



Association pour la Relance Agronomique en Alsace

PROGRAMME AGRONOMIQUE REGIONAL

OBSERVATOIRE DES FUITES DE NITRATES SOUS PARCELLES AGRICOLES

Synthèse pluriannuelle 2003/2011

L'observatoire des fuites de nitrates sous parcelles agricoles du programme agronomique régional est soutenu financièrement par



Fonds européen agricole pour le
développement rural : l'Europe
investit dans les zones rurales



ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES

Observatoire des fuites de nitrates sous parcelles agricoles

Synthèse pluriannuelle 2003-2011

1. Les objectifs généraux du projet	2
2. Le réseau constitué	3
3. Méthode d'analyse	4
3.1. <i>Les données météorologiques</i>	4
3.2. <i>Les 5 étapes de l'interprétation</i>	5
3.3. <i>Les données disponibles.....</i>	6
3.4. <i>La variabilité des résultats.....</i>	6
3.5. <i>La lecture des résultats.....</i>	7
4. Résultats et interprétation.....	8
4.1. <i>Le drainage calculé et sa répartition saisonnière</i>	8
4.2. <i>Le rôle du sol.....</i>	8
4.3. <i>L'occupation du sol</i>	10
4.3.1 <i>Le rôle du type de culture précédent le sol nu.....</i>	10
4.3.2. <i>Comparaison « sous blé » et « sol nu après maïs ».....</i>	10
4.3.3. <i>Le rôle des CIPAN</i>	11
4.4. <i>Les apports de Matières Organiques</i>	12
4.5. <i>L'ajustement de la fertilisation azotée</i>	12
4.5.1. <i>L'ajustement de la fertilisation azotée pour toutes les situations</i>	13
4.5.2. <i>L'ajustement de la fertilisation sur maïs</i>	13
5. Pertes d'azote et concentrations en nitrates : approche multifactorielle et exigence de précision.....	15
5.1 <i>Une question multifactorielle</i>	15
5.2 <i>Une exigence de précision élevée pour la gestion de l'azote dans les systèmes de cultures annuelles.</i>	16
7. Synthèse et conclusion	18

Observatoire des fuites de nitrates sous parcelles agricoles

Synthèse pluriannuelle 2003-2011

1. Les objectifs généraux du projet

En 2000, la profession agricole et ses partenaires ont décidé de constituer un observatoire des fuites de nitrates des parcelles agricoles vers les eaux souterraines et en particulier vers la nappe phréatique alsacienne.

Ce réseau de mesures a pour objectif de connaître la qualité des eaux produites sous parcelles agricoles et de les comparer selon les types de sol et les systèmes de cultures. Cela doit permettre :

- d'évaluer les améliorations apportées par les techniques de gestion de l'azote,
- d'argumenter les débats sur les programmes d'action à proposer,
- de fournir des données pour la validation de modèles de lessivage des nitrates.

Pour ce faire, une trentaine de parcelles, représentatives des situations agronomiques régionales de plaine, sont instrumentées avec un dispositif de bougies poreuses, permettant d'échantillonner l'eau du sol entre 1 m et 1,2 m de profondeur. L'utilisation de bougies poreuses offre le choix d'étudier soit des parcelles indépendantes – type de sol et système de culture différents – et d'en comparer les teneurs en nitrates des eaux recueillies, soit plusieurs modalités de conduite de la même culture dans des conditions de terrain identiques. Ces deux possibilités sont exploitées.

Les situations agronomiques étudiées ont été sélectionnées selon deux axes principaux : les systèmes de cultures présents dans la plaine d'Alsace et la sensibilité des sols au risque de lessivage des nitrates. Le réseau de parcelles équipées en bougies poreuses s'étend ainsi du nord de la zone FERT'ILL au centre de la Hardt en passant par la base du Piémont Bas-Rhinois. Concernant les systèmes de cultures, la monoculture de maïs sans déjections animales est prépondérante dans le paysage agricole alsacien. Il a donc été décidé de l'étudier sur tous les types de sols. De même, les situations en sol moyennement sensible au lessivage des nitrates sont étudiées pour l'ensemble des successions de cultures représentatives des pratiques agricoles de la plaine d'Alsace

2. Le réseau constitué

Le Tableau 1 donne la composition du réseau constitué par système de cultures et type de sol.

La monoculture de maïs concerne 9 sites. Des résultats complémentaires sur ce système pourront être tirés des systèmes avec céréales à paille, dont certains ne comprennent qu'une faible proportion de céréales à paille et se rapprochent donc de la monoculture de maïs. L'incidence des apports organiques sera analysable sur 8 sites.

Les sites ont été regroupés selon 3 types de sol, selon leur valeur de réserve en eau utile croissante :

- les sols caillouteux : comprenant les sols de Hardt et les rieds bruns caillouteux ;
- les limons sablo-argileux : rassemblant les sols plus ou moins acides du Piémont, les rieds bruns profonds et les sols argilo-sableux le long du Rhin ;
- les limons : regroupant les limons loessiques et ceux de plaine de l'III.

Par rapport au projet initial, le réseau comprend plus de sites en sol profond et moyennement profond. Cela provient en partie de la difficulté à installer des sites dans les sols les plus caillouteux.

Tableau 1 : Répartition des sites bougies poreuses en fonction du système de cultures et du type de sol

		Sols caillouteux	Limons sablo-argileux	Limons	TOTAL
Monoculture de maïs	Sans MO	4	3	1	8
	Avec MO		1		1
Succession avec céréales à paille	Sans MO		1	6	7
	Avec MO	1	3	3	7
Autres systèmes			4	2	6
TOTAL		5	12	12	29

NB : dans la monoculture de maïs, la betterave sucrière prend parfois la place du maïs grain.

L'installation des sites a débuté en 2002 : 10 sites ont été mis en place en 2002, 12 en 2003 et 7 en 2004.

3. Méthode d'analyse

Les prélèvements d'eau sont réalisés toutes les 2 semaines d'octobre à juin. L'eau est recueillie dans les bougies poreuses après une mise en dépression du dispositif à -700 mbar. Cette dépression étant supérieure à la force de rétention qu'exerce le sol sur l'eau, l'eau prélevée n'est donc pas obligatoirement de l'eau qui draine. Pour estimer les flux d'azote qui quittent les parcelles, il est donc nécessaire de déterminer s'il y a drainage ou non par le calcul d'un bilan hydrique sur chaque site.

Le calcul mobilise des données pédologiques permanentes descriptives des sites, des données météorologiques et des données d'itinéraire technique (irrigation) fournies par l'agriculteur.

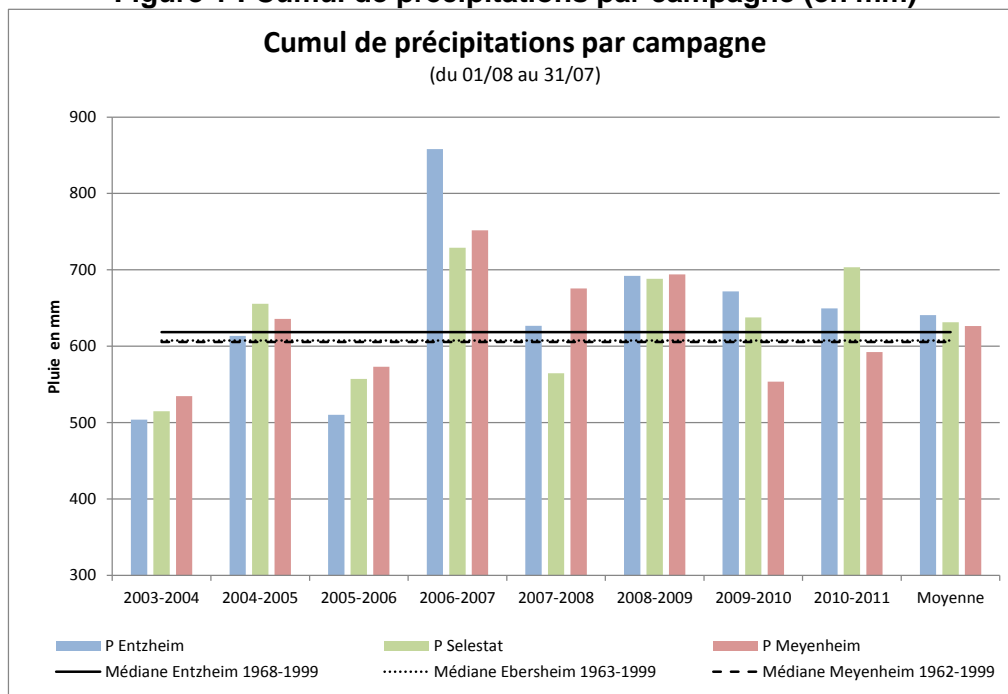
3.1. Les données météorologiques

Les données météorologiques nécessaires au calcul du bilan hydrique sont les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Ces 2 paramètres sont acquis à pas de temps journalier auprès de METEO-France.

Concernant la pluviométrie, c'est le poste météorologique le plus proche du site expérimental qui a été retenu pour l'acquisition des données. L'ETP prise en compte est celle du poste d'ENTZHEIM « aéroport » pour l'ensemble des sites bas-rhinois et de MEYENHEIM « base militaire » pour les sites haut-rhinois.

Le graphique ci-dessous présente les cumuls de précipitations par campagne de mesures (du 1^{er} août au 31 juillet de l'année suivante) pour les postes météo d'Entzheim, à l'extrémité nord du réseau bougies poreuses, Meyenheim, à l'extrémité sud, et Sélestat en situation centrale.

Figure 1 : Cumul de précipitations par campagne (en mm)



On observe sans surprise sur cette figure des variations inter annuelles de hauteurs de précipitations : les 8 années étudiées présentes aussi bien des campagnes très sèches comme en 2003-2004 ou 2005-2006, que des campagnes beaucoup plus humides (2006-2007).

Cependant, la moyenne des précipitations sur l'ensemble de la période d'étude est très proche de la médiane historique de cumuls de pluie pour chacun des postes présentés. Les données

météorologiques utilisées peuvent donc être considérées comme représentatives du climat de la zone d'étude en ce qui concerne les précipitations.

3.2. Les 5 étapes de l'interprétation

a. Evaluation de la réserve utile (RU) et de la réserve facilement utilisable (RFU)

Nous disposons pour chaque site de la description du profil pédologique et de la détermination des humidités caractéristiques de chaque horizon du sol (humidité à la capacité au champ, Hcc, et au point de flétrissement permanent, HpF4,2), ainsi que de la densité apparente, da.

Par définition, $RU = (Hcc - HpF4,2) * da * \text{épaisseur de l'horizon} * (100 - \text{teneur en cailloux})$

On admet généralement que $RFU = 2/3 * RU$. Après analyse conjointe, site par site, des courbes de « production d'eau » dans les prélèvements et de celles du drainage calculé, il est apparu que le drainage calculé avec RFU semblait plus pertinent dans la majorité des cas. C'est pourquoi nous avons conservé, sauf exception, ce niveau comme quantité d'eau « stockable » dans le sol.

b. Détermination des périodes de drainage

Celles-ci sont déterminées par calcul d'un bilan hydrique journalier : tant que la réserve en eau du sol n'est pas pleine, la quantité d'eau qui résulte d'un solde positif entre les apports d'eau et l'évapotranspiration la remplit ; quand la réserve est pleine, ce solde alimente le drainage.

Ce calcul étant itératif, il faut initialiser la donnée. Pour les années suivantes, le niveau initial de la réserve est issu du calcul effectué l'année précédente.

c. Calcul des flux d'eau et de nitrates drainés

Le flux d'eau drainée est obtenu par sommation des drainages journaliers.

Pour calculer la quantité de nitrates perdus, il s'agit d'affecter à chaque flux journalier une teneur en nitrates. Nous avons choisi de retenir la valeur mesurée lors du prélèvement qui suit.

d. Calcul des concentrations moyennes des eaux drainées sur la période

Cette concentration est égale à la quantité totale d'azote perdu divisée par la quantité d'eau perdue ; c'est une moyenne pondérée, par les volumes d'eau, des concentrations en nitrates mesurées.

e. Mise en relation avec les types de sol et les systèmes de cultures

Ce travail est à conduire après plusieurs années de mesures : c'est l'objet de cette synthèse.

3.3. Les données disponibles

Les campagnes de mesure débutent en octobre et s'arrêtent en juin de l'année suivante. Pour un site et une année donnée, cela fournit une série de mesures de la concentration en nitrates de l'eau collectée dans la parcelle : nous disposons actuellement de **182 séries de mesures** analysables recueillies sur les campagnes 2003/04 à 2010/11, les résultats mesurés la 1^{ère} année n'étant pas interprétés, compte tenu des perturbations du sol liées à la pose des bougies poreuses.

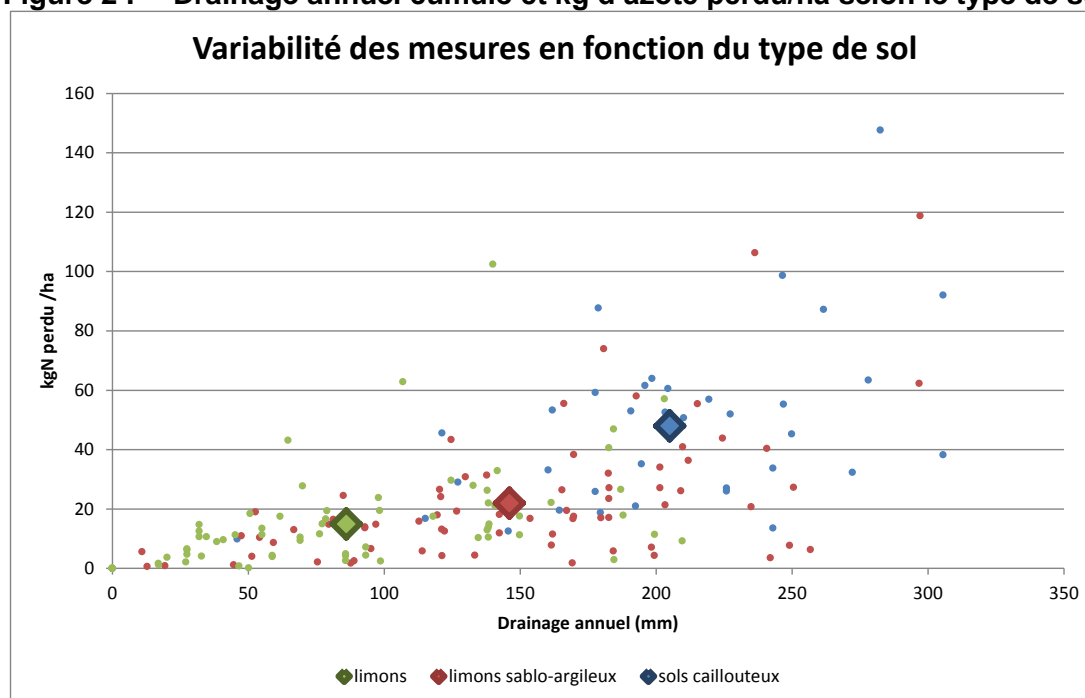
Ces 182 résultats permettent de répondre à quelques questions :

- quand le drainage intervient-il ?
- le sol a-t-il une incidence sur les concentrations mesurées et les pertes d'azote ?
- quel est le rôle de l'occupation du sol ?
- quel est l'impact de l'apport de matières organiques ?
- les CIPAN diminuent-elles les concentrations et les pertes de nitrates ?
- la fertilisation azotée des cultures a-t-elle un impact ?

3.4. La variabilité des résultats

La précédente synthèse pluriannuelle des données issues de l'observatoire des fuites de nitrates, publiée en mars 2008 et traitant 90 situations obtenues entre 2003 et 2007, pointait la variabilité importante des mesures et résultats obtenus et appelait donc à la prudence dans l'interprétation des résultats.

A ce jour, avec le doublement du nombre de situations d'étude (182 cas contre 90 pour la synthèse 2008), il ne semble pas que la variabilité des résultats se soit sensiblement réduite. La figure 2 ci-après présente le drainage annuel et la quantité d'azote perdu pour toutes les situations regroupées par type de sol (points vert pour les sols limoneux, rouge pour les limons argilo-sableux et bleu pour les sols caillouteux) ainsi que la moyenne calculée par type de sol (matérialisé par les losanges). Cette figure illustre bien le fait que les moyennes masquent une grande variabilité des résultats obtenus.

Figure 2 : Drainage annuel cumulé et kg d'azote perdu/ha selon le type de sol

Cependant, la quantité de situations disponibles dans cette étude nous a permis de réaliser confortablement des comparaisons statistiques des moyennes pour la plupart des paramètres analysés.

Le nombre de situations ayant servi à calculer chaque moyenne a donc systématiquement été renseigné et doit permettre d'appréhender la solidité du résultat proposé.

3.5. La lecture des résultats

Les résultats sont exprimés :

- d'une part du point de vue de la qualité de l'eau percolée à travers le sol qui alimente la recharge de la nappe, exprimée en mg/L de nitrates ;
- d'autre part du point de vue de l'azote perdu par le système de culture, exprimé en kg d'azote par ha.

S'il est justifié de juger la performance des systèmes de culture observés vis-à-vis de la qualité de l'eau en se référant au seuil de potabilité de 50 mg/L de nitrates, il faut garder à l'esprit que cette valeur ne constitue pas une limite absolue. En effet, la qualité de la ressource en eau d'un territoire se constitue à partir d'une combinaison de sources d'alimentation : l'eau percolée à travers les sols agricoles cultivés mais aussi sous les prairies et les forêts ou sous les zones urbaines, l'eau des rivières s'infiltrant dans le sous-sol. Ainsi, malgré des dépassements sous une partie des parcelles cultivées, la qualité résultante pour une masse d'eau souterraine peut être satisfaisante du fait d'une forte proportion de surfaces à faible émission de nitrates (prairies extensives, forêts) dans le paysage.

Les valeurs élevées traduisent cependant une maîtrise insuffisante du système de culture, qui va de pair avec des pertes économiques, mieux exprimées au travers des kg d'azote perdus par ha.

La finalité de cet observatoire est de permettre à tous les acteurs concernés d'identifier l'importance des pertes sous les systèmes de culture les plus fréquents de la plaine d'Alsace pour les inciter par des méthodes agronomiques à rechercher des solutions bénéfiques pour l'eau comme pour l'économie agricole.

4. Résultats et interprétation

4.1. Le drainage calculé et sa répartition saisonnière

Sur les 182 résultats, le drainage annuel total varie de 0 à 306 mm (moyenne de 134 mm). La période de drainage est analysée en 2 parties : drainage hivernal jusqu'au 31 mars et drainage printanier du 1^{er} avril au 31 juillet (Figure 3).

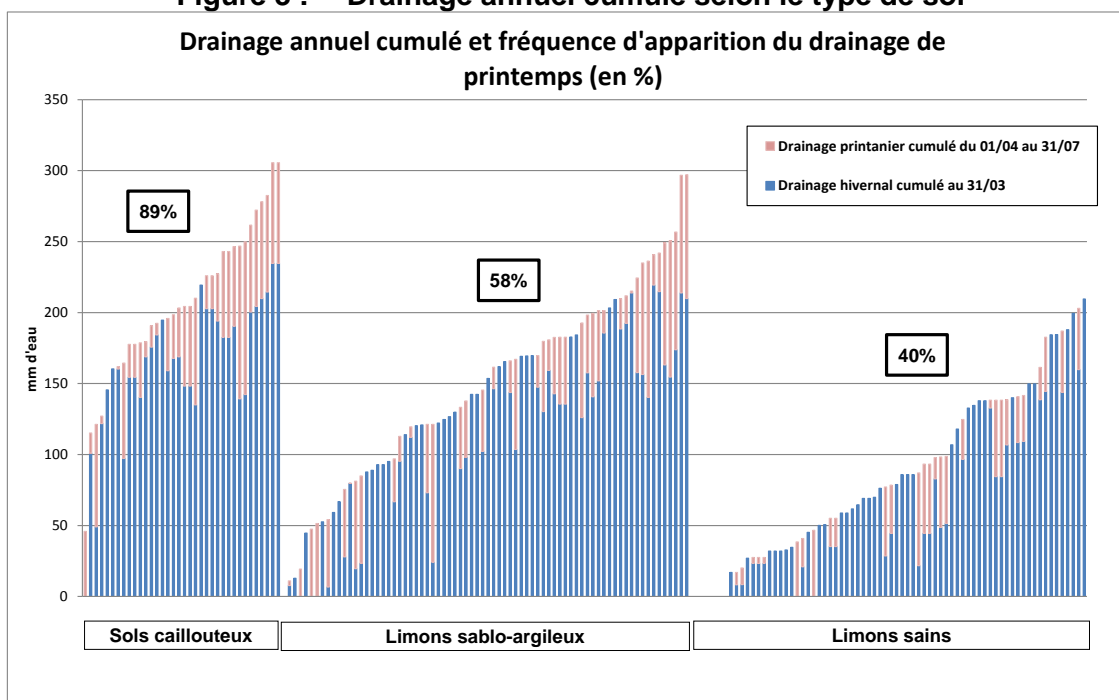
Dans 104 cas sur les 182 analysés, on observe une reprise de drainage au printemps, qui peut aller jusqu'à 108 mm et représenter 100% du drainage total. Lorsqu'il y a drainage de printemps, celui-ci représente en moyenne 33% du drainage total. La fréquence du drainage de printemps est plus élevée en sols caillouteux (89%), qu'en limons sablo-argileux (58%) et qu'en limons (40%).

Pour 80% des situations recensées, le drainage de printemps apparaît avant le 20 mai et s'arrête avant le 10 juin.

Ce drainage printanier est la conséquence directe du climat régional (le mois de mai est statistiquement le mois le plus pluvieux en plaine d'Alsace) et n'est que faiblement lié à la pratique de l'irrigation. En effet, sur les 120 situations irriguées que présente le réseau, 1/3 ne mettent pas en évidence de reprise de drainage au printemps et sur les 79 situations restantes, il n'y a que 8 cas dans lesquels les apports d'eau par irrigation génèrent directement du drainage printanier.

Lorsque la parcelle est en blé, la reprise de drainage au printemps est exceptionnelle.

Figure 3 : Drainage annuel cumulé selon le type de sol



NB : Sur ce graphique, chaque bâton représente 1 site une année : il y a 174 bâtons (8 situations sans drainage majoritairement en limons sains)

Ces résultats confirment que le drainage printanier est une réalité fréquente en plaine d'Alsace.

4.2. Le rôle du sol

Le Tableau 2 regroupe les résultats par type de sol. On observe, sans grande surprise, que le drainage est plus important dans les sols caillouteux. Cela conduit, apparemment logiquement, à

des pertes d'azote plus importantes : 48 kg N/ha en moyenne dans les sols superficiels contre 16 kg N/ha dans les limons.

Tableau 2 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentrations en nitrates par type de sol

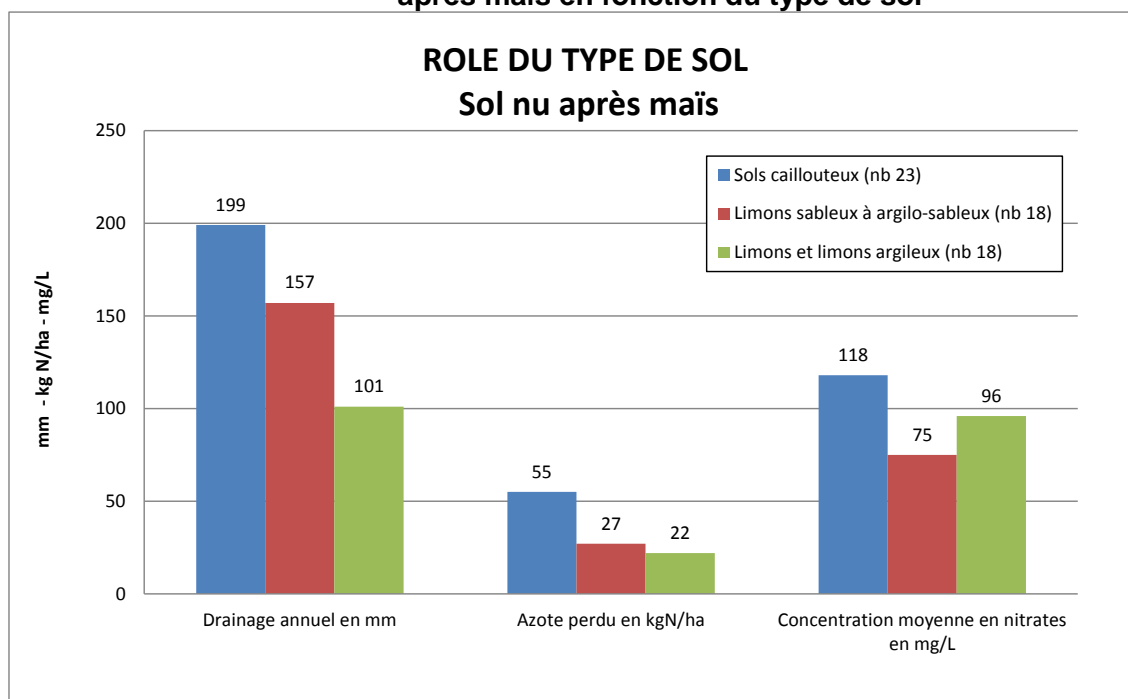
	Sols caillouteux	Limons sablo-argileux	Limons	Tous
Nombre de cas	36	74	72	182
Drainage annuel	205 mm	146 mm	86 mm	134 mm
Quantité d'azote perdu en kg N/ha	48 U	22 U	15 U	24 U
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante	103 mg/L	67 mg/L	84 mg/L	81 mg/L

NB : tous ces chiffres sont significativement différents.

Les concentrations moyennes en nitrates de l'eau qui percole sont elles aussi différentes, 103 mg/L dans les sols caillouteux, 67 mg/L dans les sols intermédiaires et 84 mg/L dans les limons.

Mais comme ces résultats par type de sol sont issus de parcelles sous différentes successions culturales, la figure 4 présente les résultats obtenus pour une même occupation du sol (sol nu après maïs) en fonction du type de sol.

Figure 4: Drainage annuel, azote perdu et concentrations en nitrates mesurés en sol nu après maïs en fonction du type de sol



La figure 4 présente la même hiérarchisation des résultats que précédemment. A occupation du sol équivalente, le type de sol reste un déterminant important des pertes d'azote par lessivage.

4.3. L'occupation du sol

4.3.1 Le rôle du type de culture précédent le sol nu

Dans ce chapitre, nous avons discriminé l'ensemble des situations en fonction de la culture précédent le sol nu en hiver.

Tableau 3 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentrations en nitrates hivernaux selon le précédent du sol nu en hiver

	Après maïs	Après céréales à paille (sans CIPAN)	Après Betteraves sucrières
Nombre de cas	59	9	11
Drainage hivernal	124 mm	97 mm	97 mm
Quantité d'azote perdu en hiver en kg N/ha	27 U	13 U	3 U
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante en hiver	93 mg/L	55 mg/L	18 mg/L

NB : les quantités d'azote perdu et les concentrations en nitrates sont significativement différentes.

Après betteraves sucrières, les pertes d'azote et les concentrations en nitrates de la lame d'eau drainante sont très faibles. Elles sont statistiquement plus élevées en situation de sol nu après céréales et maïs.

4.3.2. Comparaison « sous blé » et « sol nu après maïs »

Nous avons comparé la couverture du sol par le blé en hiver à l'absence de couverture après un maïs.

Tableau 4 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentrations en nitrates hivernaux sous blé et sous sol nu après maïs

	Sous blé	Sol nu après maïs
Nombre de cas	36	59
Drainage hivernal	97 mm	124 mm
Quantité d'azote perdu en hiver en kg N/ha	19 U	27 U
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante en hiver	102 mg/L	93 mg/L

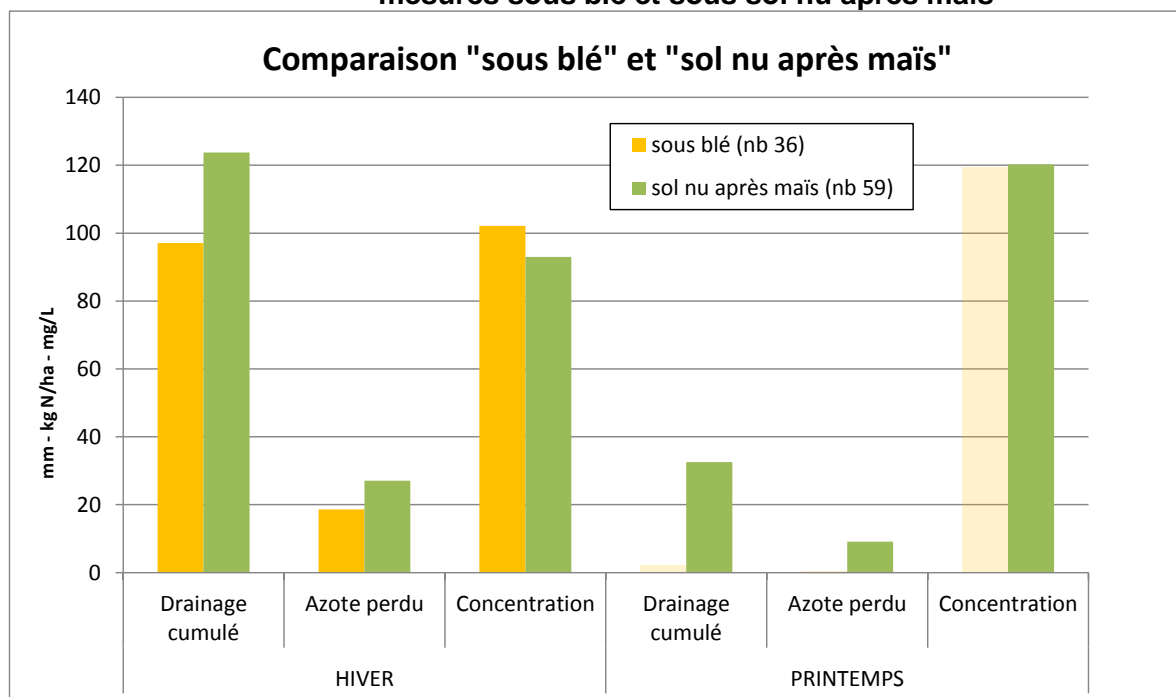
NB : seules les quantités d'azote perdu en hiver sont statistiquement différentes.

La couverture du sol par le blé en hiver ne semble pas avoir d'effet sur les concentrations en nitrates par rapport au sol nu après maïs même si la quantité d'azote perdu est légèrement diminuée. En effet, la consommation en azote du blé à l'automne est faible, généralement inférieure à 10 kg N/ha¹, et largement couverte par la seule minéralisation du sol. Cela ne permet donc pas au blé d'absorber le reliquat d'azote laissé par la culture précédente.

En revanche, au printemps, le blé en pleine croissance consomme l'eau et l'azote présents dans le sol et limite donc le risque de fuites de nitrates (figure 5) : seules 13% des situations sous blé laissent apparaître du drainage au printemps contre 80% des situations en sol nu après maïs.

¹ Gate P. 1995. Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture. ITCF, 429 p.

Figure 5 : Drainage hivernal et printanier, azote perdu et concentrations en nitrates mesurés sous blé et sous sol nu après maïs



La qualité de l'eau produite sous blé en hiver est donc sensiblement identique à celle produite sous sol nu après maïs. En revanche au printemps, les pertes d'eau et d'azote sous blé sont très limitées, et la valeur de concentration relevée n'est pas représentative de l'impact de la culture.

4.3.3. Le rôle des CIPAN

En préambule à l'étude de l'impact de la mise en place de CIPAN sur la qualité de l'eau, il est important de faire le point sur le développement végétatif des cultures intermédiaires qui ont été implantées sur les parcelles de l'observatoire des fuites de nitrates.

Pour les données dont nous disposons, la biomasse aérienne produite par les CIPAN s'échelonne de 0,86 tonnes de matière sèche par hectare à 5,67 t MS/ha, celle-ci est supérieure à 1,5 t MS/ha dans 85% des cas.

La quantité d'azote absorbé par les CIPAN varie de 26 à 228 kg N/ha. Dès lors que la biomasse de la CIPAN est supérieure à 1,5 t MS/ha, la quantité d'azote absorbé est systématiquement supérieure à 50 kg N/ha.

Le tableau 5 présente les résultats en 2 classes : « sol nu après blé » et « CIPAN après blé »

Tableau 5 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentrations en nitrates hivernaux en sol nu après blé ou en présence de CIPAN après blé

	Sol nu après blé	CIPAN après blé
Nombre de cas	9	25
Drainage hivernal	97 mm	107 mm
Quantité d'azote perdu en hiver en kg N/ha	13 U	14 U
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante en hiver	55 mg/L	54 mg/L

NB : les valeurs présentées ne sont pas significativement différentes les unes par rapport aux autres.

Au regard de ces résultats, la mise en place de CIPAN après blé ne semble pas être le facteur unique déterminant de la qualité nitrates de l'eau produite sous les parcelles du réseau.

Ce résultat surprenant est cependant décrit dans une récente synthèse bibliographique réalisée par l'INRA en 2012² : elle montre que l'efficacité des CIPAN est conditionnée par les pratiques de fertilisation des cultures qui les précèdent. Nous testerons cette approche au chapitre 5 de ce rapport.

4.4. Les apports de Matières Organiques

Les matières organiques épandues sur les parcelles de l'observatoire des fuites de nitrates sont de natures diverses : fumier et lisier de bovins, lisier de porcs, compost de déjections animales, compost urbain... Pour étudier l'impact de l'épandage de ces Produits Résiduaux Organiques (PRO) sur les fuites de nitrates, nous avons regroupé l'ensemble des situations disponibles en 2 catégories : les parcelles recevant des PRO au moins une fois tous les 3 ans et les parcelles ne recevant jamais de PRO ou occasionnellement.

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentration en nitrates annuels avec ou sans apports de PRO

	Apport régulier de PRO	Sans PRO ou apport occasionnel
Nombre de cas	58	119
Drainage annuel	124 mm	142 mm
Quantité d'azote perdu en kg N/ha	24 U (27)	25 U (23)
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante	94 mg/L (70)	77 mg/L (48)

NB : les valeurs présentées ne sont pas significativement différentes les unes par rapport aux autres. Les valeurs entre parenthèses représentent l'écart-type des différentes séries de données.

La quantité moyenne d'azote perdu sur l'année est identique quel que soit le régime des épandages organiques. La moyenne des concentrations en nitrates calculée est plus élevée de 17mg/L pour les situations recevant régulièrement des PRO mais n'est pas statistiquement différente de la moyenne calculée pour les parcelles ne recevant pas de PRO, du fait de la grande variabilité des résultats.

De plus, la diversité de la nature des PRO utilisés, de leur gestion en termes de quantités apportées et de dates d'apport, des systèmes de cultures auxquels ils sont associés, rend la conduite d'une analyse plus fine de l'impact des PRO sur la qualité de l'eau extrêmement difficile car le faible nombre de cas devient très rapidement un facteur limitant.

4.5. L'ajustement de la fertilisation azotée

Sur chaque parcelle, nous avons évalué *a posteriori* si la fertilisation azotée minérale apportée par l'agriculteur était ajustée ou en excès par rapport au rendement réellement obtenu. La fertilisation minérale pratiquée est considérée comme ajustée dès lors qu'elle ne dépasse pas de plus de 10 kg N/ha la dose qui aurait été conseillée pour le rendement réalisé.

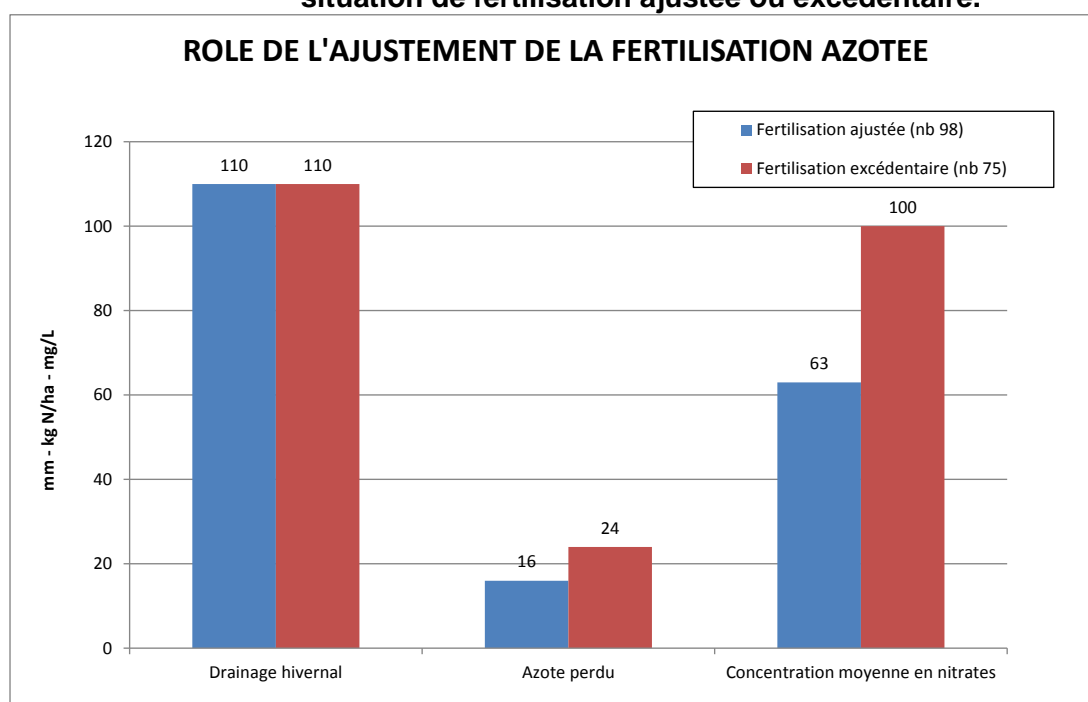
² Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 60 p.

4.5.1. L'ajustement de la fertilisation azotée pour toutes les situations

Nous avons dans un premier temps considéré l'ensemble des situations disponibles, sans distinguer le type de sol ou le type d'occupation du sol (figure 6).

Sur les 173 situations analysables, la fertilisation est considérée comme ajustée dans 57% des cas.

Figure 6 : Drainage, azote perdu et concentration en nitrates hivernaux mesurés en situation de fertilisation ajustée ou excédentaire.



NB : Le drainage hivernal moyen est statistiquement comparable, les quantités d'azote perdu et les concentrations en nitrates mesurées en hiver sont significativement différentes.

Le drainage hivernal étant équivalent pour les 2 séries de données, nous pouvons conclure à l'absence d'un effet « type de sol ».

L'ajustement de la fertilisation minérale azotée permet de réduire la quantité d'azote perdu par lessivage de 8 kg N/ha par rapport à une situation de fertilisation excédentaire. La concentration moyenne en nitrates augmente de 59% (+37 mg/L) lorsque la fertilisation n'est pas ajustée.

4.5.2. L'ajustement de la fertilisation sur maïs

Dans le tableau 7, nous avons étudié le rôle de l'ajustement de la fertilisation appliqué au cas du maïs.

Tableau 7 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentrations en nitrates hivernaux après maïs selon l'ajustement de la fertilisation

	Fertilisation ajustée	Fertilisation excédentaire
Nombre de cas	35	47
Drainage hivernal	128 mm	102 mm
Quantité d'azote perdu en kg N/ha	24 U	25 U
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante	79 mg/L	115 mg/L

NB : les concentrations en nitrates sont significativement différentes alors que drainage et la quantité d'azote perdu ne sont pas statistiquement différents.

Les concentrations en nitrates mesurées en hiver sont significativement réduites de 36 mg/L lorsque la fertilisation du maïs qui précède les mesures est ajustée, même si la quantité d'azote perdu durant l'hiver n'est pas significativement différente, que la fertilisation soit ajustée ou excédentaire.

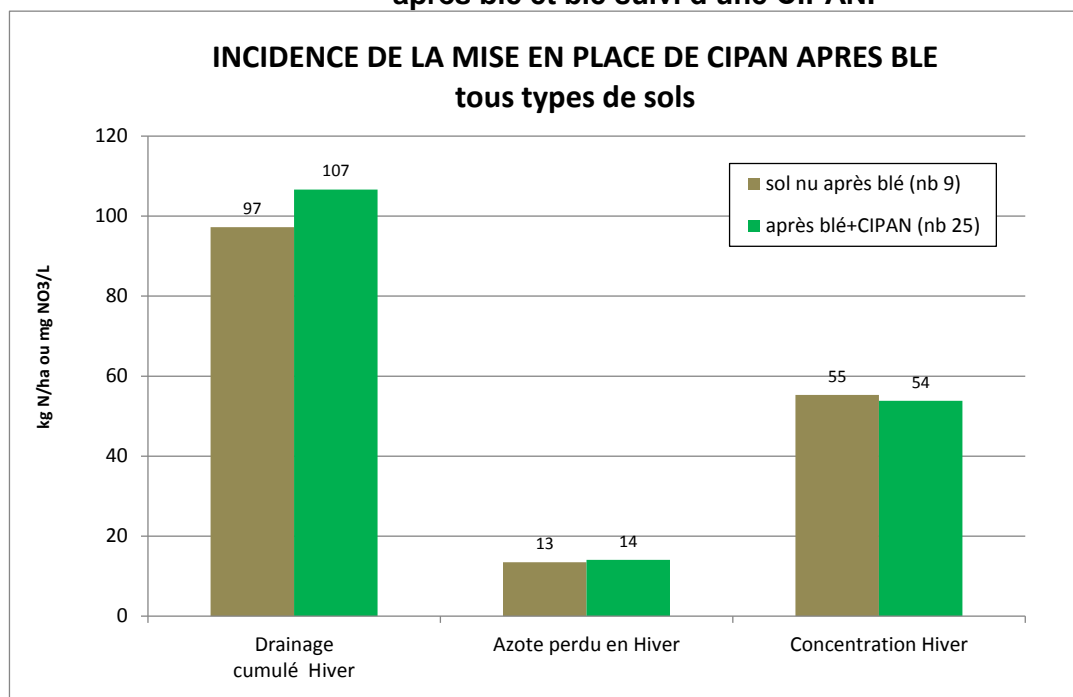
5. Pertes d'azote et concentrations en nitrates : approche multifactorielle et exigence de précision

5.1 Une question multifactorielle

L'analyse des résultats de la qualité des eaux fabriquées sous les parcelles agricoles de l'observatoire des fuites de nitrates et présentés au chapitre précédent nous montre que certains facteurs semblent avoir plus de poids que d'autres sur la quantité d'azote perdu par lessivage et les concentrations en nitrates mesurées. C'est le cas par exemple de l'ajustement de la fertilisation que nous proposons ici de réétudier en lien avec la mise en place de CIPAN après blé, situation que nous avons déjà exposée au paragraphe 4.3.3. (page 11).

La figure 7 ci-dessous nous rappelle les résultats de la qualité de l'eau produite en hiver après blé suivi d'un sol nu et après blé suivi d'une CIPAN.

Figure 7 : Drainage, azote perdu et concentration en nitrates hivernaux mesurés en sol nu après blé et blé suivi d'une CIPAN.



NB : les valeurs présentées ne sont pas significativement différentes les unes par rapport aux autres.

Dans le tableau 8 ci-après, nous ajoutons le facteur « ajustement de la fertilisation » (cf. § 4.5.) en amont de la mise en place ou non de CIPAN après blé.

Tableau 8 : Moyenne des drainages, pertes d'azote et concentration en nitrates hivernaux selon l'ajustement de la fertilisation et l'occupation du sol après blé.

	Fertilisation ajustée		Fertilisation excédentaire	
	Sol nu après blé	CIPAN après blé	Sol nu après blé	CIPAN après blé
Nombre de cas	9	8	0	17
Drainage hivernal	97 mm	125 mm	-	98 mm
Quantité d'azote perdu en kg N/ha	13 U	5 U	-	18 U
Concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante	55 mg/L	17 mg/L	-	77 mg/L

NB : la concentration moyenne en nitrates pour « Fertilisation ajustée + CIPAN après blé » est significativement inférieure aux 2 autres valeurs. Les autres chiffres ne présentent pas de différences significatives entre eux.

Lorsque la fertilisation minérale azotée du blé est ajustée, la mise en place d'une culture intermédiaire piège à nitrates permet de réduire significativement la concentration en nitrates de l'eau qui draine en hiver (-38 mg/L). La quantité d'azote perdu en hiver est également diminuée de 8 kg N/ha mais le résultat n'est pas statistiquement significatif.

Dans le cas d'une fertilisation excédentaire, la qualité de l'eau mesurée sous CIPAN après blé est voisine de celle fabriquée sous sol nu après blé avec une fertilisation ajustée.

La mise en place d'une CIPAN après blé a donc un impact positif sur la qualité de l'eau si elle est accompagnée d'une bonne gestion de la fertilisation azotée minérale de la culture qui la précède.

5.2 Une exigence de précision élevée pour la gestion de l'azote dans les systèmes de cultures annuelles.

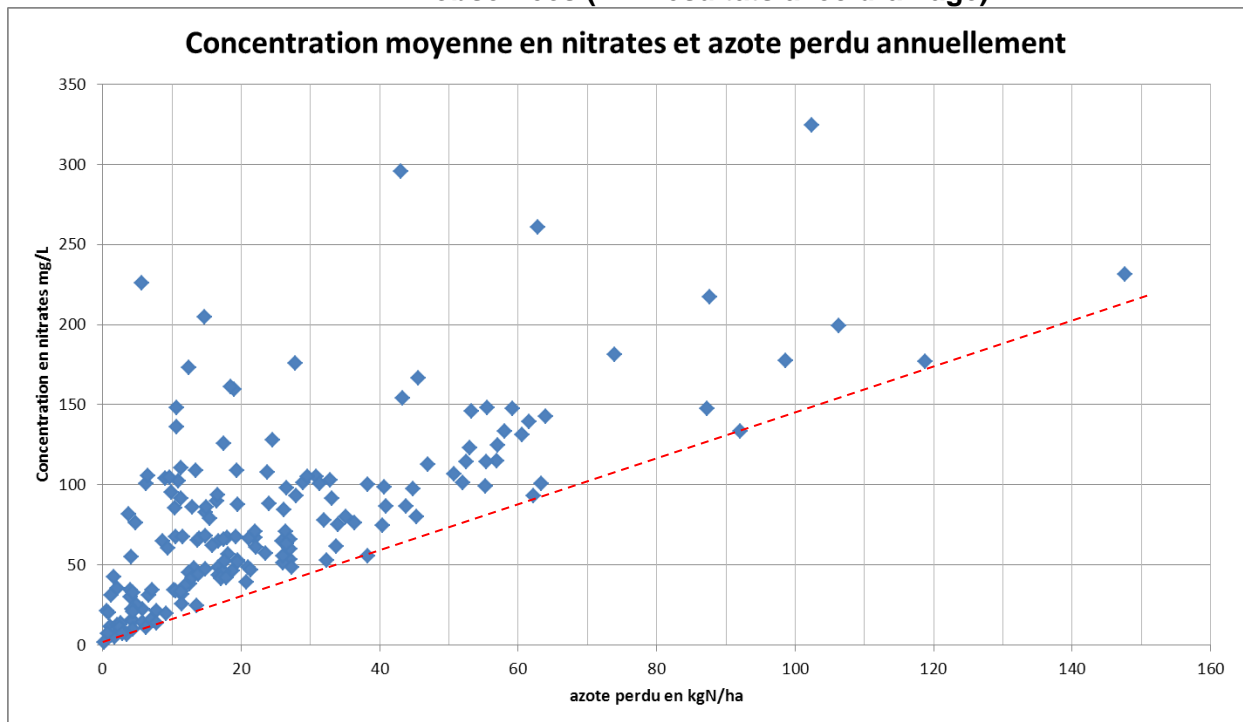
Tout au long de l'analyse des effets des différents facteurs, nous avons restitué des résultats exprimés d'une part en quantité d'azote perdu (en kg N/ha), d'autre part en concentration moyenne en nitrates de l'eau drainante (mg NO₃⁻/L). Même si ces 2 types de données ne constituent pas des variables indépendantes du fait du mode de calcul exposé page 5, la relation entre ces résultats mérite d'être explorée. La figure 8 ci-dessous exprime cette relation.

Elle montre l'importance de la quantité d'azote perdu sous parcelle pour la qualité de l'eau drainante :

- pour une perte d'azote donnée, les valeurs minimales observées pour la qualité de l'eau sont alignées et croissantes (ligne pointillée sur la figure 8) et au-delà de 30 kgN perdu par ha, sous le climat de la plaine d'Alsace, la qualité de l'eau dépasse systématiquement les 50 mg NO₃⁻/L ;
- pour les faibles valeurs de perte d'azote, on peut observer des qualités d'eau parfois fortement dégradées.

Ce double constat souligne l'exigence de précision attendue concernant la gestion de l'azote dans les systèmes de cultures annuelles : l'ordre de grandeur de la précision requise pour minimiser les pertes est la dizaine de kilos d'azote à l'hectare. Devant cette exigence de précision, la responsabilité de l'agriculteur ne peut cependant pas être totale : des accidents de culture liés aux aléas climatiques et susceptibles d'entraîner une sous consommation d'azote peuvent directement conduire à dépasser cette exigence de précision.

Figure 8 : Azote perdu et qualité de l'eau observée sous parcelles, toutes situations observées (174 résultats avec drainage)



7. Synthèse et conclusion

L'observatoire des pertes de nitrates sous parcelles agricoles en cultures annuelles mis en place en 2002 a permis d'acquérir des données sur les principaux types de sols et successions de cultures de la plaine d'Alsace.

L'analyse de 182 courbes issues de 8 campagnes successives a permis de faire le point sur différents facteurs.

⇒ le climat

En plaine d'Alsace, le drainage printanier (postérieur au 31 mars) est une réalité : on l'observe dans 57% des situations et il est d'autant plus fréquent que le sol est plus filtrant. Il est constaté même dans les sols les plus profonds.

⇒ les sols

Les concentrations en nitrates de l'eau qui percole sont significativement plus élevées dans les sols caillouteux. Cela n'est pas lié aux systèmes de culture puisque cela est vrai aussi à système de cultures égal.

⇒ les lames d'eau drainante

Les lames d'eau drainantes calculées sont en relation directe avec les types de sol. Elles dépassent rarement les 250 mm et seulement pour les sols les plus superficiels. Elles peuvent être nulles certaines années dans les sols les plus profonds.

⇒ les cultures

Les quantités d'azote perdu et les concentrations en nitrates sont plus élevées en sol nu après maïs qu'après blé et betteraves.

En hiver, les concentrations en nitrates sont du même ordre de grandeur sous blé et sous sol nu après maïs (90 à 100 mg/L en moyenne). Par contre, au printemps, le drainage, et donc les pertes d'azote, est exceptionnel sous blé alors qu'il est fréquent sous culture de printemps.

La mise en place de CIPAN après blé réduit les pertes d'azote de 8 kg N/ha et la concentration en nitrates de l'eau qui draine de plus de 30 mg/L si elle est accompagnée d'une bonne gestion de la fertilisation azotée minérale.

⇒ les Produits Résiduels Organiques

L'utilisation de PRO au moins une fois tous les 3 ans ne semble pas dégrader la qualité moyenne de l'eau, il restera cependant à évaluer l'impact de cette pratique sur les mesures qui suivent directement l'épandage en tenant compte du type de produit utilisé, de la période d'apport et de l'ajustement de la fertilisation minérale.

⇒ l'ajustement de la dose d'engrais azoté minéral

Lorsque la fertilisation minérale azotée est ajustée, les pertes en azote et les concentrations en nitrates de l'eau qui draine sont plus faibles. L'ajustement de la fertilisation azotée reste donc un levier d'action important même si sa mise en œuvre peut s'avérer délicate. Dans notre étude, l'ajustement est évalué a posteriori.

⇒ La sensibilité de la qualité des eaux à de faibles pertes en azote

Au-delà de 30 kg d'azote perdu par hectare, la qualité de l'eau percolée est toujours supérieure à 50 mg NO₃⁻/L. Mais cette valeur peut parfois être dépassée pour des pertes comprises entre 10 et 30 kg N/ha. Ce constat souligne l'exigence de précision nécessaire pour maîtriser les pertes de nitrates sous les systèmes de cultures annuelles.

⇒ la complexité de l'analyse !

L'analyse des résultats facteur par facteur permet de mettre en avant ceux qui semblent avoir le plus de poids dans l'élaboration de qualité nitrates de l'eau qui draine. Cependant, ce type d'approche ne permet pas de hiérarchiser clairement les facteurs explicatifs des quantités d'azote perdu et des concentrations en nitrates mesurées.

En effet, la variabilité importante des mesures et le relativement faible effectif de certaines situations d'étude, limitent la puissance des analyses statistiques factorielles classiques. Par ailleurs, compte tenu de la dimension multifactorielle des déterminants des pertes de nitrates sous une parcelle agricole, il n'est pas forcément pertinent de chercher à approfondir ce mode d'analyse.

Ainsi, pour aller plus loin dans l'exploitation des résultats de l'observatoire des fuites de nitrates, en particulier en vue de prédire les situations à risque, 2 pistes peuvent être suivies :

- l'utilisation d'outils statistiques plus élaborés permettant d'identifier clairement les facteurs explicatifs de la qualité de l'eau et de les hiérarchiser, dans la continuité du travail réalisé dans le cadre d'un projet professionnel mené par un groupe d'étudiants de l'ENITA Bordeaux sur les données acquises entre 2003 et 2007.
- l'utilisation des données de l'observatoire pour paramétrer localement des modèles de simulations de pertes d'azote et permettre à terme la prédiction des fuites de nitrates par systèmes de cultures : cette approche est actuellement explorée par l'ARAA avec la prise en main du logiciel Syst'N , développé dans le cadre du projet Azosystem piloté par l'INRA et supporté par le RMT Fertilisation et Environnement (<http://www.rmt-fertilisationetenvironnement.org>).