



Co-construire et évaluer des scénarios d'évolution des systèmes de production agricole sous contraintes environnementales : application à un bassin-versant côtier affecté par des “ marées vertes ”

Pierre Moreau, Françoise Vertès, Luc Delaby, Patrick Durand, Chantal Gascuel, Laurent Ruiz

► To cite this version:

Pierre Moreau, Françoise Vertès, Luc Delaby, Patrick Durand, Chantal Gascuel, et al.. Co-construire et évaluer des scénarios d'évolution des systèmes de production agricole sous contraintes environnementales : application à un bassin-versant côtier affecté par des “ marées vertes ”. 19. Rencontres Recherches Ruminants (3R), Dec 2012, Paris, France. 441 p. hal-01209089

HAL Id: hal-01209089

<https://hal.science/hal-01209089>

Submitted on 3 Jun 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.

Co-construire et évaluer des scénarios d'évolution des systèmes de production agricole sous contraintes environnementales : application à un bassin-versant côtier affecté par des « marées vertes ».

MOREAU P.(1), VERTES* F.(1), DELABY L.(2), DURAND P.(1), GASCUEL-ODOUX C.(1), RUIZ L.(1)

(1) INRA, UMR1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France, * correspondance

(2) INRA, TGU PEGASE, F-35590 St-Gilles, France

RESUME

Dans certaines baies écologiquement fragiles, le contrôle de la prolifération d'algues vertes passe par une réduction drastique des flux de nitrate dans les rivières. Les activités agricoles générant l'essentiel de ces flux, cette réduction implique souvent une profonde évolution des systèmes de production, pouvant aller jusqu'à leur re-conception. Il est donc nécessaire d'intégrer simultanément le niveau de l'exploitation agricole, siège du pilotage de la production agricole, et le niveau du territoire, où sont analysés les impacts de ces activités et où des solutions collectives peuvent être envisagées. Tester des solutions innovantes pour contrôler la pollution azotée exige des outils de modélisation intégrant le fonctionnement des systèmes de production agricole en interaction avec leur environnement biophysique. Cette communication présente la démarche et les outils mobilisés pour élaborer et tester des scénarios en utilisant le modèle CASIMOD'N qui permet d'assurer la cohérence, à l'échelle de l'exploitation, des scénarios de changements de systèmes de productions à l'échelle du bassin versant.

Co-conception and evaluation of scenarios re-designing farming systems in ecologically sensitive areas: application to a coastal watershed affected by algal blooms.

MOREAU P.(1), VERTES F.(1), DELABY L.(2), DURAND P.(1), GASCUEL-ODOUX C.(1), RUIZ L.(1)

(1) INRA, UMR1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France

SUMMARY

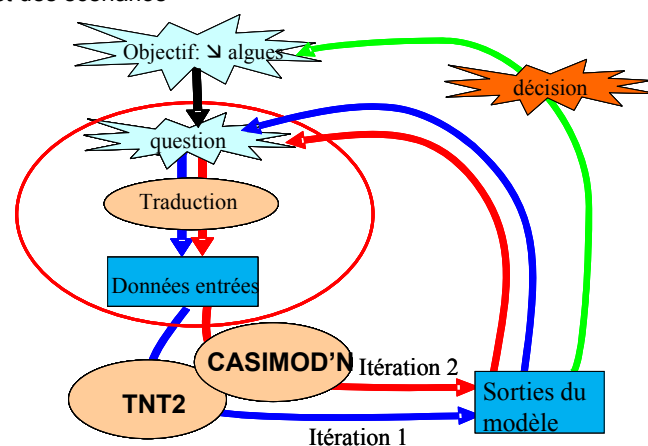
In coastal sensitive areas, controlling green algae blooms implies a strong reduction of nitrate fluxes in streams. Since agricultural activities are the main sources of N losses, this reduction implies a deep evolution of farming systems, from optimisation of practices to re-design. Few tools simultaneously take into account farm level, where farming systems are chosen and managed, and watershed level where the effect of agricultural practices on water quality are studied, and where collective solutions can be conceived and implemented. Testing of innovative regulations to control nitrate pollutions implies the use of models integrating the two levels. This paper presents the methodology and tools - indicators and Casimod'N model - used to build and test scenarios at the watershed level ensuring the production systems consistency at the farm level.

INTRODUCTION

Dans certaines baies écologiquement fragiles en zone d'élevage intensif, le contrôle de la prolifération d'algues vertes passe par une réduction drastique des flux de nitrate dans les rivières (Billen, 2011). L'agriculture étant la principale responsable de ces flux, ceci implique souvent une profonde évolution des systèmes de production présents pouvant aller jusqu'à leur re-conception. Il est donc nécessaire d'intégrer simultanément le niveau de l'exploitation agricole, siège du pilotage des activités de productions agricoles, et le niveau du territoire, où sont analysés les impacts de ces activités et où des solutions collectives peuvent être envisagées. Des expérimentations territoriales impliquant un grand nombre de fermes sont difficiles et lourdes à mettre en place. De plus, les effets de changements de systèmes de productions sur la qualité des eaux de surface ne sont pas immédiats avec un temps de réponse de l'ordre de la décennie (Ruiz *et al.*, 2002 ; Molénat *et al.*, 2008), décourageant parfois la mobilisation des acteurs (agriculteurs et gestionnaires de l'eau). Le recours à une démarche de modélisation, appuyée sur des données de terrain, s'est ainsi avéré indispensable et riche de possibilités pour concevoir et tester des scénarios d'évolution des systèmes de production.

Le travail présenté s'inscrit dans le programme de recherche ACASSYA*¹ (<http://www.inra.fr/acassya>) dont l'objectif est de développer un ensemble de connaissances et d'outils pour faciliter de telles évolutions (Durand *et al.*, 2012), et constitue l'axe de travail « co-construction de scénarios avec les acteurs et impacts ». La méthode développée s'appuie sur deux boucles de progrès illustrées par la figure 1.

Figure 1 : Méthode développée pour la co-construction et le test des scénarios



¹ ACompagner l'évolution Agro-écologique deS SYstèmes d'élevAge dans les bassins-versants côtiers

L'objectif - réduire la prolifération des algues - a été traduit selon Ménesguen (2009) en objectif de qualité de l'eau à 10-15 mg nitrate par litre. La première itération a permis de tester avec le modèle agro-hydrologique TNT2 (Beaujouan *et al.*, 2002) d'une part l'effet de l'introduction de CIPAN (Moreau *et al.* 2012a) et d'autre part les effets de 3 scénarios de changements de pratiques agricoles appliqués au bassin versant étudié (Yar, Côtes d'Armor, France) : pratiques actuelles (PA), un scénario « MAE SFEI² » et enfin un scénario de déclin de l'agriculture (DA) simulé comme la conversion de l'ensemble de la surface agricole utile (SAU) en prairie de fauche non fertilisée (Moreau *et al.*, 2012b). Le scénario « MAE SFEI » est facile à documenter à partir des systèmes de production existants (Mabon *et al.*, 2009). Les principaux enseignements sont que les 2 scénarios agricoles PA et SFEI ne permettent pas d'atteindre les objectifs de qualité de l'eau visés, tandis que le scénario DA permettrait une décroissance importante et rapide des concentrations (6 mg nitrate par litre en 2020).

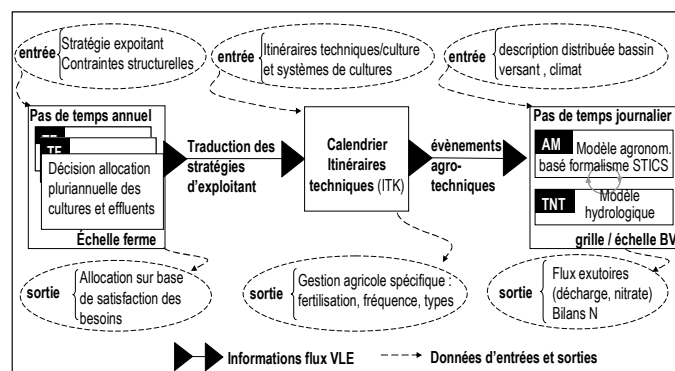
Cette communication présente la démarche et les outils mobilisés pour la deuxième itération, utilisant le modèle CASIMOD'N qui permet d'assurer la cohérence, à l'échelle de l'exploitation, des scénarios de changements de systèmes de productions agricoles à l'échelle du bassin versant (BV).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DESCRIPTION DU MODELE ET DU SITE D'ETUDE

Pour intégrer le fonctionnement des systèmes agricoles dans la modélisation biophysique du bassin versant, le modèle spatialisé CASIMOD'N (Catchment and Agricultural System Integrated MODEL for Nitrogen) a été développé par Moreau *et al.* (2012c). L'originalité de ce modèle est d'intégrer à la fois les processus décisionnels annuels des systèmes de productions en interaction avec les systèmes biotechniques, et les impacts des pratiques agricoles sur le cycle de l'azote dans le bassin versant (Figure 2).

Figure 2 : Représentation simplifiée du modèle Casimod'N



Casimod'N inclut de façon explicite le fonctionnement des exploitations d'élevage en couplant certains des modules de MELODIE (Chardon *et al.* 2008 ; Faverdin *et al.*, 2011) avec le modèle spatialisé TNT2, qui simule le transfert et les transformations de l'azote (N) en fonction des pratiques agricoles à l'échelle du bassin versant. Le modèle MELODIE est construit selon l'ontologie des systèmes de production agricole proposée par Martin-Clouaire et Rellier (2009), dans laquelle un système de production est composé de trois sous-systèmes : le système biotechnique (ou système contrôlé), le système de décision (ou le manager) et le système opérant. La stratégie du chef d'exploitation est modélisée sur la base (i) des besoins d'aliments pour les animaux, du degré d'autonomie fourragère et des objectifs de cultures de vente et (ii) de la gestion des effluents animaux. Chaque manque ou

surplus de produit est pondéré, en fonction de l'importance qu'y accorde l'exploitant (critères d'autonomie, de sécurité fourragère, de revenu, de travail). Chaque stratégie s'inscrit dans le cadre des contraintes propres à l'exploitation (structure du parcellaire, potentialités agronomiques, cadre réglementaire, priorités de l'éleveur) qui sont des entrées du modèle. Les priorités élémentaires s'expriment par une pondération entre 0 (peu important) et 1 (priorité maximale) combinées par triplet « culture – parcelle – effluent ». Par exemple, le lisier est prioritairement épandu sur maïs puis céréales ou prairie, les parcelles proches des bâtiments sont des prairies pâturées plutôt que des cultures, les parcelles éloignées reçoivent moins de produits organiques (effluents ou pâturage), etc.

Les décisions de l'éleveur s'expriment par les assolements et les plans d'épandage basés respectivement sur les modules de MELODIE nommés TOURNESOL (Garcia *et al.*, 2005) et FUMIGENE (Chardon *et al.*, 2008). Les plans des éleveurs sont simulés chaque année tandis que les flux sont modélisés à un pas de temps journalier (figure 2). L'implémentation a été conduite dans la plateforme RECORD et son laboratoire d'expérimentation virtuelle (VLE) comme proposé par Quesnel *et al.* (2009). Grâce aux interactions prises en compte entre conduite opérationnelle des activités et planification annuelle, à deux pas de temps très différents, la conduite du système est ajustée chaque année aux conditions climatiques et à l'état du système, ce qui est essentiel pour permettre des simulations et pour étudier à la fois la variabilité de la conduite et la résilience des systèmes sur le long terme.

Le site étudié est le bassin versant du Yar dont la superficie totale est de 61 km². Le climat est de type océanique humide avec une température moyenne annuelle de 11,7°C et une pluviométrie annuelle de 950 mm sur la période 1996-2007. 55 fermes sont présentes sur le bassin versant (BV) et la SAU occupe 64 % de la surface totale. Toutes les fermes sont spécialisées en élevage (50 en élevage bovin lait ou viande, 2 en porcs et 1 en volailles) sauf 3 en cultures de ventes. Les choix de systèmes fourragers et de mode de gestion des effluents sont donc les pierres angulaires des stratégies des exploitants. Les assolements et allocations des cultures dépendent des besoins des troupeaux et des choix de systèmes fourragers, dans le cadre des contraintes biophysiques et structurelles des fermes. Les rotations les plus fréquentes sont biennales (maïs/céréales) ou pluriannuelles (prairies/maïs/céréales).

1.2. SCENARIOS PROSPECTIFS DE CHANGEMENTS DE SYSTEME

La co-construction

Dès la fin des années 1990, le gouvernement avait sollicité les acteurs locaux du BV de la Lieue de Grève (collectivités territoriales, professionnels agricoles, programme Pro Littoral) pour élaborer un plan quadriennal de lutte contre les proliférations d'algues vertes, en réduisant les flux d'azote se déversant dans la baie. Les progrès réalisés étant insuffisants pour réduire cette pollution, un nouveau groupe de travail s'est mis en place en 2008 incluant des scientifiques, des techniciens, des gestionnaires et des éleveurs. Les travaux initiaux ont associé diagnostic agricole et environnemental (Mabon *et al.*, 2009 ; Moreau *et al.*, 2009) pour dégager les forces et faiblesses techniques, économiques et environnementales des systèmes agricoles actuels. Ensuite, une concertation permanente avec les différents acteurs concernés a fait émerger des pistes d'évolutions à explorer sur l'ensemble d'un bassin versant. Cinq d'indicateurs-guide simples et génériques ont été proposés pour orienter l'évolution des systèmes de production (Vertès *et al.*, 2011), et ce sans contraindre les modalités de mise en œuvre dans les exploitations. Plutôt qu'un recours à des propositions normatives, la démarche adoptée vise à favoriser une

² Mesure agro-environnementale « Systèmes Fourragers Economes en Intrants »

exploration prospective de type « que se passe-t-il si ? » (Borjeson *et al.*, 2006).

Les indicateurs et les scénarios

Le 1^{er} scénario présenté ci-dessous est issu des travaux du groupe transdisciplinaire qui a cherché à valoriser les potentialités agronomiques locales. Les cinq indicateurs choisis pour réduire les pertes d'azote, tout en préservant les niveaux de production animale (lait et viande), visent à encourager une gestion efficiente de l'azote et à optimiser les capacités tampons des systèmes de culture (CIPAN) et du milieu. Les deux principaux sont 1) Chargement animal maximum de 1.4 UGB par hectare d'herbe et 2) Indicateur « entrées N » inférieur à 100 kg N /ha/an. Les 3 autres indicateurs cherchent à limiter les pratiques à risques (sols nus en hiver, destructions de prairies, parcelles « parking »). Ce cadre de mesures cohérentes donne aux exploitants la possibilité d'initier différentes voies d'évolution. Il est d'abord mis en œuvre dans un réseau de 10 exploitations dites « en mouvement³ ».

L'étape suivante consiste à passer des indicateurs à la mise en œuvre virtuelle de scénarios. Un premier choix a été fait de tester les indicateurs de façon incrémentale pour identifier les gains potentiels indépendamment.

(a) scénario TRELSU basé sur le seuil de chargement <1.4 UGB/ha prairie. La mise en œuvre du scénario donne la priorité à l'augmentation des surfaces en herbe (au détriment des cultures annuelles) pour maintenir une production animale constante, en limitant à la fois l'occurrence de sols nus en hiver et les taux de destruction des prairies.

(b) scénario TREI_N, basé sur l'indicateur « entrées N » < 100 kg N /ha/an, calculé à l'échelle de l'exploitation:

$Entrées\ I_N = N\ engrais\ minéraux + (0.75 [bovins] ou 0.65 [porcins] * N\ aliments + N\ organique\ net\ (import - export\ d'effluents))$

Ce calcul intègre la part d'aliments non transformés en produits animaux vendus, l'efficacité de transformation variant entre espèces, alors que les régulations actuelles concernent surtout l'équilibre de la fertilisation. Les résultats de ce scénario, peu différents de la situation actuelle, ne sont pas présentés ici.

(c) scénario TRELSU_{I_N} combinant les 2 indicateurs.

Le cadre général basé sur ces mesures peut s'appliquer à une large gamme des systèmes de productions présents sur ce territoire, et il affecte à la fois l'utilisation des sols et les systèmes de cultures.

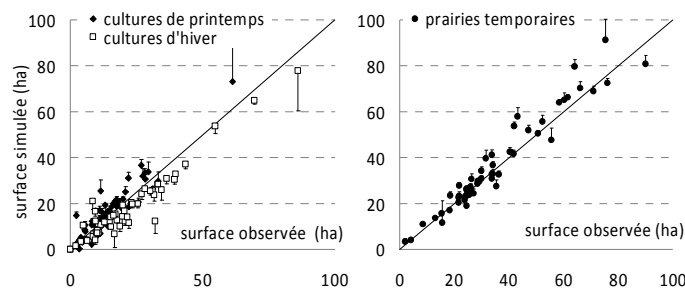
2. RESULTATS

2.1. COHERENCE DES SCENARIOS (EXPLOITATION)

Chaque étape de la construction des indicateurs et des scénarios a été menée en concertation avec les partenaires, y compris des agriculteurs, pour s'assurer de leur cohérence avec les contraintes des exploitations.

La confrontation entre pratiques agricoles simulées avec CASIMOD'N et données des enquêtes et observations, menée sur l'ensemble des fermes du BV confirme la robustesse du module exploitation actuel (qui génère assolements et gestion des déjections). La figure 3 illustre la correspondance entre les assolements simulés et observés par type de culture et par exploitation, les bons résultats confirmant la capacité du modèle à reproduire des assolements cohérents, compte tenu des stratégies d'alimentation simulées.

Figure 3 : Surfaces affectées aux cultures dans chaque exploitation, observées et simulées par Casimod'N sur le BV du Yar (22).

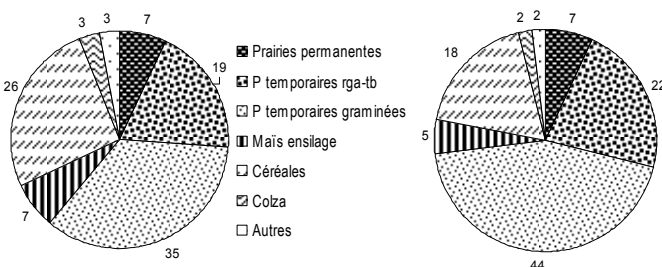


Bien que la procédure d'optimisation du coût des déficits (en fourrages, cultures de vente, paille, ...) ait été pondérée par les besoins en biomasse par type de culture, le modèle tend à sécuriser la production d'herbe car les contraintes en termes de durée de prairies sont assez drastiques, et le potentiel de production choisi un peu faible : une légère surestimation de la surface en prairies temporaires conduit à une sous estimation de celle en maïs. La priorité donnée à la production de fourrages augmente légèrement la variabilité des surfaces simulées en cultures de vente.

2.2. LES FLUX D'AZOTE SIMULES (BASSIN VERSANT)

La figure 4 illustre la répartition simulée des cultures sur l'ensemble du bassin versant. La part des cultures diminue, passant de 39% (situation actuelle) à 27% de la SAU (scénario combinant les 2 indicateurs).

Figure 4 : répartition des surfaces par type de culture et prairie sur la SAU du BV du Yar, pour la situation actuelle (gauche) et le scénario TRELSU_{I_N}.



Le tableau 1 présente les flux d'azote simulés à l'échelle du bassin versant.

Tableau 1 : Flux N simulés à l'échelle du bassin versant (ha_{BV}: hectare de BV, TRELSU: max 1.4 UGB.ha⁻¹ prairie, TRELSU_{I_N}: idem + indicateur entrée < 100 kgN.ha⁻¹ SAU) (*en italique* : postes du bilan*, souligné entre parenthèses : données moyennes d'enquête)

Flux d'azote annuels kg N.ha _{BV} ⁻¹ .an ⁻¹	Situation actuelle	TRELS U	TRELSU _{I_N}
Entrées moyennes N	118.7	119.6	115.2
<i>engrais minéraux*</i>	41.4 (41)	41.6	36.9
<i>engrais organiques*</i>	21.8 (23)	18.0	18.0
fixation symbiotique	10.7	12.3	12.4
<i>déjections pâturage*</i>	31.3 (28.7)	34.1	34.3
dépôt atmosphérique	13.6	13.6	13.6
N fourni par sol & nappe	31.5	21.7	22.0
Sorties moyennes N	149.1	141.2	137.1
<i>Cultures*</i>	90.7	89.9	86.4
dénitrification	14.6	14.6	14.2
volatilisation	5.5	5.6	5.5
stocké bois	10.9	9.8	9.8
flux à l'exutoire	27.4	21.3	21.2
Bilan N* (sans la fixation)	3.8	3.8	2.8

³ Exploitations s'engageant volontairement (contrat avec Lannion Trégor Aggl.) dans un processus d'évolution de pratiques, et suivies par le groupe de travail.

Pour la situation actuelle, le solde de bilan globale azoté est calculée comme la différence entre l'N des engrais, effluents épandus et déjections au pâturage moins l'N exporté par les cultures. Ramené à la surface totale du BV, le solde est positif de 3.8 kg N/ha/an.

Dans le scénario TRELSU, la diminution de l'N organique épandu est compensée par l'augmentation des apports de déjections au pâturage, et le solde de bilan reste égal à 3.8 kgN/ha_{BV}/an tandis qu'il diminue à 2.8 kgN/ha_{BV}/an dans le scénario TRELSU_N. Si l'on prend en compte l'azote fixé par les légumineuses, la balance azotée de TRELSU est supérieure à celle de la situation actuelle (16.2 vs 14.5 kgN/ha_{BV}/an).

Malgré cette augmentation, le flux d'N des rivières diminue de 22%, comparé à la situation actuelle. Ceci est dû aux effets combinés du stockage d'azote organique dans les prairies, de la diminution à la fois des épandages sur cultures annuelles et des occurrences de sols nus ou peu couverts en hiver (figure 4). Par rapport au précédent, le scénario TRELSU_N améliore peu les flux d'N dans la rivière (- 0.1 kgN/ha_{BV}/an) et la réduction de la fertilisation minérale affecte les rendements (- 4.4 kgN/ha_{BV}/an). Ceci confirme le bon équilibre global de la fertilisation dans le contexte actuel et la relative inefficacité de cette mesure lorsqu'elle s'ajoute à la précédente.

3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le modèle CASIMOD'N model a pu être utilisé avec succès pour tester les scénarios résultant du groupe de travail pluri partenaires. Les options testées incluent explicitement la variété des exploitations en termes de systèmes fourragers et de gestion des déjections dans leurs cadres de contraintes structurelles. La capacité du modèle à simuler les modifications des systèmes de production induites par le respect d'indicateurs systémiques simples a été montrée. Le mode d'implémentation des scénarios sur la base de pondérations sur les besoins des animaux et de priorités par triplet « parcelle-culture-déjections » met en lumière l'importance de la gestion des animaux dans l'allocation des cultures et itinéraires techniques dans les systèmes d'élevage considérés.

La méthode permet non seulement de quantifier l'impact des mesures engagées sur les transferts et transformation d'azote dans le bassin versant, mais aussi de simuler les changements de systèmes et pratiques (assolements et gestion de la fertilisation) induits par les modifications de stratégies guidées par les indicateurs. Ces résultats combinés facilitent et stimulent la discussion avec les acteurs locaux, (agriculteurs et gestionnaires du territoire) et leur compréhension des liens entre pratiques agricoles au niveau de l'exploitation et flux de nitrate au niveau du bassin versant. L'intégration de ces 2 échelles (BV et exploitation) dans un modèle unique constitue un progrès significatif pour à la fois étudier le fonctionnement du système dans son ensemble, assurer la cohérence des scénarios testés à partir des idées des acteurs et mettre en œuvre concrètement la démarche en boucles de progrès présentée en introduction.

L'évaluation incrémentale des deux indicateurs-guide permet de caractériser les effets spécifiques des 2 scénarios testés. Dans le cas étudié, les résultats montrent qu'il est possible de diminuer sensiblement les fuites d'azote tout en maintenant la production animale à son niveau actuel, en promouvant une réduction du chargement rapporté à la surface de prairies. Par contre, la limitation des entrées d'azote à l'échelle de l'exploitation ne produit qu'une faible réduction des fuites. Cette dernière mesure serait probablement plus efficace dans les cas de bassin versants dominés par des systèmes de

production animale très intensifs ou de pratiques généralisées de sur-fertilisation des cultures. L'effet positif du scénario TRELSU résulte surtout d'une meilleure couverture des sols en automne-hiver réduisant le drainage et limitant la lixiviation de nitrate. Dans ces premières simulations, la possibilité d'introduire une nouvelle culture dans le cadre de changements de systèmes n'a pas été simulée, ce qui peut conduire à sous-estimer la part des prairies d'association graminées-légumineuses et leurs effets (positifs ou négatifs) sur la lixiviation de nitrate. Enfin, les scénarios élaborés concernent seulement les exploitations bovines, systèmes de production dominant sur le BV du Yar, mais d'autres types de mesures de mitigations pourraient être conçues et testées sur des territoires dominés par des systèmes de productions hors sol et des cultures.

Tester des régulations innovantes pour contrôler la pollution azotée exige des outils de modélisation intégrant le fonctionnement des systèmes de production agricole en interaction avec leur environnement biophysique. Malgré les simplifications inhérentes à la démarche de modélisation, les scénarios testés montrent des perspectives agricoles encourageantes basées sur l'optimisation du recyclage mais la réduction de 20% des flux de nitrate dans la rivière reste loin de l'objectif de 50% visé. Des modules complémentaires, dont certains issus du modèle Mélodie comme par exemple sur la gestion des prairies et d'autres issus de recherches sur les processus d'épuration liés à la présence des haies ou à la dénitrification en zones humides permettront d'affiner les simulations et de tester des scénarios prospectifs (sur les tactiques de pâturage, sur l'optimisation du pouvoir tampon des bassins versants etc...). C'est l'un des prochains objectifs du projet ACASSYA, en parallèle avec le suivi des évolutions engagées dans un réseau de fermes « en mouvement » du site d'étude et le test de nouveaux scénarios issus des réflexions du groupe de travail.

- Billen, G., et al., 2011.** European Nitrogen Assessment, 271-297
Chardon, X. et al., 2008. J. of Agr. Science, 146, 521-539.
Borjeson, L., et al., 2006. Futures, 38(7), 723-739.
Beaujouan, V., et al., 2002. Hydrol. Processes, 16(2), 493-507.
Durand P., et al., 2012. Proc. 17th N Workshop Wexford,
Faverdin P., et al., 2011. Innov. Agron. 12, 109-119
Garcia, F., et al., 2005. 3R, 12, 195-198.
Mabon, F., et al., 2009. Fourrages, 199, 373-388.
Martin-Clouaire, R., et al., 2009. Metadata, Semantics and Ontologies, 4, 42-53.
Molenat, J., et al., 2008. J. of Hydrology, 348, 3/4, 363-378
Moreau, P., et al., 2009. Modélisation Yar, rapport LTA, 60 p.
Moreau, P., et al., 2012a. Sc. Tot. Env., in press
Moreau, P., et al., 2012b. Agric. Ecosyst. Environ., 147, 89-99
Moreau P., et al., 2012c., Casimod'N. Agric. Syst. (subm.)
Quesnel, G., et al., 2009. Simulation Modelling Practice and Theory, 17(4), 641-653.
Ruiz L., et al., 2002. Hydrol. Earth Syst. Sc., 6(3), 507-513
Ruiz L., et al., 2011. Proceedings EGU 2011 vol 13, Vienne
Vertès, F., et al., 2011. 3R, 18, poster

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet ACASSYA, ANR-08-STRA-01, <http://www.inra.fr/acassya>.

Nous remercions l'ensemble de nos partenaires de Lannion Trégor Agglomération, de la CA22, Cedapa et GAB22 et les agriculteurs de la Lieue de Grève pour leur coopération constructive.