



**HAL**  
open science

## De l'évaluation environnementale à la dynamique des systèmes agraires sur un bassin versant “ Algues vertes ”

Francoise Vertès, Sophie Devienne, Laurent Ruiz, Pierre Moreau, Patrick Durand, Luc Delaby, Samuel S. Corgne, Pauline Dusseux, Chantal Gascuel

### ► To cite this version:

Francoise Vertès, Sophie Devienne, Laurent Ruiz, Pierre Moreau, Patrick Durand, et al.. De l'évaluation environnementale à la dynamique des systèmes agraires sur un bassin versant “ Algues vertes ”. *Innovations Agronomiques*, 2014, 39, p.11-31. hal-01219548

**HAL Id: hal-01219548**

**<https://hal.science/hal-01219548>**

Submitted on 27 May 2020

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

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



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

## De l'évaluation environnementale à la dynamique des systèmes agraires sur un bassin versant « Algues vertes »

Vertès F.<sup>1,2</sup>, Devienne S.<sup>3</sup>, Ruiz L.<sup>1,2</sup>, Moreau P.<sup>1,2</sup>, Durand P.<sup>1,2</sup>, Delaby L.<sup>4,2</sup>, Corgne S.<sup>5</sup>, Dusseux P.<sup>5</sup>, Gascuel C.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France

<sup>2</sup> Agrocampus Ouest, F-35000 Rennes, France

<sup>3</sup> AgroParisTech UP SADR, 16 rue Claude Bernard, F-75005 Paris

<sup>4</sup> INRA, UMR1348, Physiologie, Environnement et Génétique pour l'animal et les systèmes d'élevage, F-35590 Saint-Gilles, France

<sup>5</sup> Université Rennes 2, Laboratoire LETG Rennes COSTEL, UMR CNRS 6554, Place du Recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes Cedex

Correspondance : Francoise.Vertes@rennes.inra.fr

### Résumé

Dans les écosystèmes continentaux et côtiers, on observe souvent une dégradation de la qualité des eaux liée aux concentrations d'élevages intensifs. Dans certaines baies vulnérables, l'eutrophisation peut advenir pour des concentrations en nitrate dans les rivières très inférieures à la norme Directive Nitrate de potabilité. L'optimisation des pratiques agricoles n'est alors pas suffisante pour abaisser autour de 10 mg nitrate par litre la concentration des eaux, et des changements de systèmes de production doivent être considérés. Fournir une analyse raisonnée pour choisir et mettre en œuvre ces nouveaux systèmes implique de prendre en compte avec précision et réalisme i) des mécanismes et temps de transfert de l'eau et du nitrate dans les bassins-versants et ii) la conception de systèmes de production agricole à faibles émissions d'azote, en incluant les conditions rendant possible la transition vers de tels systèmes.

Le projet Acassya s'est focalisé sur i) l'évaluation des compartiments et des flux d'azote en dynamique dans les zones d'élevage, ii) « la modélisation agro-hydrologique des systèmes d'élevage dans un bassin-versant prenant en compte les contraintes des exploitations, la spatialisation des pratiques et la structure des paysages » et iii) la « co-construction » avec les acteurs de scénarios, basée sur leur cohérence technico-économique et acceptabilité sociale et incluant l'impact des scénarios et des outils d'aide à la décision ». Ce dernier axe de recherche, dont l'article présente les principaux résultats, a été mené en étroite collaboration avec les acteurs du bassin-versant de la "Lieu de Grève" (22, Bretagne, France). Trois approches ont été développées : i) l'analyse des systèmes de production avec le diagnostic agraire, méthode mobilisant conjointement l'étude historique (évolution de l'occupation des sols avec des images de télédétection, évolution des systèmes de production) et présente (enquêtes auprès des exploitants, typologie technico-économique); ii) l'identification de « fermes-pilote » et d'un support technique pour l'évolution des systèmes, au travers de l'étude des trajectoires d'évolution des variables techniques et environnementales et de la proposition d'indicateurs-guides simples, enfin iii) l'utilisation des résultats pour co-construire, avec les scientifiques agronomes, hydrologues et zootechniciens – et les partenaires locaux éleveurs, du développement et des collectivités territoriales, des scénarios réalistes et socialement acceptables, simulés avec le modèle CASIMOD'N. Cette approche a été menée dans une démarche itérative en boucles de progrès calées sur les résultats « azote » de la modélisation. Les résultats sont prometteurs pour d'autres territoires, indiquant qu'il est possible de concilier une agriculture durable et productive à faibles émissions d'azote.

**Mots-clés** : nitrate, agro-systèmes, bassin-versant côtiers, diagnostic agraire, modélisation, indicateurs systémiques

## **Abstract: From environmental evaluation to dynamics of farming systems in the watershed “Lieue de Grève”**

In continental and coastal ecosystems, degradation of water quality is often observed in relation with intensive breeding. In some coastal vulnerable areas, eutrophication can happen when nitrate concentration in rivers exceeds about 10 mg NO<sub>3</sub>/L, much below drinkability norms. In such cases, optimisation of agricultural practices is not sufficient and changes in farming systems have to be considered. Providing a rationale for choosing and implementing these new farming systems requires to account with higher precision and realism for i) the mechanisms and transfer times of water and nitrate in the watershed and ii) the conception of farming systems with very low nitrogen emissions and the factors making the transition towards these systems possible.

The Acassya project focused on i) Evaluating compartments, fluxes, N cycle dynamics in breeding areas, ii) Agro-hydrological modelling of breeding farms in a watershed, including the farming system constrains and landscape structures and iii) Co-building of scenarios with stakeholders, based of perception and social acceptability, impact of the scenarios and decision tools. This last part, whose main results are presented in this paper, was carried out in close collaboration with the “Lieue de Grève” watershed stakeholders. Three approaches were developed: i) analysis of farming systems in the watershed, using both historical (LULC change with remote sensing, agrarian system analysis) and current (farmer surveys, agro-socio-economic typology) perspectives; ii) identification of « pilot farms » and technical support for system evolution, especially through the monitoring of the trajectory of technical and environmental variables; iii) use of the results for co-building (with scientists - agronomists, hydrologists, animal scientists – and local stakeholders) realistic and socially acceptable scenarios, and simulations with CASIMOD’N model. This approach was carried out in an iterative way, with several « progress loops » according to model results. These results are promising for other territories also, as they indicate that it is possible to conciliate sustainable and productive agriculture with very low nitrogen emissions.

**Keywords:** nitrate, farming systems, coastal catchments, agrarian diagnosis, modelling, system indicators

## **Introduction et contexte**

La qualité de l’eau et des écosystèmes aquatiques continentaux et littoraux est souvent dégradée dans les zones d’élevage intensif. Dans certains sites fragiles, des manifestations d’eutrophisation sont observées, alors même que les eaux sont de bonne qualité du point de vue des normes de potabilité. C’est le cas de quelques bassins versants côtiers sujets à des proliférations d’algues vertes, pour lesquels la cible à atteindre pour le nitrate serait d’une dizaine de milligrammes par litre. Dans ces situations, l’optimisation des agrosystèmes est insuffisante et des changements de systèmes de production doivent être envisagés. Ces enjeux interrogent les relations entre agriculture et qualité des eaux de manière nouvelle. Pour aider au choix et à la mise en place de ces nouveaux systèmes, il faut mettre en œuvre des outils nouveaux, pour aider et accompagner les acteurs locaux dans la conception de systèmes de production agricoles à très basses fuites d’azote et expliciter les facteurs qui rendent possibles ces transitions.

Les recherches menées dans le cadre du programme ANR - Acassya<sup>1</sup> ont porté sur un territoire à enjeu, les bassins versants de la Lieue de Grève, dont le littoral est touché par le phénomène de « marées vertes » et sur lequel a été mis en place un partenariat avec la communauté de communes,

---

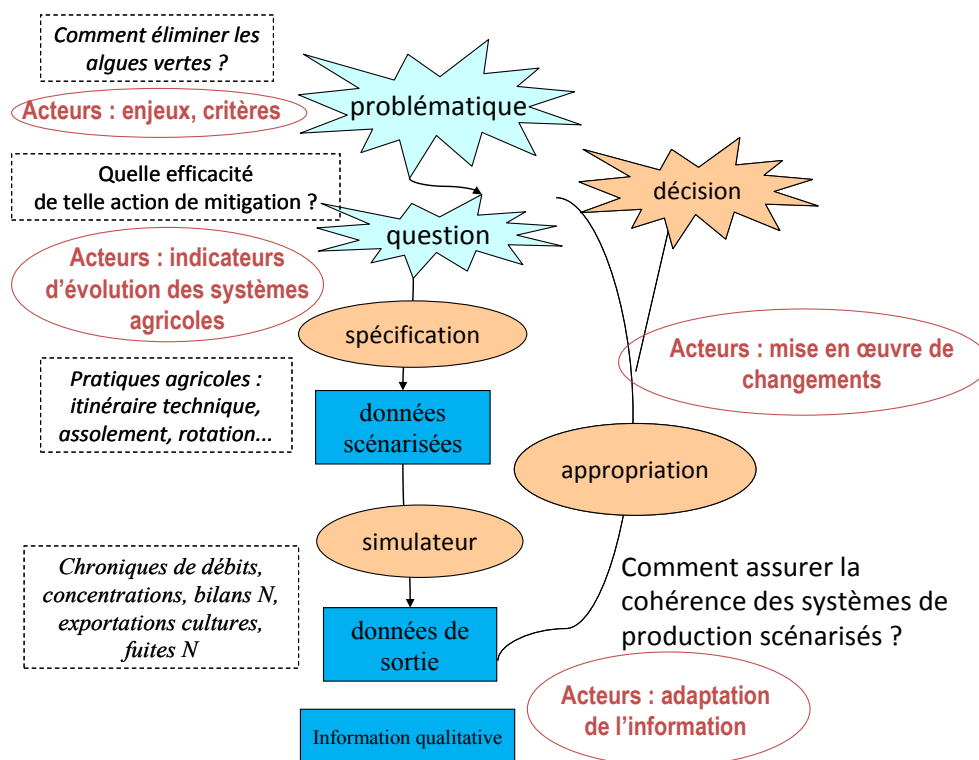
<sup>1</sup> <http://www6.inra.fr/acassya>, Gascuel C., Ruiz L. et Vertès F. (coord.) 2015. Comment réconcilier agriculture et littoral ? Pour une agroécologie des territoires, Editions Quae, sous presse

porteur du projet de territoire, et un collectif d'agriculteurs ayant adhéré à un objectif de transition de système. Ce texte présente la démarche et les outils développés, à l'échelle d'un territoire, et les résultats de son application au bassin versant de la Lieue de Grève (22), pour répondre aux questions suivantes : comment l'agriculture, passée et actuelle, explique-t-elle la qualité de l'eau ? comment co-construire et évaluer des scénarios d'évolution aux échelles exploitation et territoire ?

## Méthodologie

### Démarche en boucle de progrès

La méthodologie mise en œuvre a été adaptée de Leenhardt et al (2012), avec une démarche en boucles de progrès, illustrée par la Figure 1. La question initiale « comment éliminer les algues vertes ? » est transcrite en questions de recherche à partir des connaissances disponibles (comment atteindre l'objectif de teneur en nitrate qui permet de réduire les proliférations d'algues ?) et d'échanges avec les acteurs locaux sur les enjeux territoriaux en termes d'objectifs d'activité agricole et de consentement à évoluer de la part des agriculteurs concernés. La question de recherche va donc concerner la construction et l'évaluation de scénarios de changements de pratiques et/ou de systèmes de production : quelle efficacité d'une action de mitigation ?



**Figure 1** : Mettre en œuvre une démarche en boucle de progrès. Les étapes faisant directement intervenir les partenaires (agriculteurs, conseillers, collectivités territoriales) sont cerclées de rouge.

La démarche s'apparente à une recherche participative : les partenaires du groupe de travail transdisciplinaires - agriculteurs, conseillers, collectivités territoriales, chercheurs - sont plus particulièrement associés à certaines étapes clés : diagnostic de la situation et formulation des enjeux (tous), identification des pistes de travail et élaboration des indicateurs guides et d'évaluation (tous), mise en œuvre de changements de pratiques et/ou de système (agriculteurs), suivis et modélisation (conseillers, collectivités territoriales, chercheurs).

## La modélisation comme outil d'évaluation

L'outil d'évaluation retenu est dans une première phase le modèle agro-hydrologique TNT2 (Beaujouan et al., 2002 ; Ruiz et al., 2002), qui s'inscrit dans la modélisation de la cascade de l'azote (Galloway et al., 2003). Ce modèle distribué à l'échelle du bassin-versant permet, en renseignant directement les itinéraires techniques appliqués à chaque parcelle du bassin versant (BV) (documentés par enquêtes Chambre Agriculture en 2007), de simuler les sorties d'azote sous forme gazeuse et surtout de nitrate à l'exutoire (Aquilina et al., 2012). Trois scénarios sont testés dans une première étape : pratiques actuelles, conversion de toute la surface agricole en prairie de fauche non fertilisée (lixiviation de nitrate nulle sur toute la SAU) et un scénario spécialisation lait bas intrants, qui à l'échelle du bassin versant du Yar déjà très laitier et assez herbager est facile à renseigner pour le modèle.

La deuxième étape de modélisation agro-écologique des élevages d'un bassin versant intègre les contraintes des systèmes d'élevage et les structures du milieu et des paysages, en élaborant un modèle original (CASIMOD'N) qui enrichit le modèle biophysique distribué TNT2 en le couplant à un modèle de décision, permettant d'intégrer la cohérence du fonctionnement de l'exploitation agricole, ses contraintes et ses objectifs, pour simuler les activités agricoles. La démarche de modélisation est résumée dans la Figure 2. Les résultats détaillés de la modélisation ont été publiés par Moreau et al. (2012b, 2013a) et la plateforme Record-VLE par Bergez et al., (2012). Nous présenterons ici les principaux résultats de l'ensemble de la démarche appliqué au BV de la Lieu de Grève.

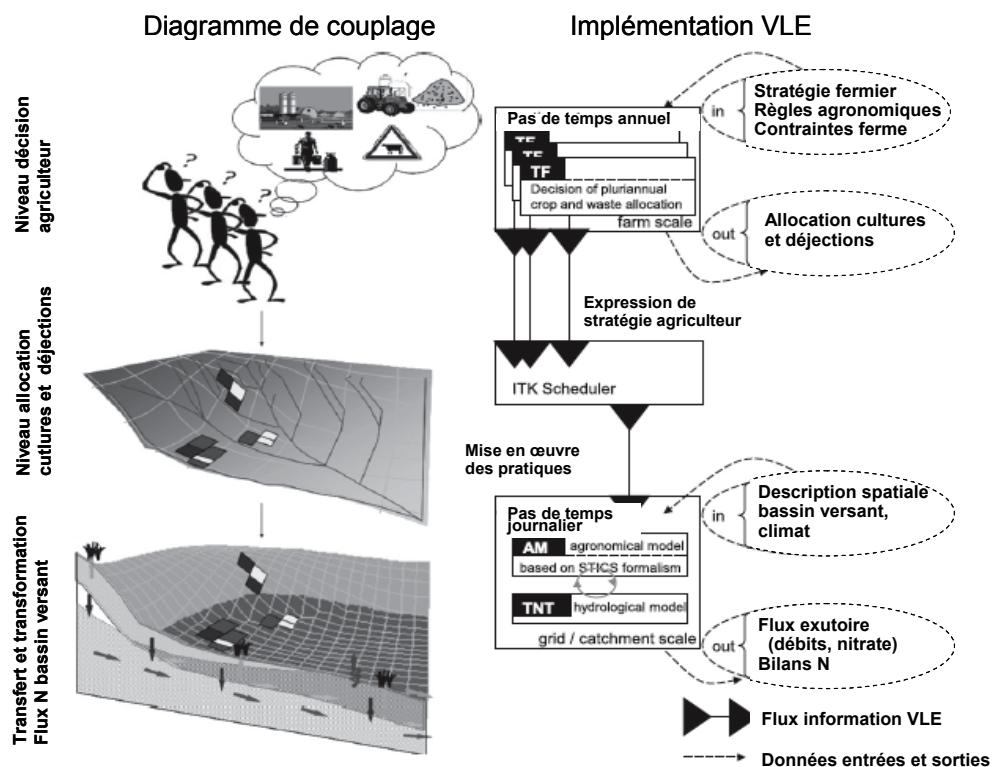


Figure 2 : Description de la démarche de modélisation Casimod'N (d'après Moreau et al, 2013a)

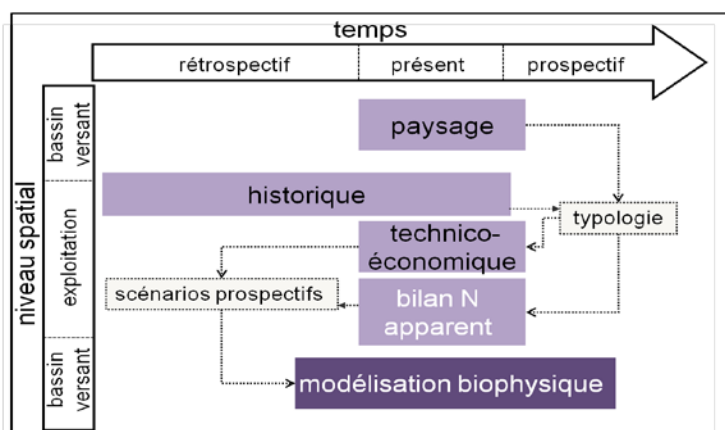
### Pour caractériser les systèmes de production : le diagnostic agraire

Nous avons utilisé la méthode du diagnostic agraire (Dufumier, 1996 ; Cochet et Devienne, 2006) pour caractériser et comprendre l'évolution de l'agriculture sur le bassin versant. Le diagnostic agraire a permis de comprendre l'évolution des systèmes de production de la région, d'identifier les systèmes de production actuels et d'en caractériser le fonctionnement technique et les performances économiques.

Le concept de *système de production* s'applique ici à un ensemble d'exploitations possédant la même gamme de ressources (superficie, main d'œuvre et niveau d'équipement) et pratiquant une combinaison similaire et spécifique de systèmes de culture et de systèmes d'élevage. Un système de production est une modélisation de la réalité qui a pour objectif de tenter de comprendre le fonctionnement et l'origine d'un type d'exploitation donné et d'en tracer les perspectives d'évolution (Garambois et Devienne 2012). Cette modélisation ne reflète pas une « moyenne », mais repose sur la compréhension d'une logique de fonctionnement et d'organisation de la production caractéristique d'un ensemble d'exploitations qui sont dotées de ressources comparables. La modélisation du fonctionnement technique du système de production constitue la base sur laquelle sont, dans un second temps, reconstruits ses résultats économiques *modélisés* (Cochet et al. , 2006).

Cette *analyse-diagnostic* (Cochet et al., 2007) a été conduite dans le bassin versant de la Lieue de Grève de mars à août 2008 (Mabon et al, 2009 ; Moreau et al., 2012a). Elle s'est appuyée sur la lecture de paysage et de cartes, sur l'analyse de la bibliographie disponible et sur de nombreux entretiens approfondis. Dans un premier temps, la lecture de paysage et l'étude des cartes disponibles ont permis de caractériser le mode d'exploitation du milieu. Puis, l'étude a porté sur la compréhension de la dynamique d'évolution de l'agriculture de la région afin d'expliquer les transformations passées et en cours du paysage et de l'agriculture et d'analyser les problèmes éventuels qui en découlent. La reconstitution de la dynamique historique de l'agriculture de la région a reposé sur une quinzaine d'entretiens auprès d'agriculteurs ayant été les acteurs et témoins de ces transformations, complétés de l'analyse des statistiques disponibles. La compréhension des relations entre différenciation sociale et changements techniques a permis de comprendre le processus de différenciation des systèmes de production (Dufumier et Bergeret, 2002), de reconstruire leurs trajectoires d'évolution, d'identifier sur cette base les différents systèmes de production actuels et d'en bâtir une typologie. Cette typologie, qui a été ensuite progressivement affinée au fil des entretiens approfondis avec les agriculteurs rencontrés, constitue la base de départ pour l'élaboration d'un échantillon *raisonné* des exploitations à enquêter, permettant de rendre compte de l'ensemble des systèmes de production identifiés dans la région. Les enquêtes conduites visent à la fois à caractériser le fonctionnement technico-économique des systèmes de production et à comprendre les causes et modalités de leur évolution afin de compléter et d'affiner la typologie établie. Cette démarche itérative a pour objectif de repérer et de comprendre la diversité des systèmes de production de la région et d'explicitier, modéliser et comparer la logique de fonctionnement et les résultats techniques et économiques de chacun d'entre eux. Sur la base de cet échantillonnage *raisonné*, une trentaine d'enquêtes approfondies ont été effectuées auprès d'exploitations agricoles.

**La combinaison des différentes démarches** a été menée dans le cadre d'un programme transdisciplinaire associant chercheurs de plusieurs disciplines (agronomes, zootechniciens, hydrologues, pédologues et hydrogéologues, géographes et sciences informatiques) avec un partenariat local constitué associant collectivités territoriales et professionnels agricoles (chambres d'agriculture et structures de conseil, comité professionnel agricole). L'organisation de la recherche dans le temps et l'espace est résumée dans la Figure 3.



**Figure 3 :** Complémentarité des différentes phases de recherche (d'après Moreau et al, 2012a)

### *Le territoire étudié : les bassins versants de la Lieue de Grève*

Le bassin versant de la Lieue de Grève est un territoire de 12 km<sup>2</sup> dont 7200 ha SAU environ en 2010, où l'élevage bovin domine. Il est composé de cinq sous-bassins versants qui alimentent la Baie de Saint Michel en Grève, dont le principal est celui du Yar (62% de la surface totale). Il compte en 2007 environ 170 exploitations, réparties comme l'indique la Figure 4, dont plus de 80 % sont en élevage laitier spécialisé ou pas, conventionnel ou biologique, à la différence des régions voisines où les cultures légumières (Léon) ou l'élevage de granivores (Baie de Saint-Brieuc), plus rémunérateurs, sont dominants. Cette spécialisation est encore plus accentuée sur le BV du Yar avec plus de 85% d'élevages comportant un atelier bovin laitier et 4% d'exploitations comportant un atelier hors sol de porcs ou de volailles. Les sols, peu à moyennement profonds, filtrants, sur des pentes faibles à moyennes, sont favorables à la culture des graminées fourragères (ou des mélanges plurispécifiques) mais aussi sensibles à la lixiviation de nitrate. Les conditions pédoclimatiques y sont favorables à l'élevage bovin : une pluviométrie annuelle importante, assez régulière bien que variable selon la topographie, des températures clémentes sans hivers longs et rigoureux, et des sols propices aux cultures fourragères, même si certains sont sensibles à la sécheresse. Les prairies (temporaires, de ray-grass anglais pur ou associé au trèfle blanc, et quelques dizaines d'ha en prairies permanentes non ou difficilement labourables) occupent environ 50% de la SAU sur la Lieue de Grève et 55 % sur le BV du Yar.

La très grande sensibilité du milieu aux pertes de nitrate (sols et substrats filtrants) est renforcée par la conformation de la Baie de Saint Michel en Grève : un estran large d'un kilomètre, en pente douce, et à l'abri des courants côtiers, qui procure aux algues une eau peu brassée et qui se réchauffe rapidement en saison, idéale pour leur croissance (Menesguen, 2003).

## **Résultats**

### *A/ Evolution des systèmes de production et de l'utilisation du territoire : de 1950 à la période actuelle.*

Le diagnostic agraire a permis de comprendre l'évolution et le fonctionnement actuel des systèmes de production sur les bassins-versants (BV) de la Lieue-de-Grève (Mabon et al., 2009 ; Moreau et al., 2012a) (Figure 4).

Le développement de la production laitière est au cœur de cette évolution. Il a reposé sur l'accroissement de la production par actif permis par l'augmentation des rendements laitiers par vache et de la production laitière par hectare de superficie fourragère, mais aussi par l'accroissement de la superficie par actif dans un contexte où le nombre d'exploitations a été divisé par sept depuis 1970 (Agreste).

Dans les années 1940, un système de polyculture – polyélevage (élevages bovin, porcin, volaille et chevaux de trait) est mis en œuvre par toutes les exploitations. Il présente deux caractéristiques essentielles, liées aux conditions pédologiques de la région (prédominance des sols sableux filtrants, pluviométrie élevée) : sur les terres labourables sont mises en œuvre des rotations complexes, qui font alterner plantes sarclées, céréales et légumineuses fourragères et permettent un degré de couverture du sol particulièrement important : très peu de terres restent nues en hiver. Les vaches, de races armoricaine, pie noire bretonne ou Normande, sont presque conduites en zéro-pâturage : elles ne sortent que quelques heures par jour et l'essentiel de leurs déjections est recueilli sous forme de fumier, grâce à une litière abondante constituée de pailles et de végétation ligneuse prélevée sur les landes, qui constitue une matière organique stable.

Ce système connaît de profondes transformations à partir des années 1950, qui visent à accroître la production laitière. Au cours des années 1950-60 les agriculteurs développent les prairies temporaires,

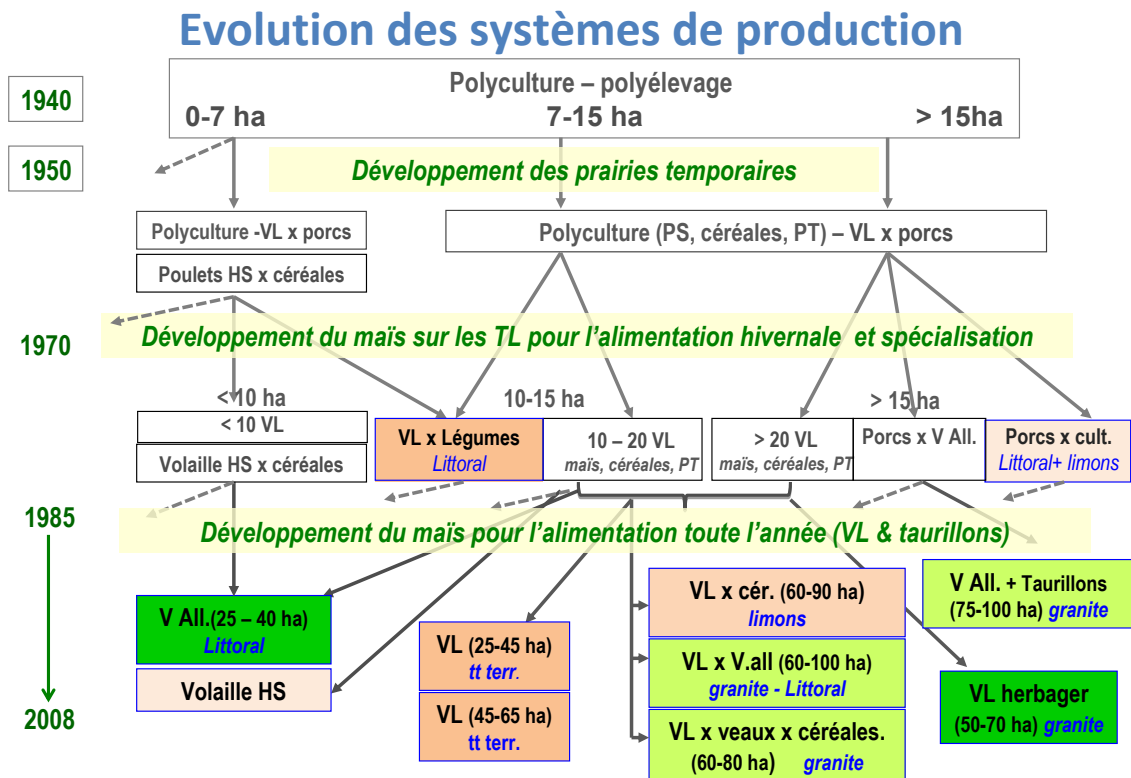
de graminées pures ou d'association graminées – légumineuses, au sein des rotations. Les prairies temporaires viennent également remplacer les prairies permanentes et les landes. Leur développement est permis par le recours aux amendements, qui permettent d'augmenter le pH des sols. Le développement des prairies temporaires s'accompagne de l'utilisation d'engrais, notamment azotés, et de la sortie des vaches au pâturage. Cette modification du système d'élevage est permise par l'accroissement des fourrages disponibles et permet de diminuer le temps de travail des agriculteurs. Les transformations profondes des systèmes de production ont pour conséquence les premières fuites d'azote et les premières marées vertes se produisent dès le début des années 1970. Dès les années 1970, les agriculteurs poursuivent l'accroissement du chargement par unité de surface avec le développement de la culture du maïs, récolté en ensilage pour l'alimentation hivernale. Celui-ci prend place dans les rotations à la place des plantes sarclées et des prairies temporaires. Cette culture moto-mécanisable du semis à la distribution aux animaux présente l'avantage d'obtenir des rendements assez élevés, même s'ils sont irréguliers et fournit un aliment dense sur le plan énergétique qui se marie bien avec le tourteau de soja pour permettre des rendements laitiers élevés.

La culture du maïs progresse dans les assolements à partir des années 1980 avec une utilisation de l'ensilage de maïs de plus en plus importante dans l'alimentation du troupeau laitier, où les races Frisonne (années 70) puis Holstein (dernières décennies) à potentiel laitier de plus en plus élevé remplacent le plus souvent les vaches Normandes ou de races locales. D'abord distribué seulement pendant la période hivernale, il commence à être distribué pendant l'été, lors de l'étiage fourrager estival, puis progressivement toute l'année, évolution qui accompagne le mouvement d'accroissement de la production laitière par vache et par unité de surface. Même s'il existe une différenciation des systèmes de production selon la superficie et la localisation des terres dont disposent les exploitations agricoles, toutes les exploitations mettent aujourd'hui en œuvre le même système fourrager pour l'élevage bovin laitier : les plus petites exploitations concentrent leur activité sur la production laitière qui leur permet de dégager une plus forte valeur ajoutée par unité de surface, tandis que les plus grandes maintiennent un niveau de production laitière élevé par hectare de superficie fourragère et sur la superficie restante, selon la localisation de leurs terres, selon qu'il s'agit de terres labourables éloignées sur les replats ou de terrains en pente, développent la culture de céréales ou mettent en place des prairies temporaires destinées à un troupeau de vaches allaitantes.

Les systèmes de production que l'on trouve aujourd'hui sur le bassin versant présentent un certain nombre de caractéristiques communes. De manière générale, les prairies temporaires ont reculé face à la culture du maïs, culture de printemps qui laisse les sols nus en hiver. Elles sont généralement conduites avec une courte durée de repousse entre chaque passage (fauche ou pâture) qui contraint à un recours assez important à la fertilisation azotée. De façon générale, le pâturage régresse dans l'alimentation de vaches laitières à haut rendement qui reçoivent de plus en plus une alimentation basée sur l'ensilage de maïs. Les exploitants utilisent de plus en plus souvent de façon contrastée les terres auxquelles ils ont accès, qui sont souvent dispersées suite à l'agrandissement progressif des exploitations : les prairies situées autour de l'exploitation connaissent un fort chargement en vaches laitières par hectare pendant les périodes de pâturage. La sole pâturée n'est plus dimensionnée aux besoins alimentaires du troupeau et l'essentiel de l'alimentation est fourni à l'auge, tandis qu'à l'opposé, les parcelles de terres labourables éloignées connaissent des rotations de courte durée au sein desquelles le maïs revient fréquemment, tandis que sur les pentes les plus fortes prédominent les prairies temporaires utilisées par les génisses ou par un troupeau allaitant.

L'ensemble de ces pratiques est favorable aux fuites d'azote, que tentent d'enrayer les politiques environnementales depuis quelques années avec par exemple la limitation des épandages de matière organique, la couverture des terres labourables en hiver avec des CIPAN.

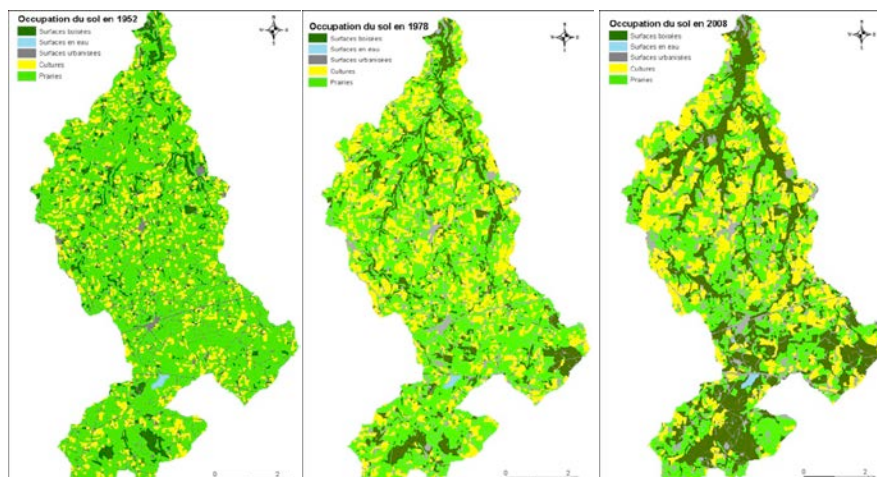




**Figure 4 :** Schéma d'évolution et de différenciation des systèmes de production dans le bassin versant de la Lieue de Grève

A rebours de ce mouvement général, se sont développés à partir des années 1980 et surtout 1990 des systèmes herbagers autonomes, qui se caractérisent par une grande importance accordée aux prairies d'association graminées – légumineuses dans les rotations et par l'accroissement de la durée du pâturage, de l'ordre de 210 jours par an, favorisé par le climat océanique de la région qui permet une pousse de l'herbe tout au long de l'année. La pratique du pâturage tournant avec de longues durées de repousse permet, avec des prairies composées à 50% de légumineuses, de se passer de fertilisation azotée et de n'avoir recours qu'à très peu de complément protéique dans la ration. Les exploitations qui mettent en œuvre ce type de système herbager pour la production laitière consacrent les deux tiers de leur superficie totale aux prairies temporaires d'association, ce qui les singularise dans un contexte général marqué par le recul de la prairie.

L'évolution de l'occupation des sols du bassin versant du Yar de 1952 à nos jours, reconstituée à partir de l'analyse de séries temporelles de photographies aériennes et d'images satellitaires (Figure 5), a permis de mettre en évidence le recul des prairies (Corgne et al., 2012).

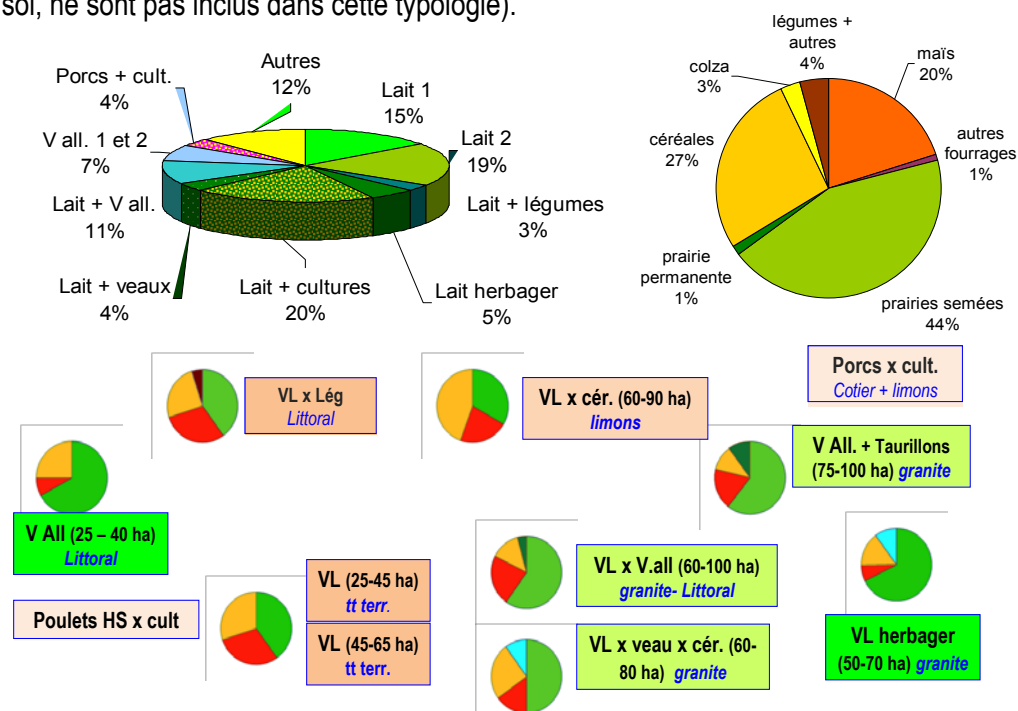


**Figure 5 :** Evolution de l'occupation des sols du bassin versant du Yar de 1952 à nos jours (à partir de photos aériennes et de données satellites)

Les surfaces en prairies, qui occupaient les 2/3 de la surface totale du BV du Yar en 1952 n'ont en effet cessé de régresser : leur surface totale passe de 4100 à 2350 ha et le nombre de parcelles de 8500 parcelles d'à peine 0,5 ha à 3200 parcelles d'environ 0.8 ha en moyenne en 2008. La diminution des superficies en prairie s'est effectuée au profit des surfaces en cultures et des surfaces bâties, qui ont augmenté de manière très sensible entre les années 1950 et la fin des années 1970, pour se stabiliser ensuite. Le ratio cultures/prairie est ainsi passé de 0,27 en 1950 à 0,74 en 2008. Les superficies boisées se sont également développées dans les années 1980, au détriment des surfaces en herbe : 33% des prairies présentes en 1952 sont aujourd'hui boisées.

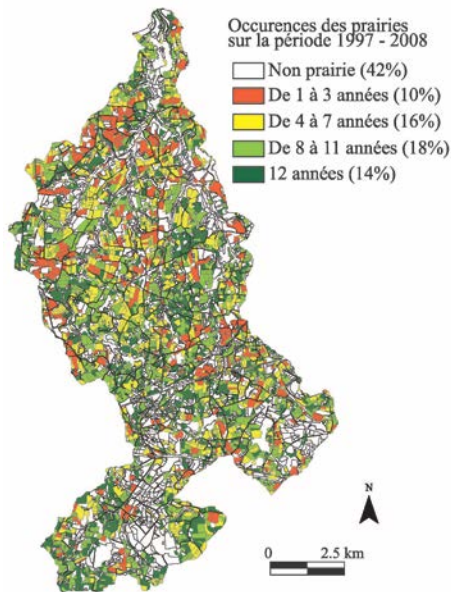
**B/ Les systèmes actuels : transition vers des systèmes de production à très faible risque de fuites de nitrates**

Nous avons donc identifié 11 systèmes de production sur les bassins versants (Figures 4 et 6). Huit d'entre eux sont organisés autour de la production laitière, deux autour de la viande bovine et un est tourné vers la production de viande de porc et de céréales (les systèmes de production avicoles, hors sol, ne sont pas inclus dans cette typologie).

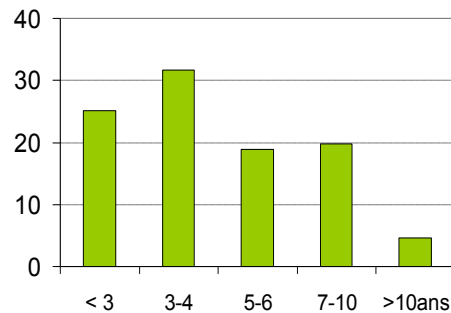


**Figure 6** : Distribution des principaux types de systèmes de production, assolement moyen du BV de la Lieue de Grève et des différents types de S de P.

Les statistiques ne donnent pas le poids de chacun de ces systèmes de production au sein de l'agriculture du bassin versant. Cependant, l'élevage bovin prédomine : en 2010, il est présent dans 70% des exploitations, et il s'agit pour l'essentiel d'élevage bovin laitier (RGA 2010). En 2007, une enquête menée sur les structures d'exploitations et pratiques agricoles montrait que sur 114 exploitations enquêtées, 104 détenaient un troupeau bovin, et seulement 8 un élevage porcin (avec plus de 100 truies). En conséquence, la SAU du bassin versant est en grande partie consacrée à la production fourragère avec environ 1500 ha de maïs destiné à l'ensilage, 3200 ha en prairies temporaires (en rotation avec des cultures) et 440 ha en prairies permanentes. Les 2710 ha restant sont utilisés pour la production de céréales, de protéagineux ou de légumes plein champ. Les 114 exploitations enquêtées se caractérisent par une surface fourragère principale (SFP) qui occupe 68% de la SAU (en moyenne de 72 ha) avec en moyenne 30% et 67% de cette SFP dédiés respectivement au maïs et aux prairies, essentiellement des prairies temporaires d'une durée de moins de 5 ans (Figure 7).



**Figure 7 :** a) Occurrence des prairies sur le BV du Yar et b) distribution des prairies par classes d'âge sur 12 années de successions culturales.



L'enquête de 2007 a permis de calculer le chargement moyen en bovins sur le bassin versant (exprimé en UGB - unité gros bovin) qui s'élevait à 1,50 UGB par ha de SFP et 1,05 par ha de SAU. La fertilisation azotée minérale était en moyenne de 64 kg d'N par hectare de SAU, soit une baisse notable (- 30 kg N) depuis la fin des années 90, tendance qui s'est poursuivie pour atteindre environ 50 kg N en 2011 (enquête Agreste Bretagne 2011). Selon cette enquête, la charge en azote organique, calculée sur la base des effectifs en animaux et des références CORPEN (2012), atteint 115 kg d'N/ ha SAU en 2011.

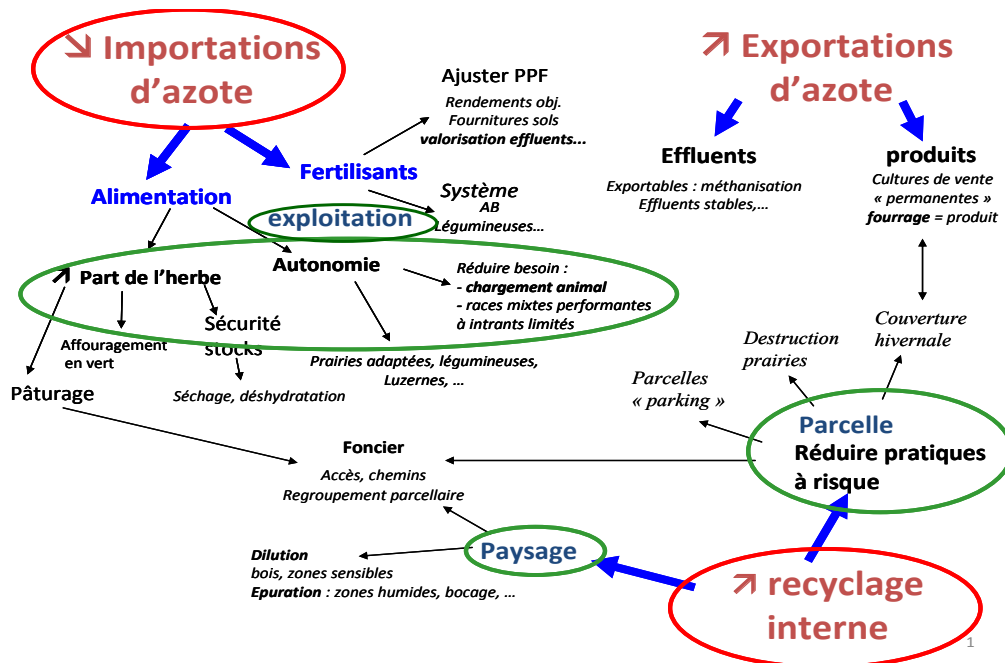
Bien que les pratiques d'élevage, et notamment les pratiques de fertilisation azotée (quantité, dates d'épandage, implantation de CIPAN) aient évolué depuis 20 ans, et que la teneur en nitrates ( $\text{NO}_3$ ) des cours d'eau ait baissé pour rester en moyenne inférieure à 30 mg/litre, la prolifération d'algues vertes en Lieue de Grève ne semble pas diminuer. La volonté commune exprimée par les acteurs de ce bassin versant de réduire la prolifération voire d'éradiquer les algues vertes aboutit à l'idée forte de ce programme de recherches et d'actions : il s'agit désormais de passer d'un changement de pratiques à un changement de systèmes. L'objectif général assigné à ce projet est de développer des systèmes de production capables de limiter au maximum les risques de fuites de nitrates vers les eaux afin de limiter le développement des algues vertes.

### *C/ Identifier les voies d'amélioration*

La situation agricole très typée du bassin versant de la Lieue de Grève, exposée précédemment, amène à rechercher et proposer des leviers d'action compatibles avec la pérennité de l'élevage, notamment laitier, qu'il s'agit bien de maintenir sur ce bassin versant de façon rémunératrice. Les conditions pédoclimatiques sont favorables à l'élevage bovin, le tissu laitier est encore dense, les compétences techniques et la motivation réaffirmée des éleveurs sont des atouts indéniables pour fonder l'avenir agricole de ce bassin sur l'élevage laitier et allaitant. Il s'agira néanmoins d'imaginer pour les autres élevages non ruminants disposant de surface agricole, des solutions agronomiques pertinentes. L'ensemble des partenaires ont passé en revue les leviers permettant de réduire les risques d'émissions d'azote, pour aboutir à une trame organisée de pistes d'action (Figure 8).

Deux axes de réflexion principaux sont retenus : réduire les entrées d'azote dans le système et favoriser le recyclage de cet azote. Il nous faut donc développer une culture pérenne, en place toute l'année et capable d'alimenter des ruminants. Cette réflexion agronomique nous conduit à proposer le développement de systèmes de production basés sur l'herbe et la prairie, le scénario cultures + CIPAN

ayant montré ses limites (Moreau et al., 2013a) avec des gains très faibles en termes de fuites de nitrate.



**Figure 8** : Trame de réflexion pour limiter les pertes d'azote : compte rendu graphique d'une séance « remue-méninges » pluri partenaires.

La prairie dispose de nombreux atouts, à la fois agronomiques et zootechniques : sa pérennité assure une couverture permanente des sols et limite les flushs de minéralisation de l'azote consécutifs au retournement. Sa saison de végétation longue permet une production élevée de protéines et la valorisation de l'azote minéralisé du sol. Sa valorisation au pâturage en fait une des rations les plus économes et sa large gamme des possibles en matière de produits récoltés (mi-fané, foin, ensilage) permet d'alimenter les ruminants dans leur diversité. La prairie devrait ainsi permettre de limiter les entrées d'azote exogènes au territoire (engrais, aliments du bétail) et de bénéficier de la fixation d'azote atmosphérique permise par la présence de légumineuses, notamment le trèfle blanc, azote qui sera recyclable sous forme organique dans les déjections animales (lisiers, fumiers...). Baser l'alimentation des troupeaux sur la prairie doit également permettre de renforcer l'autonomie des exploitations. Cependant, les systèmes herbagers ne justifient leur pertinence économique et environnementale que lorsque le chargement animal est en cohérence avec la productivité annuelle des prairies. En effet, c'est cette cohérence qui limite la dépendance vis-à-vis des intrants et qui surtout confère aux systèmes herbagers leur capacité de résistance aux aléas climatiques ou économiques. Il est alors possible de concilier les atouts économiques et atouts écologiques associés à la prairie.

#### *D/ Définir un cadre agronomique qui laisse le libre choix aux exploitations d'élevage*

Chaque exploitation présente des spécificités structurelles (SAU, accessibilité, morcellement, taille de troupeau, place en bâtiment) et chaque éleveur a construit un projet d'élevage selon ses goûts, ses ambitions qu'il faut respecter au risque de perdre l'adhésion au projet territorial. Imposer à tous un même schéma de développement reviendrait à nier la diversité des situations mais aussi la diversité des possibles en matière de systèmes herbagers. Il s'agit donc de formaliser l'objectif commun, de définir des indicateurs agronomiques globaux et pertinents tout en laissant à chacun le choix des options, des solutions adaptées aux spécificités de sa situation. Outre d'être pertinents, ces indicateurs doivent être simples à calculer, simples à évaluer et couvrir les diverses situations rencontrées dans les exploitations agricoles.

La réduction des entrées d'azote concerne l'ensemble des postes du bilan, dont les plus importants dans les exploitations de polyculture-élevage sont la fertilisation minérale, les aliments du bétail achetés et les éventuels effluents organiques importés. Les engrais azotés constituent une entrée nette d'azote, tandis que seule une partie des aliments du bétail achetés reste sur l'exploitation, sous forme de déjections animales, et constitue une entrée vraie d'azote dans le système. Compte tenu du rendement moyen des synthèses protéiques observés chez les animaux d'élevage, à savoir environ 35% chez les monogastriques (porcs, volailles) et 25% chez les ruminants (bovins) (Dourmad et al., 2010, seulement 65% et 75% de l'azote des aliments achetés respectivement pour les monogastriques et ruminants sont considérés comme une entrée d'azote sur l'exploitation. D'autre part, en cas d'exportation d'effluents d'élevage (fréquents pour les élevages hors-sols), ceux-ci sont déduits des entrées d'azote. En conséquence le premier indicateur développé s'écrit :

$$N \text{ fertilisation minérale} + (0,75 \text{ ou } 0,65) \times N \text{ aliment} + N \text{ effluents (import - export)}$$

avec l'objectif de limiter les entrées d'azote ainsi définies à moins de 100 kg par hectare de SAU.

La fixation symbiotique par les légumineuses, tout comme l'entrée d'azote associée à l'éventuel achat de paille (indispensable au logement sur aire paillée des animaux mais représentant une très faible quantité d'azote ramenée à l'hectare de SAU) ne sont volontairement pas prises en compte dans cette équation. La fixation symbiotique, essentielle à la pérennité des systèmes agricoles à bas intrants d'azote, est considérée comme une source d'azote moins réactif, qui entre dans le système au moment opportun selon les besoins des plantes et qui sera libéré « au compte-goutte » sans flash de minéralisation. Le principal risque de transfert sous forme minérale est associé aux déjections des animaux qui pâturent ces prairies d'association graminées-légumineuses, risque que le niveau de chargement animal proposé ci-dessous limite.

Le développement de la surface en herbe basé sur des prairies de longue durée, associé à un chargement cohérent avec le potentiel du territoire conduit à rechercher un nouvel indicateur de synthèse résumant ces objectifs : *un indicateur de chargement calculé non pas sur la SFP comme habituellement mais sur la surface en cultures pérennes de l'exploitation*. Compte tenu de la nécessité de produire annuellement environ 6,2 t de MS de fourrages par UGB et d'un potentiel de production d'environ 8 - 9 t de MS /ha de prairies, la valeur de 1,4 UGB / ha de prairies a été proposée. Compte tenu d'un cheptel d'environ 8000 UGB (enquête des 114 exploitations), l'application d'un tel chargement sur l'ensemble du BV, aboutit à une surface en cultures pérennes de 6000 ha environ, soit 80 à 85 % de la SAU totale du bassin versant. L'enquête de 2007 a montré que le chargement réel est, en moyenne sur les 104 exploitations avec élevage de ruminants, de 2,36 UGB/ par ha de cultures pérennes, avec une gamme de variation s'étendant de 0,85 à 4,50. Le chargement est, comme attendu, d'autant plus élevé que la surface en herbe de l'exploitation est faible et que la part de la surface en maïs dans la SFP est importante.

Ces deux indicateurs structurels ont été complétés par trois principes agronomiques concernant les pratiques, visant à limiter au maximum les situations bien connues de risques de fuites d'azote :

- *La mise en place pour les successions culturales d'un couvert végétal efficace en automne-hiver (CIPAN)*, ce qui est compliqué pour les surfaces en maïs compte tenu de leur récolte très tardive.
- *La limitation du retournement annuel des prairies à 5% de la surface en herbe*, ce qui aboutit à favoriser le développement de la prairie permanente.
- *L'absence de parcelles « parking »* où séjournent les animaux tout en étant complémentés. Ceci oblige à garder, la nuit au moins, les animaux en stabulation lorsque la prairie ne peut les alimenter à plus des deux tiers de leurs besoins.

Ce cadre basé sur deux indicateurs et trois principes autorise la conception de solutions variées, adaptées à la situation particulière de chaque exploitation. Afin d'en valider la faisabilité et l'intérêt pour

les éleveurs, l'étude d'une ferme virtuelle, typique du Trégor, a été réalisée, en intégrant l'évaluation économique du changement de système (Vertès et al., 2011).

*E/ Evolution des exploitations vers la maîtrise agro-environnementale des systèmes de production : les fermes pilotes*

Une fois les leviers d'action précisés et traduits en indicateurs-guides permettant d'orienter les évolutions des modes de production, et après validation de la faisabilité par une étude théorique, il s'agissait d'engager des éleveurs volontaires à construire leur projet personnel et initier les changements. Ces fermes « en mouvement » ou « fermes pilotes » s'engagent plus tôt et plus avant dans l'évolution de leur système, pour éprouver les pistes, lever les contraintes, valider ou modifier les orientations proposées. Pour les accompagner, une méthode de diagnostic adaptée à la construction du projet a été élaborée et pratiquée par les ingénieurs-conseil de la Chambre d'Agriculture : la démarche repose sur l'identification avec les exploitants, des facteurs favorables et défavorables à l'augmentation de la part de l'herbe dans l'assolement et dans la ration des animaux, dans le cadre des objectifs et souhaits des éleveurs (leur projet personnel). Les leviers d'actions pertinents ainsi que les conséquences des changements envisagés sont alors examinés, en bénéficiant de l'expertise des agents réalisant le diagnostic et de celle du groupe de travail pluri-partenaire.

Trois types de freins ou blocages sont ainsi connus : « structurels » tels que la répartition du parcellaire et l'accessibilité des parcelles aux vaches laitières, « techniques » c'est-à-dire nécessitant un investissement (matériel ou formation) et enfin des freins qualifiés dans un premier temps de « psychologiques ». Ces derniers ont en commun d'impliquer des choix individuels de la part des éleveurs tels que ceux où le changement rentre en conflit avec certains objectifs de l'éleveur, ou qui relèvent de l'aversion au changement et/ou au risque. Les principaux sont résumés ci-dessous, accompagnés de réponses possibles pour les pallier :

<b>Freins et blocages</b>	<b>Leviers et pistes de réponses</b>
Morcellement - Eloignement - Accessibilité des parcelles	Aménagement foncier – Echanges / Prêts
Cadre réglementaire (Directive Nitrate par ex.)	Demande de dérogation
Sécuriser et pérenniser le système sur le besoin en fourrages et en paille	Stocks de qualité (ensilage / foin / déshydraté), améliorations des chaînes de récolte, réflexion sur la création d'une « banque » de fourrages, de dispositifs de séchage en grange,
Production par vache à la baisse - Maintien des livraisons, types d'animaux	Acceptabilité par l'éleveur, possibilité d'augmentation du cheptel
L'herbe : une gestion de flux à anticiper et organiser, type et organisation du travail, acceptabilité de systèmes très herbagers...	Formation, échanges au sein de groupe d'éleveurs pour améliorer la sérénité, outils opérationnels d'aide à la gestion de l'herbe

La plupart de ces sujets ont fait l'objet de travaux dans le cadre du projet Acassya et/ou de l'accompagnement par les partenaires du programme (Chambre d'Agriculture et Lannion Trégor Agglomération). Au cours des discussions lors de l'élaboration du projet (dont l'évaluation économique est réalisée en parallèle), les points limitants et des blocages identifiés sont restitués au groupe de travail. Lorsqu'il s'agit de références techniques, et que ces références sont également nécessaires pour affiner le paramétrage du modèle Casimod'N ou en valider les sorties, des protocoles expérimentaux d'observations et/ou de mesures sont élaborés dans des parcelles des fermes pilotes : on peut citer la minéralisation basale des sols, le suivi de la croissance de l'herbe, des essais de pérennisation des prairies pour éviter leur destruction, couteuse et génératrice de flux d'azote importants et difficiles à gérer.

Les 10 fermes pilotes (9 laitiers dont un en agriculture biologique et un producteur de porcs) se rattachent à 6 des 11 types de systèmes d'exploitation identifiés dans le diagnostic agraire et sont réparties sur l'ensemble du BV de la Lieue de Grève. Elles présentent une large diversité de structure,

allant de parcelles très groupées autour du siège d'exploitation à des fermes constituées de plusieurs îlots de parcelles éloignées.

Les éleveurs ont chacun travaillé sur 2 à 4 des 5 thèmes principaux suivants (Figure 9). Deux concernent l'herbe : la récolte de l'herbe (8/9 éleveurs) en vert ou pour les stocks (matériel de récolte, organisation des chantiers, séchage en grange) et augmentation de la part du pâturage dans la ration avec fermeture du silo de maïs (5/9). Deux s'attachent à la gestion des troupeaux : âge au vêlage et fertilité (7/9), arrêt ou réduction d'ateliers complémentaires hors sol tels les taurillons (4/9). Enfin 1 éleveur sur 3 a reconsidéré ses rotations culturales, pour allonger la durée de vie des prairies et/ou améliorer la gestion de la succession prairies – cultures, ....). Les modifications testées vont de l'ajustement (fertilisation, alimentation) à des changements de systèmes fourragers voire de race animale, allant ainsi vers de la re-conception de système.

n° exploit/Sous-thème	Part de pâturage	Herbe récoltée (vert, stockée)	Arrêt/réduction d'atelier	Age au vêlage	Rotation
8					
2					
5					
6					
7					
1					
9					
3					
4					

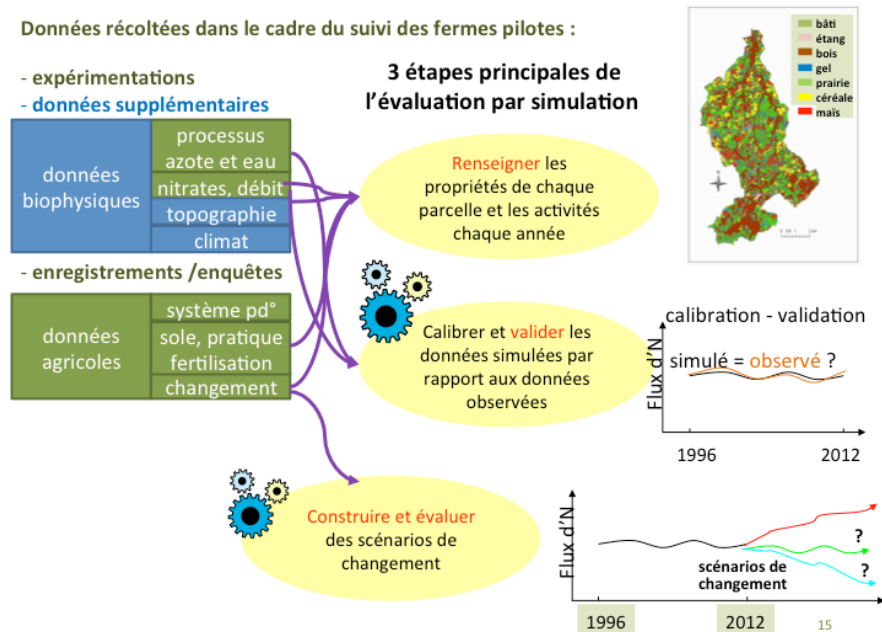
**Figure 9** : Principales voies de changement explorées par les exploitants.

Par ailleurs, les éleveurs pilotes s'engagent à enregistrer leurs pratiques (fertilisation, utilisation des parcelles par les troupeaux, gestions de l'alimentation et de la reproduction des troupeaux, qualité du lait, ...), tous éléments qui seront utilisés pour reconstituer la cohérence technico-économique des systèmes de production et identifier les fragilités (actuelles ou liées au changement, en phase de transition ou une fois les nouveaux systèmes stabilisés).

Les éleveurs en mouvement explorent donc des adaptations ou des évolutions plus profondes de leurs systèmes de production pour aller vers des systèmes herbagers à faibles émissions d'azote. Les suivis réalisés au fur et à mesure permettent de quantifier des flux d'azote à certaines étapes clés des processus de production, de calculer des efficacités d'utilisation de l'azote, et de paramétrer et valider certaines sorties des modèles. Les références locales produites sont mises à disposition de tous et pourront aider l'ensemble des agriculteurs du territoire lors de la construction et la mise en œuvre de leur propre projet.

#### *F) Quelques résultats sur les flux N à l'exutoire*

Les interactions entre la modélisation et les données acquises sur les fermes pilotes sont récapitulées sur la Figure 10. Les données sont issues des suivis agricoles (enquêtes et fermes pilotes), des suivis hydrologiques sur les rivières (débit et nitrate) et météorologiques (Météo France et station météo automatique installée sur le bassin versant du Yar dans le cadre du projet). Les données de topographie et sols sont géoréférencées. Le modèle est calibré sur les données de 1996 à 2012, ce qui permet de définir les valeurs des paramètres restituant des simulations proches des valeurs de concentrations observées. Il est ensuite utilisé pour simuler les scénarios à moyen terme (2012-2020)



**Figure 10 :** Utilisation des diverses sources de données dans les trois principales étapes de l'évaluation par simulation.

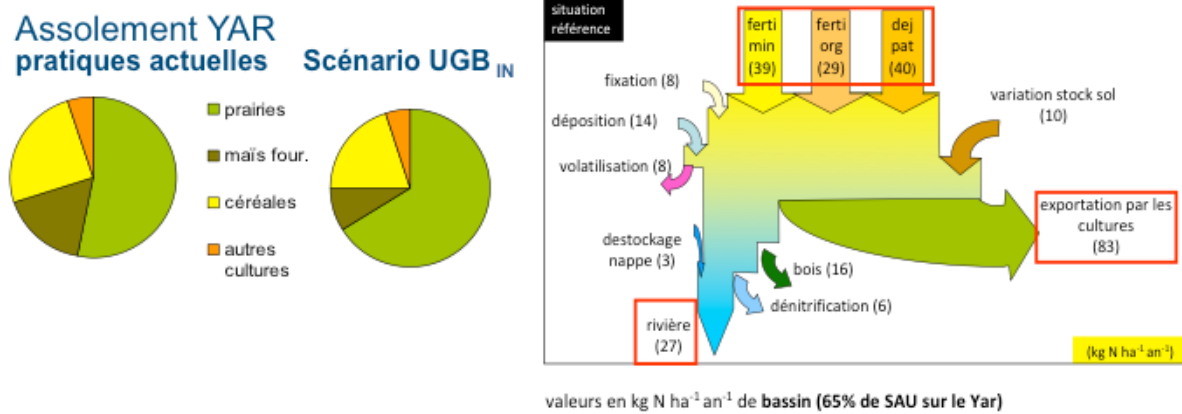
La Figure 11 illustre le résultat d'un jeu de scénarios, qui compare la poursuite des pratiques actuelles à un scénario de changement (UGB IN) où l'ensemble des exploitations du bassin versant ont fait évoluer leurs systèmes pour atteindre les valeurs seuils des 2 indicateurs principaux. Leurs chargements animal sont donc proches de 1,4 UGB/ha prairies et leur indicateur « entrées d'azote » inférieur à 100 kg N/ha. Les assolements générés par le modèle Casimod'N pour le scénario « pratiques actuelles » correspondant de façon satisfaisante à ceux observés (Moreau et al. 2013), le modèle est validé pour simuler les effets du scénario UGB IN : les assolements évoluent vers une augmentation des surfaces en herbe (Figure 11a), qui passent de 53 à 68 % de la surface agricole du BV.

On peut constater que la réduction sensible des apports (-30 kg/ha surface BV, soit environ -45 kg N/ha SAU) entraîne une diminution de l'azote exporté par les cultures ou l'herbe (-5 kg N/ha BV). Le scénario UGB ajoute au précédent un changement d'utilisation des zones humides, converties systématiquement en prairies de fauche non fertilisées, afin d'améliorer le pouvoir tampon de ces zones humides. Ce dernier scénario montre un bénéfice limité dû à la faible surface concernée sur ce bassin versant dont les zones ripariennes sont déjà en grande partie boisées. Ce bénéfice relatif est néanmoins non négligeable vue l'ambition des objectifs en termes de réduction des flux N vers l'exutoire). La modélisation a permis de préciser les ordres de grandeur des évolutions à moyen terme des principaux flux d'azote, et intègre une estimation de l'incertitude liée à ces résultats (Moreau et al., 2013b).

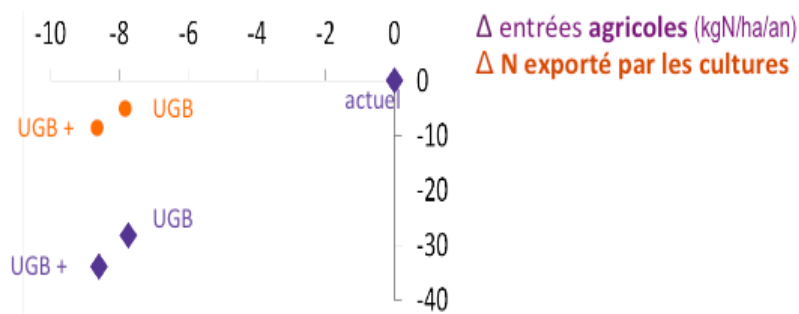
### G) Une évolution lente mais positive des systèmes de production

Depuis la mise en œuvre de leurs projets, les fermes pilotes ont connu une évolution lente de leur système fourrager. En moyenne, les surfaces en herbe se sont accrues au détriment des surfaces en céréales et en maïs mais également à la faveur d'une augmentation de la SAU moyenne. La part d'herbe dans la SAU de ces exploitations a ainsi évolué de 58 à 66%. Si le cheptel d'animaux laitiers n'a que peu varié, voire a un peu augmenté, les ateliers de taurillons, ont pratiquement disparu. Les exploitations ont tendance à recentrer leur activité d'élevage sur la production laitière. Certains éleveurs, conscients de la difficulté de conduire les vaches de race Holstein en système plus herbager ont fait le choix du changement vers des races mixtes (Montbéliarde, Normande, Jersiaise) moins exigeantes.





Ecart des flux d'N à l'exutoire (kgN/ha/an)



**Figure 11** : a) assolements comparés pour la situation de référence (pratiques actuelles) et le scénario faisant respecter à toutes les fermes les valeurs seuils des 2 indicateurs chargement et entrées d'N. b) Flux N dans le BV du Yar pour la situation de référence. c) différentiel en termes de flux agricoles au sol entre scénarios (d'après Durand *et al.*, 2014, soumis)

L'analyse de l'évolution du chargement exprimé par hectare d'herbe confirme une diminution sensible du chargement moyen (de 2,7 en 2007 à 2,0 en 2012). Toutefois, cette évolution est plus marquée dans les élevages initialement très chargés (-1,0 UGB/ha herbe) et plus stables dans les autres élevages (-0,2 UGB/ha d'herbe). L'indicateur « entrées d'azote » déjà inférieur à 100 kg en 2007 (88 kg/ha) a continué de baisser pour atteindre 66 kg/ha en 2011. Cette diminution est essentiellement le fait de la réduction des entrées d'engrais minéral (-18 kg/ha, soit 30%) et dans une moindre mesure des apports de concentrés (-4 kg/ha, soit 15%). La réduction des apports d'engrais azotés est à associer à la réduction des surfaces en céréales et à une meilleure valorisation des effluents d'élevage.

Ces évolutions ont permis de réduire le bilan apparent de 23%, passant d'un surplus de 96 à un surplus de 74 kgN/ha. L'amélioration du bilan apparent entre 2007 et 2011 (-22 kg) est surtout le fait d'une réduction des entrées d'azote de 27 kg en partie contrarié par la diminution des sorties d'azote (-5 kg) associée à la réduction des cultures de ventes (Tableau 1).

On voit ainsi qu'il n'y a pas un profil unique d'évolution mais plusieurs, en fonction des caractéristiques de chaque ferme pilote. A l'issue des diagnostics individuels guidés par l'objectif des deux indicateurs systémiques et trois principes agronomiques, chaque exploitant a choisi sa trajectoire d'évolution, et identifié des points de blocages à régler ou de postes à améliorer, les enregistrements de pratiques et de problèmes rencontrés demandés par le groupe de chercheur pouvant amener les divers partenaires à des investigations complémentaires. L'augmentation de la pérennité des prairies a ainsi fait l'objet d'une expérimentation dans deux fermes, l'acquisition de références en termes de fournitures d'azote par le sol celle de suivis de minéralisation dans une quinzaine de parcelles en cultures ou en prairies. La dynamique de groupe initiée par leur engagement commun a été considérée comme très positive : les discussions lors des visites de fermes, les animations et voyages d'études ont permis des échanges

très riches entre éleveurs, et entre éleveurs et partenaires du groupe de travail (collectivité locale, conseillers, chercheurs français et étrangers).

kg d'azote / ha de SAU	Fermes pilotes 2006	Fermes pilotes 2010 - 2012	Réseau d'Élevage lait Bretagne 2008-2009
<b>Total entrées</b>	<b>132</b>	<b>119</b>	<b>163</b>
Engrais minéraux	54	34	55
Concentrés	36	33	66
Fixation légumineuses	32	40	25
Déjections importées	3	2	13
Fourrages	5,3	8	4
Autres (par ex., animaux)	1	1	1
<b>Total sorties</b>	<b>42</b>	<b>39</b>	<b>68</b>
Lait	21	24	29
Viande	6,9	7,3	13
Cultures	14	7,3	24
Déjections exportées	0	0	2
<b>Excédent N (sans fixation)</b>	<b>57</b>	<b>40</b>	<b>71</b>
<b>Excédent N (fixation comprise)</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>96</b>

**Tableau 1** : Evolution des bilans apparents d'azote pour les exploitations pilotes entre 2006 et la moyenne des années 2010 à 2012.

La généralisation de la démarche à l'ensemble des éleveurs du BV a fait l'objet de prospective par la Chambre d'agriculture (animateurs BV et économistes) montrant que le décalage observé en 2010 entre les 9 fermes pilotes et les autres exploitations laitières (64% contre 55% herbe dans la SAU) devrait perdurer en 2015 (1<sup>ère</sup> échéance du plan Algues Vertes) avec 71% contre 62% herbe dans la SAU. Levain et al. (2014) ont analysé l'effet des dynamiques d'acteurs locaux sur le déroulement des processus d'innovation. Cette expérience incite, dans les programmes de recherche reposant sur la co-construction acteurs - chercheurs, à penser les processus d'innovation dans leur globalité, au-delà de leur phase de conception en s'inscrivant dans le temps long. Elle appelle à la réflexion sur des dispositifs territoriaux, acteurs-chercheurs, qui répondraient à ces enjeux.

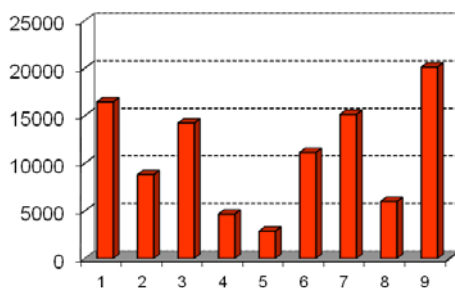
## Les performances économiques

La composante économique de l'étude a posé plusieurs difficultés à la fois méthodologiques et d'accès aux données. Les quelques résultats présentés ci-dessous sont issus du diagnostic agraire (Mabon 2008, Moreau et al., 2012), d'une simulation à l'échelle des fermes pilotes des performances de leur système final à l'équilibre, et d'un suivi comptable durant la période d'étude, en phase d'évolution des fermes pilotes.

Le diagnostic agraire a permis de montrer que les systèmes herbagers, dans le contexte de prix de 2007, dégagent des résultats économiques intéressants. Ces systèmes (VLh) qui se caractérisent par une moindre production de lait par unité de superficie, dégagent un produit brut par unité de surface inférieur à celui des systèmes de production spécialisés dans la production laitière (VL2) ou combinant production laitière et céréalière (VL+C), et comparable à celui des systèmes combinant production laitière et élevage allaitant dans des structures présentant de grandes superficies de prairies temporaires sur les pentes. En revanche, le caractère autonome des systèmes herbagers, moins consommateurs de capital fixe et de consommations intermédiaires que les autres systèmes laitiers, leur permettait d'enregistrer une valeur ajoutée par hectare comparable à celle des systèmes spécialisés en production laitière ou combinant production laitière et céréales, et supérieure à celle des systèmes combinant production laitière et élevage allaitant. Au total, le système herbager permettait en 2007 de dégager un revenu par actif comparable voire supérieur à celui des autres systèmes de

production, malgré des performances en termes de production par vache laitière, de production laitière par ha de SFP ou de produit brut par ha nettement inférieures, grâce à des économies de coût. Ils percevaient à l'époque des subventions relativement importantes (MAE SFEI), mais qui demeuraient inférieures à celles des systèmes qui combinaient production laitière et production allaitante, entièrement dépendants des subventions pour leur revenu. Ces résultats sont concordants avec ceux que permettent de mesurer le réseau RICA ou le réseau de l'Institut de l'Élevage (Chatelier et al., 2010 ; réseaux d'élevage IDELE) ou ceux qui ont été observés en Vendée (Garambois et Devienne, 2011).

Les fermes pilotes ont accru la place de la prairie au sein de leur système de production sans toutefois passer véritablement à un système herbager. Une première simulation économique (Chambre Agriculture 22) des fermes pilotes montre des résultats globalement positifs, avec des différences importantes suivant les situations et les choix d'ajustement de système mis en œuvre par les exploitants, comme le montre la variation d'EBE qu'ont connue les 9 exploitations concernées (avec les prix 2012 ; calculs réalisés sur la période 2010-15, Figure 12).



**Figure 12** : Variation d'Excédent Brut d'Exploitation (EBE, en euros par exploitation) pour les systèmes de production projetés des 9 fermes pilote, en conditions optimisées (d'après V. Jégou, non publié).

Néanmoins, l'étude comptable réalisée sur 2007 - 2013 montre qu'au cours de cette phase de transition, l'intérêt économique de l'évolution vers des systèmes faisant une plus large place à la prairie a été limité : la réalisation d'investissements supplémentaires (par exemple achat d'une autochargeuse, de matériel de récolte ou de distribution, etc.), les fluctuations du prix du lait et des fourrages achetés, les difficultés climatiques (sécheresse en 2011 et printemps froid et pluvieux en 2012) ainsi que l'augmentation du prix des céréales (dont les fermes pilotes ont réduit la vente) ont pesé sur les résultats économiques des exploitations pilotes. L'amélioration des structures d'exploitation grâce aux échanges et aménagements fonciers, qui faciliterait l'augmentation de la place du pâturage et ouvrirait la voie à une réduction des coûts, l'instauration d'une « banque fourragère » qui permettrait d'assurer la sécurité fourragère, le développement à l'échelle du territoire d'une filière « Légumineuses » renforcerait l'autonomie en protéines des élevages et enfin la commercialisation en circuits courts permettant la valorisation locale de produits de qualité, s'avèrent autant de pistes à creuser avec de nouveaux objectifs.

Le volet évaluation économique doit faire l'objet de nouveaux développements (en cours) pour compléter à la fois l'évaluation de la durabilité des exploitations et celle des territoires concernés et poursuivre l'analyse des résultats économiques des fermes pilotes en vitesse de croisière.

### **Conclusions : une méthodologie de recherche action opérationnelle associant fermes pilotes, groupes de travail transdisciplinaire et modélisation**

L'ambition forte de l'objectif de réduction des flux d'azote à l'échelle d'un territoire agricole implique à la fois une mobilisation des acteurs, un diagnostic partagé, et des outils permettant de tester les effets de telle ou telle évolution. Un changement de paradigme accompagne le changement d'objet, du site de recherche au cadre opérationnel, évolutif, impliquant des acteurs de terrain et orienté vers la résolution d'un problème à caractère agro-environnemental majeur : l'analyse d'un agro-écosystème en mutation « obligée », son accompagnement dans l'identification et la mise en place d'une dynamique de

mutation. La démarche, générique et mobilisant les concepts de l'agro-écologie est applicable à d'autres contextes territoriaux même si les résultats, en termes de pistes d'amélioration retenues, choix et formulation des indicateurs, sont plus ou moins spécifiques du territoire étudié (ou de situations analogues).

Sur le territoire étudié, les modélisations indiquent que les scénarios « systémiques » les plus ambitieux, basés sur les indicateurs co-construits dans l'optique d'un renforcement de l'autonomie fourragère et d'un renforcement du lien au sol (densité animale par ha d'herbe maximale à 1,4 UGB/ha, limitation des entrées azotées, y compris l'alimentation animale) conduisent à diminuer les concentrations dans la rivière en deçà de 20 mg NO<sub>3</sub>/l, mais probablement pas à atteindre l'objectif de 10 mg NO<sub>3</sub>/l. Des scénarios plus ambitieux doivent être envisagés en mobilisant l'ensemble des leviers possibles, en particulier relatifs au foncier, voire à une certaine désintensification de la production. La démarche de progrès mise en place dans les fermes pilotes contribuera à limiter les flux et leurs impacts. Ces résultats sont très encourageants pour d'autres territoires moins vulnérables d'un point de vue environnemental, indiquant qu'il est possible d'imaginer une agriculture viable, productive et à faible émission d'azote.

La dimension socio-économique a été très rapidement abordée (Moreau et al., 2012a) et l'approche a montré la viabilité des systèmes herbagers proposés dans le cadre économique actuel. Il est souhaitable d'affiner l'analyse des résultats économiques en articulation étroite avec le fonctionnement technique des systèmes de production en vitesse de croisière et d'étudier la résilience des systèmes à la variabilité des prix et des conditions climatiques. Le travail prospectif doit lui aussi être poursuivi, grâce à un travail de comparaison avec d'autres régions, portant sur les systèmes autonomes à faible émission d'azote, permettant d'identifier les marges de progrès adaptées aux conditions pédoclimatiques de la région et à la situation socio-économique des exploitations. Sur la base de ces approfondissements, la réflexion pourra être poursuivie afin de mettre en évidence les conditions selon lesquelles les agriculteurs pourraient mettre en œuvre de façon plus large ces systèmes de production à plus faible émission d'azote, en particulier pendant la phase de transition (Coquil et al., 2014).

Il est également envisagé de poursuivre le travail en étudiant l'impact des transformations des systèmes de production du point de vue de la collectivité, c'est-à-dire en prenant en compte leurs effets indirects amont et aval : quel est l'impact économique sur l'ensemble des agents économiques indirectement concernés (notamment entreprises d'agrofourmiture et de transformation des produits laitiers) d'une réorientation des systèmes de production vers une place plus grande des prairies et du pâturage et vers un fonctionnement privilégiant la réduction des intrants plutôt que l'accroissement de la production ? Les travaux déjà réalisés ont mis en évidence l'importance de conduire de type d'analyse macro-économique, qui est prévu dans un avenir proche. L'objectif de la recherche qui sera effectuée est de tirer des conclusions sur l'intérêt économique et environnemental des transformations entreprises en prenant en compte les marges de progrès possibles, tant du point de vue des agriculteurs que de celui de l'ensemble de la collectivité.

**Remerciements** : Nous remercions l'ensemble des partenaires du projet ANR-Acassya (ANR-08-STRA-01, <http://www.acassya.fr>), en particulier Lannion-Trégor Agglomération, les agriculteurs de la Lieue-de-Grève et tous les participants au groupe technique.

### Références bibliographiques

Aquilina L., Vergnaud-Ayraud V., Labasque T., Bour O., Molénat J., Ruiz L., de Montety V., De Ridder J., Roques C., Longuevergne L., 2012. Nitrate dynamics in agricultural catchments deduced from groundwater dating and long-term nitrate monitoring in surface and groundwaters. *Science of the Total Environment* 435-436, 167-178.

- Beaujouan V., Durand P., Ruiz L., Aurousseau P., Cotteret G., 2002. A hydrological model dedicated to topography-based simulation of nitrogen transfer and transformation: rationale and application to the geomorphology–denitrification relationship. *Hydrol. Process.* 16, 493–507.
- Bergez J.E., Chabrier P., Gary C., Jeuffroy M.H., Makowski D., Quesnel G., Ramat E., Raynal H., Rousse N., Wallach D., Debaeke P., Durand P., Duru M., Dury J., Faverdin P., Gascuel-Oudou C., Garcia F., 2013. An open platform to build, evaluate and simulate integrated models of farming and agro-ecosystems. *Environmental Modelling & Software* 39, 39-49
- Cochet H., Devienne S., 2006. Fonctionnement et performances des systèmes de production agricole: une démarche à l'échelle régionale. *Cahiers Agricultures* 15, 578-583.
- Cochet H., Devienne S., Dufumier M., 2007. L'agriculture comparée : une discipline de synthèse ? *Economie rurale* 297-298, 99-112.
- Coquil X., Béguin P, Lusson J.M., Dedieu B. 2014. Transition vers des systèmes plus autonomes : les ressources de la construction de l'expérience des agriculteurs. In « Concilier productivité et autonomie en valorisant la prairie ». Actes des Journées de l'AFPF, 25-26 mars 2014, 85-96
- Corgne S., Hubert-Moy L., Lecerf R., Thomas A., Dusseux P., Planchon O., 2012 : Observation des changements d'occupation et d'utilisation des sols par télédétection dans le Grand Ouest. In: Mérot P., Dubreuil V., Delahaye D., Desnos P. (Eds), *Le climat change dans l'Ouest : Evaluation, Impacts, Perceptions*. Coll. Espace et Territoires, Presses Universitaires de Rennes, pp. 251-264.
- Dourmad J-Y., Bouvarel I., Gac A., 2010. Les stratégies d'alimentation des animaux au sein de l'exploitation et du territoire et leurs incidences environnementales. In *Elevages et Environnement*, S espagnol et P. Leterme (coord.), éditions Quae, 65-118
- Dufumier M., Bergeret P., 2002 Analyser la diversité des exploitations agricoles. In : *Memento de l'agronome*. Paris, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD); Groupe de Recherches et d'Echanges Technologiques (GRET); Ministère des Affaires Etrangères, 321-344.
- Dufumier M., 1996 *Les projets de développement agricole*. Paris, Karthala, 354 p.
- Durand P., Moreau P., Salmon-Monviola, J., Ruiz L., Vertès F., Gascuel-Oudou C., 2014. Modeling the interplay between N cycling processes and mitigation options of nitrate pollution in farming catchments. *Journal of Agricultural Science*. soumis
- Galloway J.N., Aber J.D., Erisman J.W., Seitzinger S.P., Howarth R.W., Cowling E.B., Cosby B.J., 2003. The Nitrogen cascade. *Bioscience*, 53 (4), 341-356.
- Garambois N., Devienne S., 2012. Les systèmes herbagers économes: une alternative de développement agricole pour l'élevage bovin laitier dans le Bocage vendéen ? *Economie Rurale* 330-331, 56-72.
- Leenhardt D., Therond O., Cordier M.O., Gascuel-Oudou C., Reynaud A., Durand P., Bergez J.E., Clavel L., Masson V., Moreau P., 2012. A Generic framework for scenario exercises using models applied to water-resource management. *Environmental Modelling & Software*, 37, 125-133.
- Levain A., Vertès F., Ruiz L., Delaby L., 2014. Articuler injonction au changement et processus d'innovation dans un territoire à fort enjeu écologique : regards croisés sur une expérience d'accompagnement. *Fourrages*, 217, 69-78
- Mabon F., Raimbault T., Moreau P., Devienne S., Delaby L., Durand P., Ruiz L., Vertès F., 2009. Concilier efficacité technico-économique et environnementale des exploitations agricoles en zone vulnérable : apport du diagnostic agraire. *Fourrages*, 373–388.
- Menesguen A., 2003. Les marées vertes en Bretagne, la responsabilité du nitrate. *Ifremer*, 12p
- Molénat J., Gascuel-Oudou C., Aquilina L., Ruiz L., 2013. Use of gaseous tracers (CFCs and SF6) and transit-time distribution spectrum to validate a shallow groundwater transport model. *J. Hydrol.* 480, 1-9.
- Moreau P. Ruiz L., Vertès .F, Baratte C., Delaby L., Faverdin P., Gascuel-Oudou C., Piquemal B., Ramat E., Salmon-Monviola J. and Durand P., 2013a. CASIMOD'N: An agro-hydrological distributed model of catchment-scale nitrogen dynamics integrating farming system decisions. *Agricultural Systems* 118, 41-51.

Moreau P., Ruiz L., Mabon F., Rimbault T., Durand P., Delaby L., Devienne S., Vertès F., 2012a. Reconciling technical, economic and environmental efficiency of farming systems in vulnerable areas. *Agric. Ecosyst. Environ.* 147, 89–99.

Moreau P., Ruiz L., Rimbault T., Vertès F., Cordier M.O., Gascuel-Oudou C., Masson V., Salmon-Monviola J., Durand P. 2012b. Modelling the potential benefits of catch-crop introduction in fodder crop rotations in a Western Europe landscape. *Science of The Total Environment* 437, 276–284.

Moreau P., Viaud V., Parnaudeau V., Salmon-Monviola J., Durand P., 2013b. An approach for global sensitivity analysis of a complex environmental model to spatial inputs and parameters: A case study of an agro-hydrological model. *Environmental Modelling & Software* 47, 74-87.

Ruiz L., Abiven S., Martin C., Durand P., Beaujouan V., Molenat J., 2002 Effect on nitrate concentration in stream water of agricultural practices in small catchments in Brittany. II. Temporal variations and mixing processes. *Hydrology and earth systems sciences* 6 (3), 507-513.

Vertès F., Delaby L., Ruiz L., Moreau P., Gascuel-Oudou C., 2011. Une méthode pour co-construire et évaluer des options de réduction de pertes N en exploitations sur des bassins-versants côtiers vulnérables. *Renc. Rech. Ruminants* 18, 252.