70, qui a vu se multiplier les possibilités d'emplois à l'extérieur de l'agriculture et dans les villes, mais est devenu plus problématique depuis les années 1980.

FIGURE 1 : Evolution, depuis 1970, a) des prix à la production (source : INSEE), b) des prix des consommations intermédiaires (source : Agreste) ; prix en monnaie constante ; base 100 en 2000.

FIGURE 1 : For 1970, changes in the prices of a) the products (source : INSEE), b) the intermediate consumptions (source : Agreste) ; constant monetary units ; base 100 in 2000.



Sur le territoire étudié, ce mouvement s'est traduit par la **spécialisation des exploitations vers la production laitière**, qui permet de bien valoriser l'avantage comparatif que présente la région pour la production de fourrages (pluviométrie relativement élevée en été), et non par une forte concentration d'élevages hors sol ou de productions légumières comme dans les régions côtières voisines. Dès les années 1960, la disparition des débouchés pour les productions traditionnelles à haute valeur ajoutée a nécessité d'accroître les ventes de lait et entraîné d'importantes immobilisations de capital fixe (étables, tank à lait, machine à traire...).

Dans les **années 1970**, l'intensification des processus de production s'accélère, en réponse aux premières crises pétrolières qui diminuent encore le pouvoir d'achat des produits agricoles, et les systèmes fourragers sont bouleversés par **l'introduction du maïs**, qui permet de libérer le temps de travail lié à la culture et à la distribution des plantes sarclées et d'augmenter le nombre d'unités fourragères produites à l'hectare. **Le chargement et la production laitière par vache augmentent**, l'adoption de l'insémination artificielle permettant d'accroître le potentiel génétique des troupeaux. L'extension des rotations du type maïs - céréales, laissant les **sols nus en hiver** aggrave le problème de lessivage des nutriments, d'autant plus que cela se fait aux dépens des prairies (figure 2).

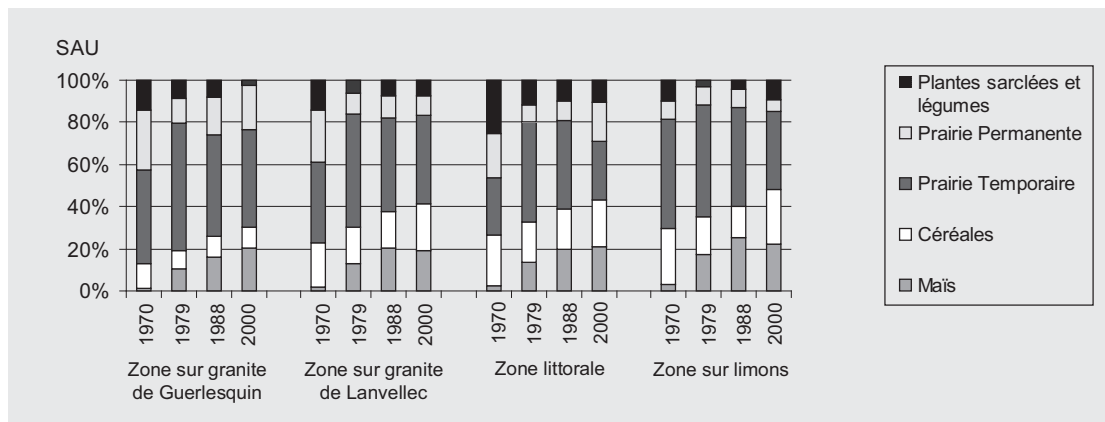


FIGURE 2 : Evolution sur 30 ans de l'assolement des 4 zones des bassins versants de la Lieue-de-Grève (source : RGA).

FIGURE 2 : Changes over 30 years of the cropping patterns in the 4 zones of the Lieue-de-Grève catchment basins (source : RGA).

De plus, les niveaux de fertilisation restent élevés jusqu'aux **années 80**, où les prix des engrais azotés augmentent (figure 1b). A ce moment, **de rares exploitations ont commencé à remettre en cause cette évolution pour s'orienter vers des stratégies économes**, dans lesquelles la réduction des consommations intermédiaires joue un rôle majeur dans la création du revenu (agriculture biologique, modèles herbagers type CEDAPA...). Dans les **années 1990**, l'accroissement de la production par hectare et par travailleur se traduit par une **re-diversification des systèmes de production**. La production par vache continue d'augmenter grâce aux progrès de la génétique et à l'utilisation d'aliments concentrés, ainsi que la surface des exploitations, alors que la production globale

reste bloquée par les quotas laitiers. On observe alors une stagnation, voire une diminution des chargements animaux, qui ne s'accompagne pas d'une extensification de la production laitière : du temps de travail et de la surface sont libérés pour d'autres productions, vaches allaitantes, céréales, légumes de plein champ, veaux de lait et élevages hors sol en intégration... L'augmentation de la taille des troupeaux laitiers est également limitée par le morcellement croissant des exploitations, car les agrandissements ne sont pas accompagnés de remembrements (et il y a peu d'échanges à l'amiable) et, dans la moitié des exploitations, au moins 40% de la surface sont situés à plus de 1 km du siège (enquête Chambre d'Agriculture, 2007). La montée en puissance des réglementations environnementales européennes et une volonté publique d'amélioration de la qualité des eaux de la baie entraînent le développement des contrats d'objectif locaux dans le cadre du **programme Pro Littoral (2003-2008). Les actions menées permettent de faire diminuer les apports d'azote minéral et organique de 30% entre 1997 et 2006.**

■ Les systèmes de production actuels

Nous avons identifié **11 systèmes de production sur les bassins versants** de la Lieue-de-Grève, dont 8 sont organisés autour d'une production laitière bovine (88% des exploitations des BV), 2 produisent essentiellement de la viande bovine (8%) et 1 de la viande de porc et des céréales (4%). Nous allons ici nous intéresser uniquement aux principaux systèmes laitiers. Ils se distinguent i) par leur surface et leur système fourrager, ces deux éléments allant de pair avec un certain niveau d'équipement et de main d'œuvre, et ii) par les autres productions, végétales ou animales, qui leur sont associées. Leurs caractéristiques sont résumées dans le **tableau 1**.

Quatre des six systèmes de production laitiers (VL1 et 2, VL+VA et VL+C) **utilisent un système fourrager à base de maïs et de soja**, qui permet de s'affranchir partiellement des conditions du milieu et de produire la même quantité de lait tout au long de

TABLEAU 1 : Résultats des analyses techniques, économiques et environnementales des principaux systèmes de production laitiers étudiés à la Lieue-de-Grève (MABON, 2008).

TABLE 1 : Results of the technical, economical and environmental analyses of the main dairy production systems studied in Lieue-de-Grève (MABON, 2008).

Système de production*	VL1	VL2	VLh	VL+VA	VL+C	VL+v
Fréquence (% des exploitations de la Lieue-de-Grève)	17	22	5	12	25	4
Nombre d'actifs familiaux (UTA)	1	2	2	2	2	2
SAU (ha)	25 à 45	45 à 65	50 à 70	60 à 100	60 à 90	60 à 80
Taille de troupeau (nombre de vaches)	25 à 45	40 à 50	45 à 60	40 à 60 VL, 20 à 50 VA	45 à 60	45 à 65
Production laitière (l/VL)	6 500	7 000	5 400	6 500	7 500	7 900
Prairie accessible nécessaire (ha/VL)	0,23	0,23	0,55	0,23	0,23	0,36
Prairie disponible (ha/VL)	0,38	0,38	0,55	0,36	0,40	0,36
Part d'UFL apportées par le maïs (%)	43	43	19	40	53	31
Produit brut du système d'élevage (€/ha SFP)	1 883	2 052	1 752	2 260	2 089	2 250
Charges intermédiaires du système d'élevage (€/ha SFP)	697	625	378	893	618	691
Valeur ajoutée nette du système d'élevage (€/ha SFP)	750	980	1 210	1 090	1 200	1 300
Revenu agricole net calculé par actif familial (€)	12 000	10 000	18 000	14 000	15 000	15 000
Solde du bilan d'azote en kg N/ha (écart type)	100 (9)	91 (23)	68 (12)	-	85 (28)	118 (17)

* VL et VA : vaches laitières et allaitantes ; C : cultures de vente ; h : herbager ; v : veaux de lait label

l'année, en réduisant le rôle du pâturage. Les prairies sont sous-utilisées : les surfaces de pâturage réellement utilisées, calculées à partir du régime alimentaire des animaux, sont nettement inférieures aux surfaces disponibles (tableau 1) ; de plus, leur gestion est rarement optimisée d'un point de vue environnemental : bien que souvent implantées en mélange ray-grass anglais - trèfle blanc, elles sont utilisées comme des graminées pures, avec des temps de retour des animaux sur les parcelles très courts (3 semaines, y compris en été) et une fertilisation azotée minérale élevée. Ces pratiques limitent la reconstitution des réserves racinaires entre deux pâturages, affectant le potentiel de croissance, et favorisent une disparition prématurée du trèfle, ce qui conduit à des retournements des prairies tous les 3 à 5 ans. La prairie est généralement suivie d'une succession maïs-blé, souvent inapte à utiliser la grande quantité d'azote minéralisée après prairie (VERTÈS *et al.*, 2007). L'excédent d'azote sera alors lessivé durant l'hiver suivant, s'il y a drainage.

Deux systèmes font exception : le VLherbager et le VL+veaux. Le premier correspond aux systèmes herbagers (type CEDAPA) et le second à des exploitations qui valorisent le haut potentiel laitier de leurs animaux en distribuant aux veaux le lait excédentaire au regard du quota, et diversifient leur système fourrager grâce à l'utilisation de mélanges céréaliers et de betteraves en plus des prairies et du maïs. Une meilleure gestion des prairies permet de valoriser toute l'herbe produite, d'augmenter leur durée de vie (minimum 5 ans) et de limiter les risques de lessivage après leur retournement grâce à la betterave fourragère (MORVAN *et al.*, 2000). **La réintroduction des légumineuses et des cultures dérobées dans les rotations** diminue les besoins en azote minéral et les problèmes de couverture hivernale des sols. La meilleure valorisation des prairies comme ressource fourragère mais aussi comme source de fertilité des sols est la base d'une **stratégie de diminution des charges**, y compris pour le système VLh (au prix d'une diminution des rendements unitaires et de la production), ce qui n'induit pas pour autant une diminution de la valeur ajoutée du système d'élevage (tableau 1). La diminution des charges du système VLh passant par une recherche de l'autonomie en azote du système de production, on constate également une **amélioration des bilans apparents d'azote**. Ceux du système VL+v restent en revanche assez élevés, à cause des achats de concentrés nécessaires pour maintenir le haut niveau des performances animales et de l'utilisation d'engrais azotés liée à la part de blé plus importante que dans le système VLh.

La moyenne des soldes de bilans des systèmes laitiers s'établit à 98 kg N/ha soit du même ordre de grandeur que ceux réalisés en systèmes laitiers conventionnels optimisés (moyenne de 90 kg N/ha pour les 46 fermes du réseau ETRE, F. ROGER, comm. pers.).

La **figure 3** permet de visualiser l'**évaluation multicritères** des différents systèmes de production. Nous y avons intégré des résultats économiques, dont un calcul de **sensibilité du revenu agricole à une augmentation du prix des intrants azotés**, en simulant une augmentation de 35%, ce qui correspond à la hausse constatée entre

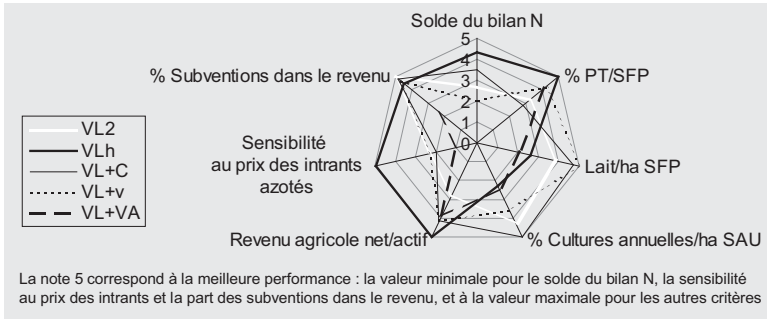


FIGURE 3 : Analyse multicritères de 5 types de systèmes laitiers étudiés à la Lieue-de-Grève.

FIGURE 3 : Analysis of the five types of dairy systems studied in Lieue-de-Grève, according to several criteria.

2007 et 2008. On peut constater que les systèmes herbagers sont très peu sensibles à cette évolution, tout en présentant un des meilleurs revenus par actif. Les revenus par actif restent néanmoins assez proches les uns des autres en systèmes laitiers (tableau 1). La part des subventions dans le revenu est également assez similaire entre les différents systèmes laitiers, à l'exception de celui intégrant des vaches allaitantes + taurillons, qui est aussi l'un des plus sensibles à l'augmentation des produits azotés, en raison des achats de concentrés pour l'engraissement des taurillons.

En résumé, le développement agricole dans la région s'est caractérisé par le passage d'un système agraire fondé sur la fabrication d'une grande quantité de matière organique fraîche facilement biodégradable sur des rotations permettant de minimiser les pertes par lixiviation, à un système dans lequel le maintien de la fertilité repose sur les engrais minéraux et où les rotations culturales laissent fréquemment les sols nus en hiver. Cela a permis le maintien de la productivité du travail et du revenu, grâce à une augmentation de la production par hectare et par actif, mais a entraîné une détérioration du milieu (labour ou enrichissement des zones humides, augmentation des pertes d'azotes sous les cultures, augmentation du chargement animal concentré sur certaines prairies uniquement...) qui a abouti à la situation environnementale actuelle. Il s'agit donc aujourd'hui de concevoir et mettre en œuvre de nouveaux systèmes de production qui permettent d'améliorer la situation environnementale, en évitant les stratégies économiques qui ont poussé à la course en avant pendant les périodes précédentes. L'étude des systèmes actuels montre qu'il existe des marges de progrès dans la gestion de l'azote et que des exploitations ont réussi à mettre en application des stratégies économes qui s'accompagnent de bons résultats environnementaux. Il est possible de s'en inspirer pour évoluer vers des systèmes qui s'adaptent de façon plus fine aux conditions du milieu et valorisent mieux les prairies, pour lesquelles la région présente un véritable avantage comparatif, tout en enregistrant des résultats économiques intéressants : forte valeur ajoutée par hectare, revenu équivalent aux autres systèmes de production, moins grande sensibilité des résultats économiques à la dégradation du pouvoir d'achat des produits agricoles et à la variation du prix des intrants. Cependant, pour mettre en place des systèmes plus herbagers, il faudra résoudre le problème du morcellement des parcelles qui sera très vite un frein important.

Dans cette démarche, la modélisation du fonctionnement hydrologique et des flux de nitrates du bassin versant permet d'estimer l'ampleur des évolutions à envisager pour atteindre l'objectif d'amélioration de la qualité des eaux de la baie.

Modélisation agro-hydrologique du bassin versant par TNT2

1. Matériel et méthode

Une première étape de modélisation des flux d'azote **dans le bassin versant du Yar**, qui représente 50% de la superficie de la Lieue-de-Grève et 75% des apports en nitrates, permet de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant et de cerner sa réactivité (MOREAU *et al.*, 2009). Elle a également pour but d'estimer le délai nécessaire pour atteindre les concentrations en nitrates fixées par l'IFREMER (MÉNESGUEN, 1999), en fonction de différents scénarios d'évolution de l'agriculture. On a utilisé le modèle TNT2, (Topography-based Nitrogen Transfert and Transformations, BEAUJOUAN *et al.*, 2001), qui est un **modèle agro-hydrologique fonctionnant à un pas de temps journalier**. Il est calibré sur une période de 10 ans à l'aide de données observées (débits et concentrations en nitrates, rendements moyens par culture) et de données d'entrées (pratiques agricoles reconstituées : assolement moyen par catégorie d'exploitations, itinéraires techniques associés, données météorologiques, géologie). Puis des scénarios d'évolution des pratiques sont traduits en nouvelles données d'entrées et implémentées dans TNT2. On analyse ensuite les résultats de ces scénarios pour caractériser les impacts simulés des changements mis en œuvre dans le scénario.

Le modèle a été initialisé sur les années 1996 et 1997 (sur la base des enregistrements effectués dans le cadre du programme Pro Littoral) ; le calage est réalisé sur la période 1998-2007 et 3 scénarios sont testés sur la période 2009-2020 :

- Le **scénario "pratiques actuelles extrapolées"** (PAE) consiste à utiliser les pratiques agricoles définies pour la dernière période de calage et à les poursuivre jusqu'en 2020. Les successions culturales, les pressions azotées et l'assolement restent identiques.

- Le **scénario d'application de la MAE SFEI** (Mesure Agro-Environnementale Système Fourrager Econome en Intrants) consiste à appliquer à toutes les exploitations du bassin versant les critères suivants, issus du cahier des charges SFEI :

- concernant l'assolement : herbe > 55% SAU et 75% SFP ; maïs ensilage < 18% SFP ;
- concernant l'azote : quantités d'azote total (organique et minéral) < 170 kg N/ha SAU, dont un maximum de 140 kg N organique/ha SAU ; pas d'azote minéral sur maïs ; plafond d'apports minéraux à 30 kg N/ha sur prairies et 100 kg N/ha sur céréales d'hiver et colza.

- Le **scénario "Arrêt de l'Agriculture"** (AA) où la totalité de la SAU est exploitée en prairie permanente non fertilisée, fauchée avec exportation de l'herbe. Son objectif est d'évaluer l'inertie du bassin versant.

Durant la période de simulation, le climat est un climat à pluviométrie et températures médianes (par rapport aux années 1998-2007), répété chaque année.

2. Résultats

Le calage du modèle est réalisé par comparaison avec les valeurs observées de débits et de concentrations en nitrates, l'objectif étant de les reproduire au mieux en faisant varier les paramètres du modèle : l'ajustement de chaque paramètre se fait manuellement par essai-erreur, dans un domaine de valeurs considéré comme vraisemblable. Pour évaluer la qualité du calage, on s'intéresse à la précision de la prévision des débits et des concentrations en nitrate. Pour les débits, le critère d'efficacité de Nash (NS) et le coefficient de détermination (R^2) entre débits observés et simulés sont satisfaisants (respectivement 0,84 et 0,82). Pour les concentrations, étant données la basse fréquence et l'irrégularité des données observées, seule l'erreur moyenne relative a été utilisée : à 22%, elle traduit l'impossibilité de garantir des simulations précises au pas de temps journalier, mais reste acceptable pour ce qui est des variations intra et interannuelles. Le calage est globalement satisfaisant : les domaines de valeur des principaux paramètres sont respectés, les rendements moyens bien simulés, et les variations de concentration et les flux à l'exutoire très bien reproduits.

Les résultats des simulations de l'évolution des concentrations d'azote à l'exutoire du Yar selon les 3 scénarios territoriaux sont illustrés dans la **figure 4 et dans le tableau 2**.

Dans le scénario PAE, les concentrations moyennes en nitrates simulées décroissent, grâce à la baisse de 30% de la pression azotée entre 1996 et 2007 liée aux actions mises en œuvre dans les bassins versants. Par rapport à la période de calage, on observe un gain de 5 kg N/ha BV/an. Le scénario SFEI entraîne une augmentation des surfaces en prairies de 8,5% au détriment des céréales et la pression azotée baisse de 20%, par rapport au scénario PAE, ce qui permet

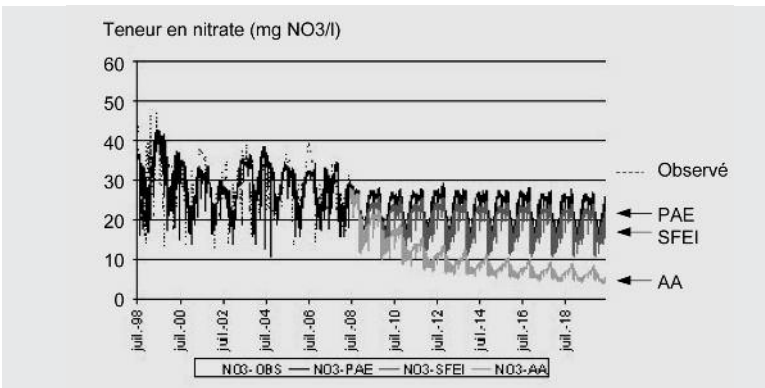


FIGURE 4 : **Modélisation de l'évolution de la teneur en nitrate à l'exutoire du bassin versant du Yar entre 1998 et 2020 selon 3 scénarios** (voir texte).

FIGURE 4 : **Model for the evolution of the nitrate content from 1998 to 2020, at the outlet of the Yar catchment basin, according to 3 scenarii** (see text).

	Calage	Scénario PAE		Scénario SFEI		Scénario AA	
	1998-2008	2009-2020	2020	2009-2020	2020	2009-2020	2020
Concentration NO ₃ ⁻ (mg/l)	30	23	23	21	20	10	6
Flux (kg N/ha bassin versant /an)	23	18	17	16	15	8	5

TABLEAU 2 : **Concentrations et flux d'azote modélisés pour chacun des 3 scénarios étudiés à l'exutoire du bassin versant du Yar** (moyenne sur toute la période et la dernière année).

TABLE 2 : *In each of the 3 scenarii studied, modelisations for the nitrogen concentrations and nitrogen flows at the outlet of the Yar catchment basin (means for the whole period and the last year).*

d'aboutir à un gain de 3 mg/l à l'horizon 2020. Le flux moyen diminue de 2 kg N/ha BV/an, ce qui correspond à une efficacité sur les flux de 12%. Dans le scénario AA, une baisse rapide des teneurs est observée dès le début de la simulation, ce qui traduit une bonne réactivité du bassin aux changements de pratiques, mais les flux continuent de diminuer sur les dernières années, indiquant que l'équilibre n'est toujours pas atteint.

Ce travail de modélisation permet donc de montrer que les concentrations actuelles dans la rivière sont assez proches de l'équilibre avec les pratiques agricoles et qu'on ne peut espérer qu'une faible amélioration sans mesure supplémentaire. **Le délai de réponse du système semble être relativement court**, un nouvel équilibre étant atteint au bout de 3-4 ans pour le scénario SFEI. **Néanmoins**, dans le cas du scénario d'arrêt total de l'agriculture, **20 ans ne suffisent pas à atteindre l'équilibre**. Le scénario SFEI semble permettre une baisse rapide et significative des concentrations et des flux, mais ne permet pas d'atteindre les objectifs fixés sur le BV du Yar.

Cependant, la question des **incertitudes** est cruciale pour l'interprétation des résultats de la modélisation :

- la minéralisation et le volume de la nappe ont été paramétrés sur une base régionale. Seul un réseau de suivi spécifique du bassin versant étudié permettrait de préciser ces paramètres ;

- les données utilisées concernant les pratiques agricoles actuelles sont déclaratives, ce qui conduit à une possible sous-estimation de la pression azotée. Une analyse de sensibilité a néanmoins montré qu'une sous-estimation de 20% sur les apports d'azote minéral et organique maîtrisables, compensée par le calage plus élevé de la minéralisation, ne conduirait qu'à une réévaluation de 5% des flux d'azote à l'exutoire (soit 1 mg/l en concentration moyenne) pour le scénario SFEI ;

- enfin, la dynamique de l'azote en prairie pâturée est l'un des processus les plus difficiles à modéliser. Or, ce mode d'exploitation des prairies concerne une forte proportion de la SAU du Yar, qui augmente dans les scénarios testés.

L'interprétation des simulations est donc délicate dans l'état actuel du modèle, d'autant que les variations entre scénarios sont du même ordre (10 à 30 kg N/ha BV/an) que certains flux marginaux et mal connus (déposition atmosphérique, dénitrification, lessivage sous couverts ligneux...). Cette étude a cependant permis de réaliser un premier calage du modèle assez satisfaisant et de bien identifier les principaux facteurs d'incertitude. Le modèle sera amélioré dans le cadre du programme ACASSYA.

Discussion - Conclusion

Dans l'étude en cours **ont été associés une démarche de diagnostic agraire et des outils d'évaluation environnementale** (bilans apparents d'azote et modélisation agro-hydrologique) afin d'orienter les actions à entreprendre dans le cadre d'un contrat de bassin versant. La démarche de diagnostic agraire a permis de mettre en évidence les principales étapes de transformation des systèmes de production et les mécanismes de leur différenciation, pour déceler leurs tendances évolutives et les conditions qui ont permis et permettent, ou non, l'évolution de ces systèmes. Elle permet aussi d'envisager le passage éventuel de l'un à l'autre, leur flexibilité et adaptabilité aux modifications de l'environnement socio-économique, en particulier aux changements des réglementations et des politiques incitatives. De plus, cette méthodologie facilite l'étude de la relation entre les systèmes de production agricole et l'environnement. En effet, le diagnostic agraire a pour objectif de comprendre le fonctionnement des systèmes de production d'un point de vue technique et économique, pour affiner l'analyse des conséquences environnementales des processus de production et pour la formulation de pistes d'évolution.

L'une des pistes évidentes qui se dessine, **le passage en systèmes herbagers, a prouvé sa viabilité économique, mais se heurte à des contraintes de parcellaire, et** de surcroît la modélisation montre qu'il **ne suffira probablement pas pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau**. Il faut de plus souligner que la modélisation du Yar, en l'état, introduit des scénarios de changement d'assolement et de pratiques déconnectés du contexte de l'exploitation agricole, ne garantissant pas la cohérence globale des systèmes de production. Pour cela, l'utilisation conjointe d'un modèle de fonctionnement des exploitations est nécessaire, ce couplage étant prévu dans le programme ACASSYA.

Il y a donc une **réelle nécessité d'élaborer des systèmes innovants** (DELABY et PEYRAUD, 2009), qui permettent d'assurer à la fois la viabilité économique des exploitations et la restauration de la qualité des eaux. Cette démarche implique en premier lieu les agriculteurs, pour l'évolution de leurs systèmes de production, mais aussi les pouvoirs publics, qui doivent leur assurer un environnement réglementaire et politique favorable. La Recherche et le Développement, en utilisant les outils de diagnostic et d'analyse à sa disposition, devront fournir une base scientifique et un soutien technique pour ces nouveaux systèmes de production, ainsi qu'une évaluation multicritères (technique, économique et environnemental) des solutions proposées. Une démarche de co-construction, incluant conception, mise en œuvre et test des scénarios d'évolution, est actuellement menée avec un réseau d'exploitants volontaires au sein d'un groupe de travail transdisciplinaire associant l'ensemble des partenaires. Les pratiques innovantes issues des éleveurs et de la mutualisation des connaissances sont analysées et combinées pour élaborer des scénarios d'évolution appliqués sur quelques unes des exploitations. **Parallèlement, des aménagements territoriaux seront évalués** (échanges de parcelles, optimisation du pouvoir

tampon des zones clés, voire dispositifs augmentant leur pouvoir épurateur...) afin d'élaborer une méthode générique d'évolution d'un territoire très vulnérable.

Affiche scientifique présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Des fourrages de qualité pour des élevages à hautes performances
économiques et environnementales",
les 25-26 mars 2009.

Remerciements : Ce programme a été financé par le programme de bassin versant porté par Lannion Trégor Agglomération et par les programmes PSDR Laitop et ANR Systerra-Acassya.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAUJOUAN V., DURAND P., RUIZ L. (2001) : "Modelling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments", *Ecological Modelling*, 137, 1, 93-105.
- COCHET H., DEVIENNE S. (2006) : "Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale", *Cahiers de l'Agriculture*, 6, 578-583.
- COCHET H., DEVIENNE S. (2007) : "L'agriculture comparée : une discipline de synthèse ?", *Economie rurale*, 297-298.
- DELABY L., PEYRAUD J.L. (2009) : "Valoriser les fourrages de l'exploitation pour produire du lait", *Fourrages*, 198, 191-210.
- DEVIENNE S., WYBRECHT B. (2002) : "Analyser le fonctionnement d'une exploitation", *Mémento de l'agronome*, Paris, CIRAD - GRET - Ministère des Affaires étrangères ; 345-372.
- MABON F. (2008) : *Diagnostic agraire sur les bassins versants de la Lieue-de-Grève (Côtes d'Armor)*, mémoire ingénieur AgroParisTech, octobre 2008, 125 p.
- MADEC T. (2006) : *Zonage météorologique pour la gestion de la pousse de l'herbe en Bretagne*, Direction interrégionale Ouest, Météo France - Chambre Régionale de l'Agriculture de Bretagne (Pâturage Plus), 22 p.
- MÉNESGUEN A. (1999) : "L'utilisation de modèles écologiques dans la lutte contre l'eutrophisation des eaux côtières françaises", *Actes du colloque IFREMER, Pollution diffuses : du bassin versant au littoral*, Ploufragan, 23-24 septembre 1999, éd. IFREMER (<http://www.ifremer.fr/envlit/documentation/documents.htm>)
- MOREAU P., RAIMBAULT T., DURAND P., BRIANT B., MARÉCHAL N., LEBREF B., VERTÈS F., DELABY L., RUIZ L., GASCUEL C. (2009) : *Modélisation agro-hydrologique du bassin versant du Yar*, rapport interne, Lannion Trégor Agglomération (22), 60 p.
- MORVAN T., ALARD V., RUIZ L. (2000) : "Intérêt environnemental de la betterave fourragère", *Fourrages*, 163, 315-322.
- SIMON J.C., LE CORRE L. (1992) : "Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole : méthodologie, exemples de résultats", *Fourrages*, 129, 79-94.
- VERTÈS F., HATCH D., VELTHOF G., TAUBE F., LAURENT F., LOISEAU P., RECOUS S. (2007) : "Short-term and cumulative effects of grassland cultivation on nitrogen and carbon cycling in ley-arable rotations", *Grassland Sci. in Europe*, 12, 227-246.

SUMMARY

How to conciliate the technico-economic and the environmental efficiency of farms in a difficult environment : role of the agrarian diagnosis

In the Breton département of Côtes-d'Armor, the bay of Saint-Michel-en-Grève has been repeatedly subjected to 'green slicks' due to the eutrophication of the rivers of this dairying region. The agrarian diagnosis makes it possible to forecast how the practices will evolve globally, with a historical approach, taking into account both the technico-economical and the environmental aspects.

This diagnostic analysis was linked to the setting-up of an environmental model. It has thrown light on the specificity of this coastal region, where the pedo-climatic conditions are conducive to the production of forage, thus explaining the predominance of dairy farming. The grassland farming systems remain competitive, but their development is hampered by the parcelled-out field pattern. There are two evolutive scenarii simulated by the TNT2 model: continuation of the present practices with a fertilisation already reduced by 30%, or a forage system with limited inputs; neither is able to bring about a lowering of the nitrate content in the river to the desired level. It is therefore really necessary to build up together innovating production systems, so as to make the farms economically and environmentally sustainable.