

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE : AZOTE, CARBONE ET BIODIVERSITE

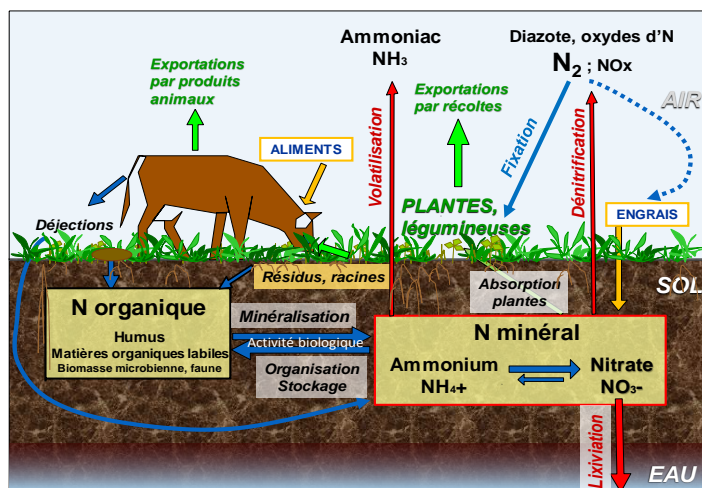
Objectif : évaluer les effets environnementaux du passage à des systèmes économes en intrants à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire. Ces systèmes permettent-ils :

- de réduire les pertes d'azote et de carbone vers l'eau, l'air et les sols et/ou d'en augmenter le stockage ?
- d'améliorer la biodiversité ?

LES FLUX D'AZOTE

LE CYCLE DE L'AZOTE : UN CYCLE COMPLEXE

Le cycle de l'azote est ici présenté pour une prairie pâturée. Pour une culture ou une prairie de fauche, il faut supprimer les flux liés aux animaux et ajouter les éventuels apports de matières organiques (fumier, lisier...).



L'activité biologique du sol (faune et flore) joue un rôle essentiel dans la dynamique de l'azote. Cette activité est étroitement liée à l'état du sol : composition (dont structure et texture), humidité, pH, température, rapport C/N, stock de matière organique, vie biologique...

La dynamique de l'azote dans le sol est un processus complexe que l'on s'efforce de comprendre et d'évaluer par la modélisation.

Dans cette étude, des modélisations de flux d'azote ont été conduites à différentes échelles.

À l'échelle de la parcelle le modèle SYST'N a été utilisé pour estimer la variation des principaux flux d'azote, notamment les émissions de nitrate et d'ammoniac, lors de la transition vers des systèmes plus économes en intrants.

À l'échelle du bassin versant du Blavet le modèle hydrologique Sénèque a été utilisé pour estimer les flux de nitrate à l'exutoire, à partir des estimations de lixiviation sous parcelle, en comparant un scénario témoin à un scénario prévoyant la transition des systèmes et l'optimisation des pratiques sur l'ensemble de la surface agricole du bassin.

L'azote est présent sous différentes formes dans le sol :

- organique : matières organiques fraîches (déjections animales, fumier, résidus de culture...), humus, biomasse microbienne... ;
- minérale : ammonium et nitrate (formes absorbées par les plantes).

Le passage d'une forme à l'autre se produit à différentes étapes du cycle de l'azote dans le sol :

- minéralisation des matières organiques grâce à l'activité biologique du sol ;
- élaboration de la forme organique à partir de l'azote minéral grâce à l'absorption par les plantes et à l'activité des micro-organismes (organisation et stockage).

Les entrées d'azote sont principalement liées :

- à la fixation du diazote de l'atmosphère par les légumineuses ;
- aux apports de fertilisants azotés : engrais minéraux, engrais organiques et déjections animales.

Les sorties d'azote sont principalement liées :

- aux exportations dues aux récoltes ou au pâturage des animaux ;
- à la lixiviation du nitrate, en solution dans le sol et très mobile (fuite de nitrate vers l'eau) ;
- aux pertes par émissions gazeuses : volatilisation en ammoniac, dénitrification de l'ammonium en oxydes d'azote et diazote.

MODELISATION DES FLUX D'AZOTE A L'ECHELLE DE LA PARCELLE

Le modèle SYSTN (Parnaudeau et al., 2016)

Pour une culture ou un système de culture donné, ce modèle simule les processus du cycle de l'azote à l'échelle de la parcelle et calcule :

- les exportations d'azote par les récoltes et le pâturage ;
- les émissions d'azote vers l'eau (lixiviation du nitrate) et l'air (volatilisation d'ammoniac).

Il prend en compte des données relatives :

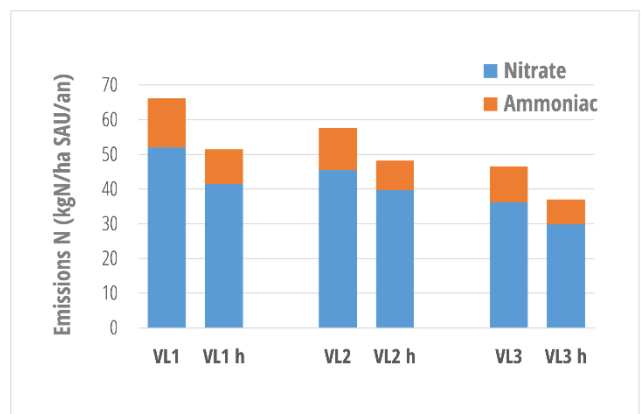
- au climat : précipitations, températures, évapotranspiration...
- au système de culture : rotations, itinéraires techniques (fertilisation, travail du sol...), gestion des prairies...
- au sol : texture, profondeur, taux de matière organique, capacité au champ...

La combinaison des systèmes de culture permet ensuite de modéliser les flux d'azote à l'échelle du système de production.

A l'échelle de la parcelle, le modèle SYSTN estime que le passage des systèmes laitiers en systèmes herbagers permet de réduire les pertes globales d'azote de 15 à 30%

Des modélisations ont été réalisées pour chacun des systèmes de production VL1, VL2 et VL3 (voir fiches n°5a, 5b et 5c).

Le passage en système herbager (h) entraîne une réduction marquée des pertes d'azote sous forme de nitrate et d'ammoniac. Cette réduction est un peu plus importante lors de la transition du système VL1 ; les systèmes VL2 et VL3 comportant dès le départ une part plus importante de prairies.



En système herbager, la limitation des pertes d'azote s'explique notamment par :

- une meilleure couverture des sols en hiver (prairies et CIPAN) ;
- une moindre fréquence de destruction des prairies ;
- un moindre usage des engrais azotés ;
- une réduction du chargement animal par hectare sur les prairies.



Le modèle ne prend pas en compte le stockage d'azote dans les sols et est peu sensible au type de prairie ou au mode de gestion du pâturage. La diminution des pertes d'azote lors du passage en système herbager est donc probablement sous-estimée.

Un indicateur simple pour estimer les pertes d'azote par lixiviation :

$$IND_{N_{lix}} = bilan\ N \times coefficient\ de\ lixiviation$$

Le bilan N apprécie la différence entre les flux d'azote entrants et sortants de la parcelle

Le coefficient de lixiviation évalue le risque de lixiviation en fonction de la couverture moyenne du sol. Celui-ci varie de 0,3 (sols bien couverts, prairie) à 1 (sol nu).

- ▶ L'indicateur $IND_{N_{lix}}$ évolue à la baisse lors de la transition vers des systèmes laitiers herbagers, puisque les coefficients de lixiviation diminuent sous prairie ou sols bien couverts.
- ▶ Les valeurs obtenues pour le nitrate lixivié sont inférieures à celles produites avec SYSTN (d'environ 45%).

L'indicateur $IND_{N_{lix}}$ fournit les données d'entrée spatialisées pour tester des scénarios à l'échelle du bassin-versant avec le modèle hydrologique Sénèque, présenté ci-dessous. L'indicateur a été calculé pour l'ensemble des systèmes de cultures identifiés sur le bassin versant du Blavet*.

*Plus de 600 systèmes de cultures ont été renseignés au sein du bassin versant du Blavet (Akkal-Corfini, comm pers.).

MODELISATION DES FLUX D'AZOTE A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT

Le modèle Sénèque (Billen et al., 2017, projet ANR Escapade)

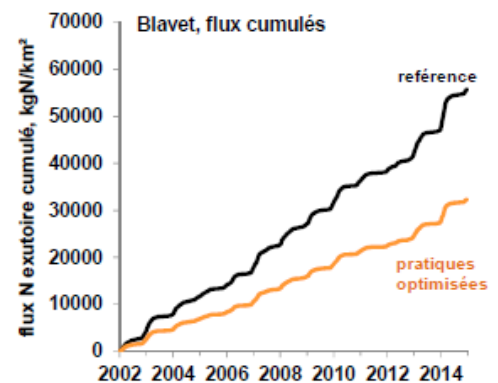
On utilise ici le modèle Sénèque pour **simuler les pertes d'azote par lixiviation** à une échelle plus large que celle de la parcelle : le **bassin versant du Blavet**. Le modèle est alimenté par les résultats des calculs de l'indicateur IND_{Nlix} , (voir ci-dessus).

La simulation a été conduite sur la totalité de la surface du bassin versant, en comparant un scénario de référence (systèmes de cultures réellement observés) à un **scénario dans lequel l'ensemble des exploitations mettent en œuvre des pratiques optimisées, visant à minimiser les pertes d'azote sous parcelle** (diversification des cultures, généralisation des couverts, optimisation des pratiques de fertilisation, passage des systèmes laitiers en système herbager...). Les résultats sont présentés pour la période 2002-2015, ce qui permet de raisonner à partir de données climatiques et d'occupation des sols réellement connues.

D'après Billen et al., 2017

La moyenne des valeurs de lixiviation de nitrate par hectare est divisée par 2 pour l'ensemble de la SAU du bassin versant et les flux de nitrate à l'exutoire sont réduits de 40%.

! Les flux d'azote à l'échelle d'un bassin versant intègrent des phénomènes complexes (géométrie et temps de transfert de l'eau et des solutés, phénomènes de rétentions, dénitrification non biologique...), non détaillés ici mais qui expliquent notamment qu'il existe un décalage temporel entre évolution des pertes sous parcelles et évolution de la qualité de l'eau à l'exutoire. La modélisation proposée prend en compte ces paramètres mais reste une représentation simplifiée de la réalité.



Conclusion

Malgré des méthodes de calculs différentes (calcul très simplifié de bilans des flux d'azote et d'indicateurs de lixiviation par Sénèque, modélisation pluriannuelle de processus par Syst'N), les résultats montrent toujours une tendance à la réduction des émissions d'azote au niveau des parcelles, des exploitations (nitrate et ammoniac) et du bassin-versant (nitrate).

CARBONE ET QUALITE DES SOLS

L'étude INRAE 4p1000 (Pellerin et al., 2019) a permis de réaliser une **évaluation du potentiel de stockage additionnel de carbone lié à l'adoption de certaines pratiques dans les systèmes de culture** ; en s'intéressant notamment aux pratiques suivantes :

- introduction de prairies dans les rotations en grandes cultures et allongement de la durée de vie des prairies ;
- généralisation des cultures intermédiaires (engrais verts, CIPAN, dérobées) ;
- apport de fertilisation sous forme organique (fumiers, composts...).

Le **projet ANR Mosaic** (Viaud et al., 2018), conduit sur le bassin-versant de Naizin, propose une **approche plus globale** en utilisant un indicateur de la qualité des sols qui intègre à la fois des données sur la teneur en matière organique et d'autres paramètres tels que la biomasse ou la stabilité structurale. Le projet vise ainsi à **étudier l'impact des systèmes de cultures sur les différentes composantes de la qualité des sols**.

L'introduction et l'allongement de la durée des prairies dans les rotations, de même que la généralisation des cultures intermédiaires, ont des effets très positifs sur la qualité des sols. La mise en place de ces pratiques améliore notamment :

- le stockage du carbone dans le sol (+2 à +3.5 p1000 d'après l'étude 4p1000) ;
- la teneur en azote dans le sol ;
- la biomasse et la biodiversité microbiennes du sol ;
- la stabilité structurale du sol.

! L'évolution du carbone dans le sol est globalement favorable mais encore **difficile à quantifier avec précision pour les systèmes associant grandes cultures et prairies**.

BILAN : DE NOMBREUX BENEFICES ENVIRONNEMENTAUX

TRANSITION VERS DES SYSTEMES LAITIERS HERBAGER (voir fiches n°5, 5A, 5B et 5C)

La transition des systèmes bovins laitiers vers des systèmes herbagers prévoit une augmentation de la part et de la durée des prairies dans les rotations, associée à une réduction du chargement animal. Cela permet notamment :

- Une **réduction immédiate des émissions d'azote directes** (nitrate, ammoniac et oxydes d'azote par ha) **et indirectes** (liées par exemple à la diminution des importations de tourteaux et d'engrais).
- Une **réduction des pertes d'azote et de carbone liées à la forte minéralisation de matières organiques labiles** (sols et plantes) **qui intervient lors de la destruction d'une prairie**, moins fréquente dans les systèmes herbagers.
- Une **augmentation progressive du stockage de carbone** (sensible au bout de plusieurs années) **et d'azote dans les sols**, qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à améliorer la qualité des sols (stabilité structurale, fertilité, biodiversité).
- Une **augmentation de la biodiversité végétale et de celle des sols** grâce aux prairies multi-spécifiques, temporaires ou permanentes. Elles sont souvent entourées de haies (biodiversité flore et faune), plantées lors de l'évolution vers ces systèmes pour le bien-être des animaux au pâturage et pour la production de bois.

TRANSITION VERS DES SYSTEMES GRANDES CULTURES ECONOMES EN INTRANTS (voir fiches n°3, 3A, 3B et 4)

La transition des systèmes en grandes cultures vers des systèmes plus économes en intrants permet :

- Une nette **réduction des pertes de nitrate** (-30% environ) **et de produits phytosanitaires**, en lien avec la diminution de leur utilisation
- Une **augmentation de la biodiversité végétale, permise par la diversification des espèces cultivées** (introduction du chanvre et du sarrasin, couverts multi-spécifiques), et celle de la faune associée (non mesurée)

A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT

Ces évolutions positives seront graduelles et ne s'exprimeront vraiment qu'au bout de plusieurs années (*décalage temporel entre évolution des pertes sous parcelles et évolution de la qualité de l'eau à l'exutoire*) :

- L'impact de la transition vers des systèmes herbagers sera limité dans la région car cette possibilité concerne une proportion modérée de la SAU (entre 20 et 35% selon les sous-régions). Les systèmes en grandes cultures incluant des légumes occupent quant à eux des surfaces localement importantes, en particulier sur schistes (voir fiche n°1). Ces systèmes sont de plus identifiés comme présentant les plus grands risques d'émissions d'azote (forte utilisation d'intrants) et de dégradation de la structure des sols.
- La combinaison et la mise en œuvre de l'ensemble des leviers identifiés permettraient de réduire significativement et durablement la teneur en nitrate et en produits phytosanitaires de l'eau à l'exutoire.

Conclusion

Compte tenu des méthodes et des données utilisées, les évaluations présentées indiquent des **tendances et des ordres de grandeur, à manipuler avec précaution**. Elles témoignent toutefois d'un **effet positif du passage à des systèmes plus herbagers et/ou plus économes en intrants sur l'environnement**.

Bibliographie

- Billen G., et al., 2017. Application du modèle SENEQUE 3.7 sur les territoires du projet ESCAPADE : Évaluation des scénarios https://www6.inrae.fr/ore_agrhys/content/download/4103/41657/version/1/file/ESCAPADE_CR_final_Annexes_2017-07-25.pdf, pp 139-162
- Parnaudeau, V. ; Reau, R. ; Dubrulle, P. (2012) "Un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement à l'échelle du système de culture : le logiciel Syst'N." *Innovations Agronomiques*, 21, 59-70. <https://hal.inrae.fr/ARINRAE-INNOVAGRO/hal-01001226>
- Pellerin S., Bamière L. et al., 2021. Stocker du carbone dans les sols français. <https://www.quae-open.com>
- Viaud V., et al., (2018) "Landscape-scale analysis of cropping system effects on soil quality in a context of crop-livestock farming." *Agriculture Ecosystems & Environment*. 265, 166-177

Rédaction de ce dossier :

Financé par :