

Observatoire des reliquats azotés de Seine-Maritime

Analyse des résultats de reliquats entrée et sortie hiver Estimation de la teneur en nitrates de la lame drainante

Campagne 2015-2016

Bassins d'Alimentation de Captage suivis :

- Blainville-Crevon / Fontaine-sous-Préaux
- Fécamp / Fauville / Valmont
- Guibermesnil / Tronchoy
- Héricourt-en-Caux
- Saint Martin du Bec



Juin 2016

Introduction

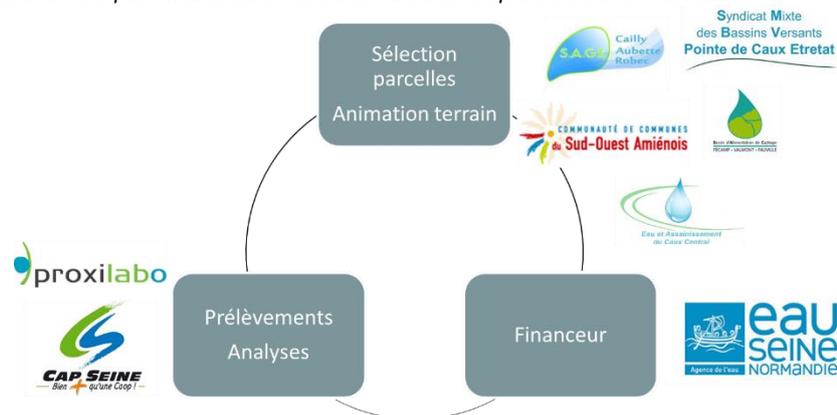
Sur le département de la Seine-Maritime, 31 captages actifs sont déclassés par les nitrates. Des programmes d'actions agricoles sont mis en place sur les Bassins d'Alimentation de Captage prioritaires (BAC) mais il reste difficile d'évaluer l'impact des pratiques agricoles à partir des données de qualité de l'eau. C'est pourquoi depuis 4 ans, l'Agence de l'Eau Seine Normandie met en place un observatoire des reliquats azotés sur plusieurs BACs de Seine-Maritime.

Ce rapport fait la synthèse et l'analyse des résultats de la 4^{ème} campagne de reliquats azotés sur 5 BACs. Financé par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, cet observatoire départemental des reliquats d'azote a plusieurs objectifs :

- Suivre pluri annuellement l'évolution des reliquats « entrée et sortie d'hiver » sur les parcelles engagées
- Evaluer les quantités de nitrates entraînées dans la lame drainante pendant l'hiver
- Identifier les pratiques à risques de lessivage et sensibiliser les agriculteurs des territoires concernés
- Suivre dans le temps les effets des programmes d'actions des bassins d'alimentation de captages sur la qualité de l'eau potable

Les hypothèses de travail et les résultats ont été discutés au sein d'un comité technique. Ce dernier est constitué des animateurs et animatrices BACs, des responsables techniques du dossier au sein de l'AESN, de Proxilabo et de Cap Seine. L'ESITPA a également été associée aux discussions pour valider scientifiquement les hypothèses retenues ainsi que les résultats.

Figure 1 : Rôle de chacun des partenaires dans l'observatoire des reliquats de Seine-Maritime



La première partie de ce rapport porte sur le contexte de l'étude avec la description des territoires suivis et des mesures réalisées. Une interprétation des résultats de reliquats entrée et sortie hiver en fonction des pratiques culturales est ensuite présentée. Ces résultats seront dans une 3^{ème} partie intégrés au modèle de Burns pour estimer le lessivage hivernal sur chacune des parcelles. Enfin, un focus pluriannuel sur le BAC d'Héricourt-en-Caux ainsi que sur les parcelles fixes sera réalisé.

Table des matières

Introduction	1
1. Contexte de l'étude	3
➤ Les territoires suivis.....	3
• Assolement.....	4
• Pédologie.....	5
➤ Les mesures réalisées.....	5
➤ Les dates de prélèvements.....	6
➤ Les informations collectées par les animateurs.....	7
2. Analyse des REH et RSH	8
➤ Conditions météo de la campagne 2015-2016.....	8
➤ La représentation graphique des résultats et la base de données.....	9
➤ Résultats 2015-2016.....	10
➤ Comparaison avec les données des campagnes précédentes.....	11
➤ Influence de la succession culturale.....	11
➤ Influence des apports organiques.....	13
➤ Influence des couverts d'interculture.....	14
➤ Effet d'une ancienne prairie.....	16
➤ Influence des résidus de récolte.....	16
3. Lessivage de l'azote et estimation de la teneur en nitrates de lame drainante par le modèle de Burns	18
➤ Le modèle de Burns : paramétrage et méthode de calcul.....	18
• Pluie drainante.....	18
• Hypothèses retenues pour le calcul de la pluie drainante.....	18
• Estimation du lessivage.....	19
• Quantité d'azote lessivé.....	20
• Estimation de la concentration en nitrates de la lame drainante.....	20
➤ Effet de la pluie drainante sur la concentration sous-racinaire.....	20
➤ Résultats du modèle de Burns.....	21
4. Analyse des résultats pluriannuels du BAC d'Héricourt-en-Caux	24
5. Résultats sur les parcelles fixes	25
Conclusion et perspectives	26
Annexes	27

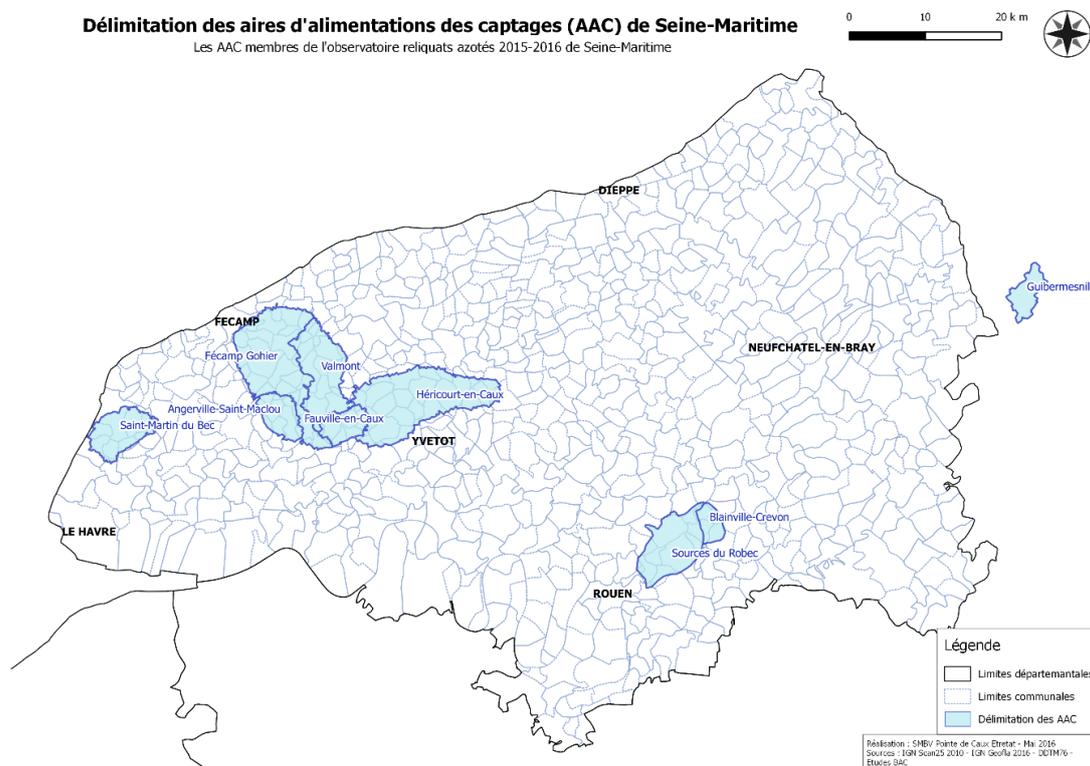
1. Contexte de l'étude

➤ Les territoires suivis

Pour la campagne 2015-2016, l'observatoire sur la Seine-Maritime concerne 5 BACs :

- Fécamp / Fauville / Valmont
- Guibermesnil-Tronchoy (80)
- Blainville-Crevon / Fontaine-sous-Préaux
- Héricourt-en-Caux
- Saint Martin Du Bec

Figure 2 : Carte des bassins de captages étudiés dans le cadre de l'observatoire des reliquats de Seine-Maritime



385 parcelles sont suivies sur ces 5 BACs.

BAC	Nombre de parcelles suivies
Blainville-Crevon / Fontaine-sous-Préaux	67
Fécamp / Fauville / Valmont	130
Guibermesnil-Tronchoy	12
Héricourt-en-Caux	104
St Martin du Bec	72
Total	385

Tableau 1 : Nombre de parcelles suivies par BAC

L'historique du nombre de parcelles suivies dans le cadre de l'observatoire depuis 2012 est repris en annexe 1.

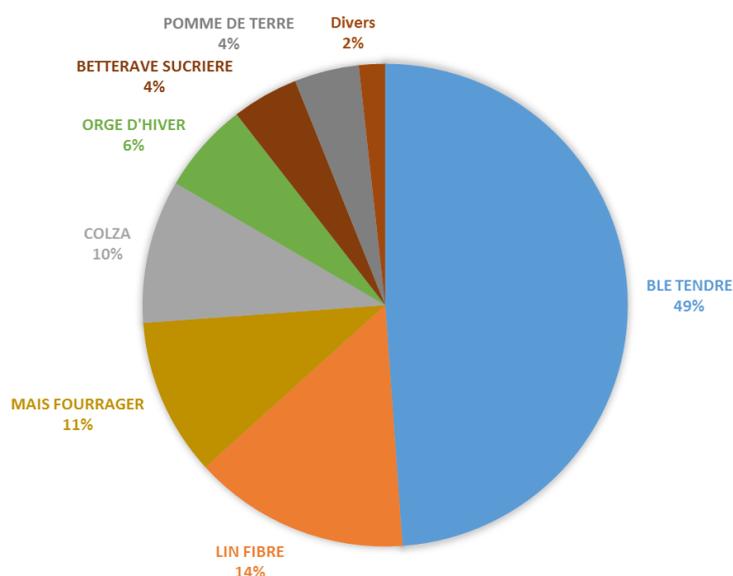
Le nombre de parcelles varie selon les BACs et il conviendra d’être vigilant dans la comparaison par territoire notamment pour le BAC de Guibermesnil-Tronchoy où l’effectif de 12 parcelles est peu significatif.

De plus, la diversité des sols, des successions culturales, des pratiques agricoles conduit pour certaines modalités à des effectifs faibles, sur lesquels il faudra donc être vigilant dans l’interprétation.

- Assolement

Les parcelles ont été choisies pour être représentatives de l’occupation des sols de chaque BAC.

Figure 3 : Répartition des surfaces par culture sur l’observatoire 2015-2016



Dans les cultures en place, on retrouve une majorité de cultures d’hiver (colza, blé, orge) avec 65% des surfaces emblavées.

Succession	Effectif 2014-2015	Effectif 2015-2016	Evolution
Céréales --> Colza	42	33	-21%
Céréales --> Céréales	29	25	-14%
Colza --> Céréales	49	37	-24%
Lin --> Céréales	45	39	-13%
Pommes de terre --> Céréales	25	29	+16%
Maïs --> Céréales	52	43	-17%
Protéagineux --> Céréales	10	19	+90%
Betteraves --> Céréales	24	17	-29%
Céréales --> CIPAN --> Culture de printemps	70	104	+49%

Tableau 2 : Les successions culturales sur l’observatoire (nombre de parcelles suivies). Comparatif 2014-2015 et 2015-2016

Parmi les successions culturales en place sur l’observatoire, on retrouve 44% des surfaces en précédents céréales, 38% en précédents cultures de printemps et 12% en colza. Un certain nombre de successions n’ont pas été reprises dans le tableau ci-dessus, le nombre de parcelles concernées étant trop faibles (effectifs < 10 parcelles).

En comparaison avec la campagne 2014-2015, plus de parcelles ont été emblavées en cultures de printemps cette année, au détriment du nombre de parcelles en blé. Ceci peut être dû à l'évolution des rotations dans le temps ou au choix des parcelles à la base réalisé par les animateurs.

- Pédologie

Sur les 375 parcelles suivies dans l'observatoire, la majorité des sols sont des limons profonds (86%).

Les caractéristiques plus détaillées des sols seront présentées dans la suite de l'étude lors de l'estimation du lessivage de l'azote.

Sol	Nombre de parcelles	Proportion
Limon profond	322	86%
Limon sur argile à silex	15	4%
Limon sur argile	4	1%
Limon caillouteux	17	4.5%
Limon sableux côtier	17	4.5%

Tableau 3 : Les différents types de sol rencontrés sur l'observatoire

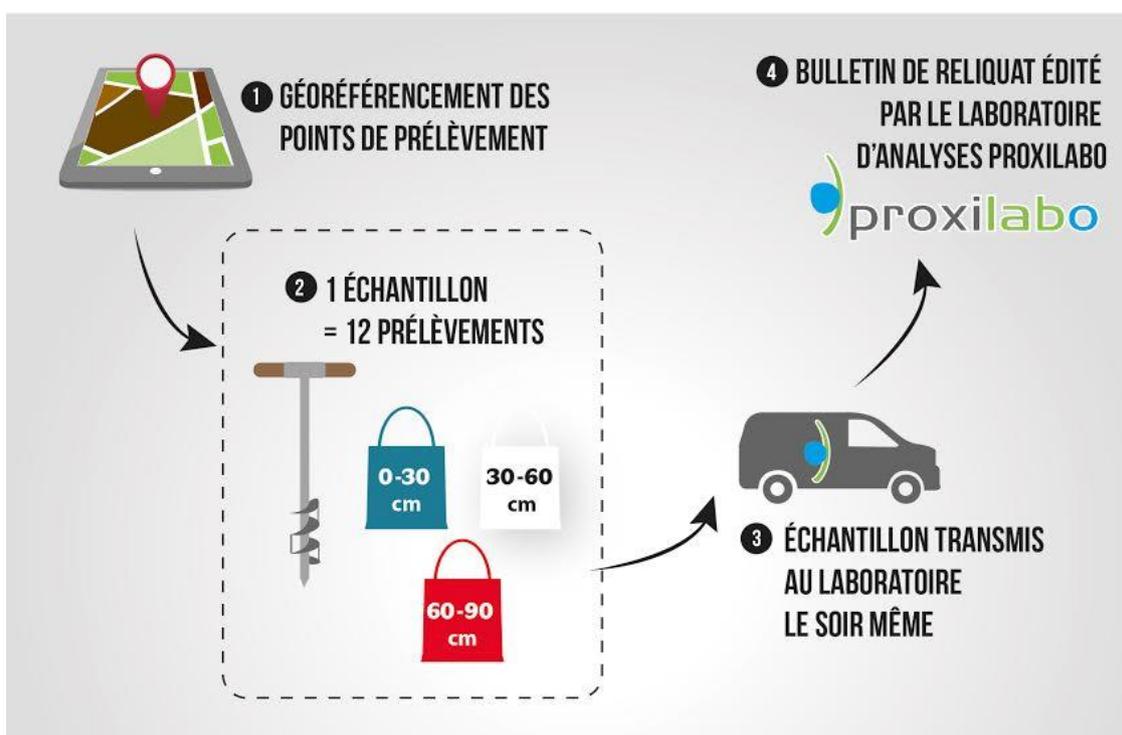
➤ Les mesures réalisées

Sur chacune des 385 parcelles, 2 analyses de reliquats azotés sont effectuées, l'une en entrée hiver (REH) et l'autre en sortie hiver (RSH). Les prélèvements sont effectués sur 3 horizons, c'est-à-dire jusqu'à 90 cm lorsque le sol le permet.

Chacun des points de prélèvement est géoréférencé afin d'être positionné au même endroit dans la comparaison entre le REH et RSH. Un prélèvement correspond à 12 carottages élémentaires autour du point géoréférencé. Les 3 horizons du sol (0-30cm, 30-60 cm et 60-90 cm) sont répartis dans 3 sacs. L'échantillon est ensuite transmis au laboratoire d'analyse sous 24 heures. Pour le RSH, un bulletin de conseil est envoyé sous 10 jours ouvrés à l'agriculteur. Les agriculteurs n'ayant pas renseigné avoir de conseil sur la fertilisation azotée reçoivent un conseil intégrant un calcul de dose d'azote selon la méthode du bilan COMIFER édité par le laboratoire ; ceux ayant déjà un conseil reçoivent le bulletin avec le résultat de RSH sans conseil azoté.

Le laboratoire d'analyse travaille sur les échantillons frais (et non pas congelés). L'incertitude liée aux analyses au laboratoire est de 3-4 kg d'azote par niveau, soit environ 10 unités d'azote au total. Ainsi, des résultats qui diffèrent de moins de 10 kg d'azote par hectare ne peuvent pas être considérés comme significativement différents.

Figure 4 : Schéma de prélèvement sur les 385 parcelles suivies



Un reliquat azoté est une mesure en laboratoire de la quantité d'azote minéral disponible dans le sol à un moment donné. L'azote contenu dans l'échantillon est analysé sous 2 formes : ammoniacale (NH_4^+) et nitrique (NO_3^-).

Le calcul du reliquat azoté est réalisé en s'appuyant sur la méthode retenue par le GREN Haut-Normand (Groupe Régional d'Expertise Nitrates). Si l'azote sous forme nitrique est bien pris en compte dans les 3 premiers horizons (0-90cm), l'azote ammoniacal est en revanche pris en compte uniquement sur le premier horizon (0-30cm), épaisseur représentant la zone d'activité microbologique. Au-delà de cette zone, l'ammonification par les bactéries nitrifiantes est très faible et l'assimilation de l'ammoniac est minime. La mesure de l'azote ammoniacal sur les échantillons de terre frais doit être relativement faible (au maximum quelques unités). C'est un indicateur de reprise de la minéralisation, et donc de fiabilité des échantillons.

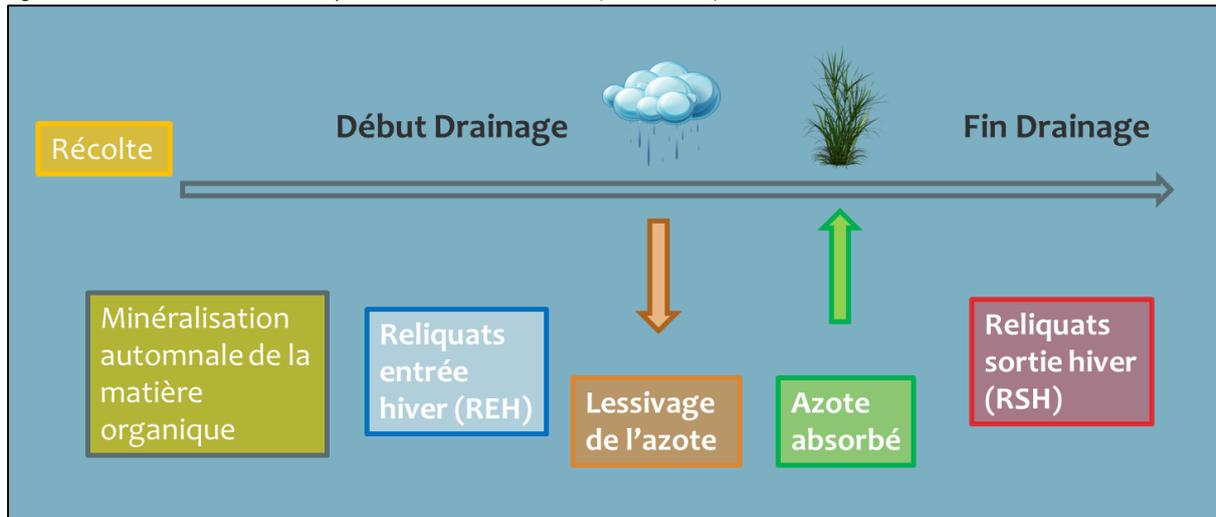
➤ Les dates de prélèvements

Les prélèvements sont réalisés sur chaque territoire sur une période courte (maximum 8 jours entre la première et la dernière parcelle prélevée). Il n'y a donc pas de biais de valeur de reliquat lié à la météo, permettant une cohérence dans l'analyse entre les échantillons.

Dates de prélèvements	REH	RSH
Blainville-Crevon / Fontaine sous Préaux	04/11 au 06/11	09/02 au 12/02
Fécamp / Fauville / Valmont	06/11 au 12/11	03/02 au 05/02
Guibermesnil-Tronchoy	26/11	10/02 et 17/02
Héricourt-en-Caux	10/11 au 12/11	05/02
Saint Martin du Bec	06/11	03/02

Tableau 4 : Dates des prélèvements des reliquats entrée et sortie hiver

Figure 5 : Positionnement des reliquats entrée et sortie hiver (REH et RSH)



Le REH est positionné en novembre avant la période de drainage hivernal et le RSH est positionné en février à la fin de période de drainage. Le REH permet de faire état de l'azote présent dans le sol avant les périodes de pluie. Le RSH permet de quantifier le stock d'azote disponible après la période de lessivage hivernal.

Entre ces deux dates, la minéralisation de l'azote du sol se poursuit, l'absorption d'azote par la culture en place également, et une partie de l'azote pourra être lessivée. Nous modéliserons dans la suite de l'étude cette fraction lessivée grâce au modèle de Burns.

➤ Les informations collectées par les animateurs

Sur chacun des BAC, des informations parcellaires ont été collectées par les animateurs de chaque territoire auprès des agriculteurs sur la parcelle, les pratiques organiques de l'agriculteur, l'itinéraire technique du précédent, la gestion de l'interculture et l'itinéraire technique de la culture en cours.

Le détail des informations collectées est présenté en annexe 2.

2. Analyse des REH et RSH

➤ Conditions météo de la campagne 2015-2016

Les données météo utilisées ci-dessous proviennent de la station de Rouen-Boos, entre juillet 2015 et mars 2016.

Après un automne peu pluvieux (octobre et décembre en dessous des normales 1961-1990), l'hiver 2016 a été particulièrement humide (+ 45 à 50% de pluviométrie en janvier et février comparé aux normales).

Par ailleurs, à partir du mois de novembre, les températures ont été beaucoup plus douces que les normales. Il n'y a donc pas eu d'arrêt végétatif des cultures en place (céréales et colza).

Figure 6 : Précipitations mensuelles - Station Météo France de Rouen Boos

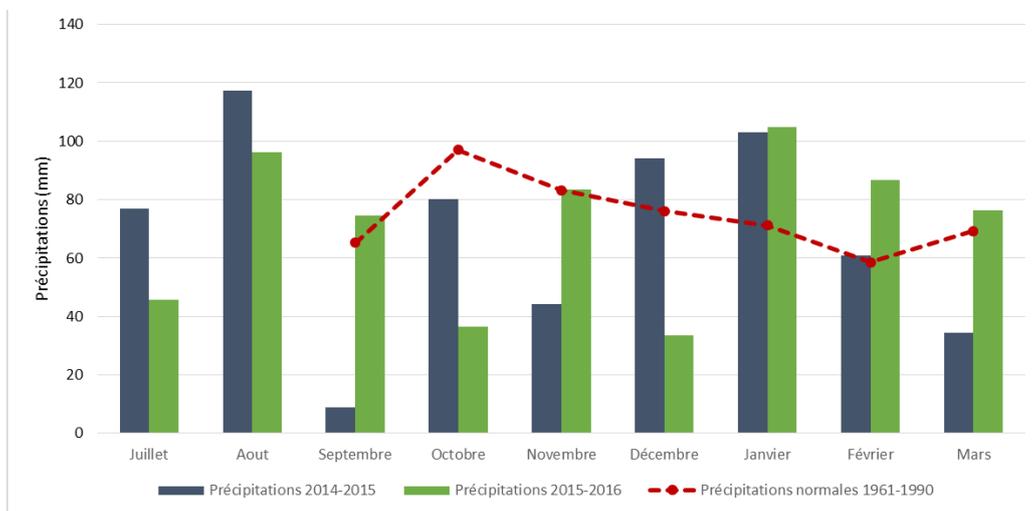
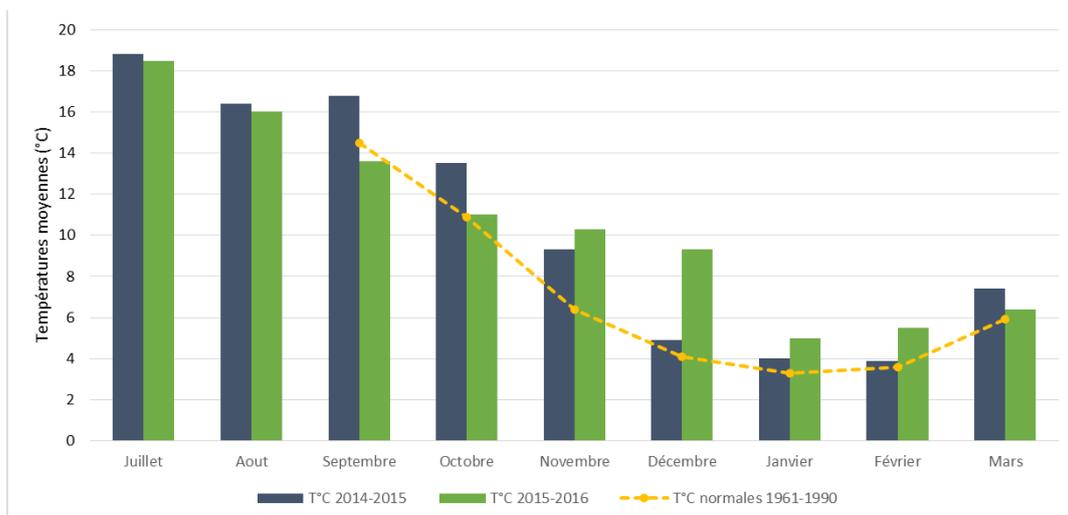


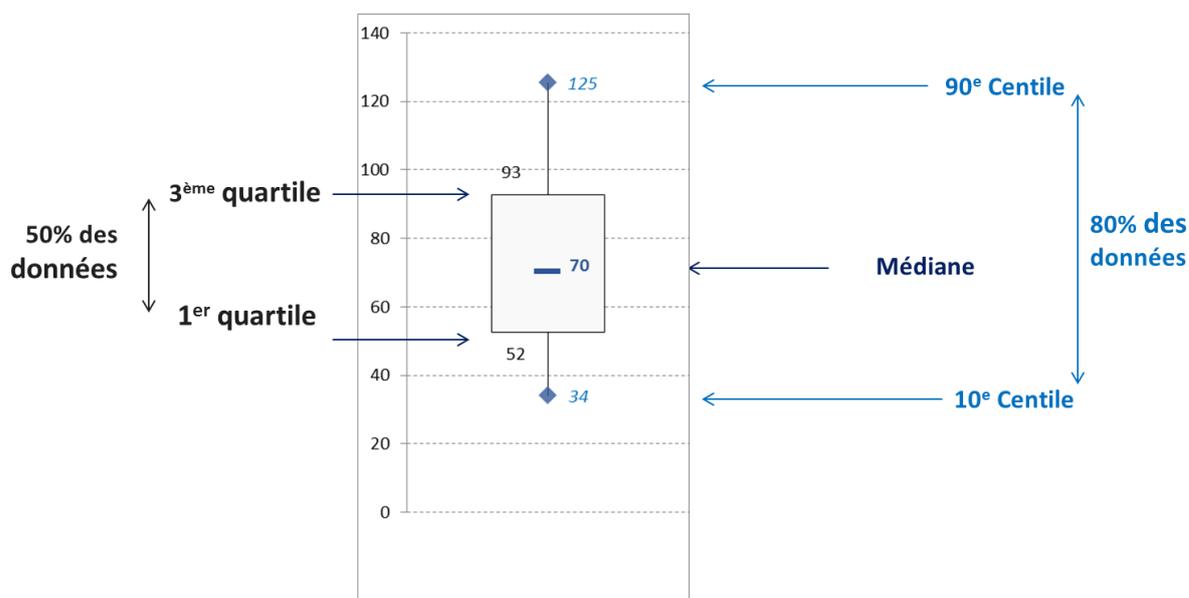
Figure 7 : Températures moyennes mensuelles - Station Météo France de Rouen-Boos



➤ La représentation graphique des résultats et la base de données

Une partie des résultats présentés par la suite seront sous forme de boxplots qui permettent de visualiser la répartition des données. La figure ci-dessous explique la représentation de nos boxplots. Pour plus de lisibilité sur les graphiques, les extrêmes (minimum et maximum) ont été ôtés de la représentation. Par ailleurs, les modalités dont les effectifs sont inférieurs à 10 parcelles ne seront pas étudiées par la suite.

Figure 8 : Interprétation d'un boxplot



L'analyse de la base de données avec 385 parcelles nous a conduits à supprimer de l'analyse 10 parcelles pour les motifs suivants :

- 1 parcelle sur laquelle un doute sur la culture en place subsistait ;
- 4 parcelles implantées avec du colza associé, non représentatives des pratiques culturales sur le reste de l'observatoire et étudiés par ailleurs au sein des BACs à titre expérimental ;
- 3 parcelles avec un taux de $\text{NH}_4 > 20 \text{ UN}$; comme indiqué page 6, la teneur en N-NH_4 étant révélatrice de la fiabilité de l'échantillon, ces parcelles ont été supprimées de l'analyse ;
- 1 parcelle ayant reçu de l'azote minéral à l'automne ;
- 1 parcelle en précédent prairie.

Dans la suite de l'étude, l'effectif total est donc de 375 parcelles.

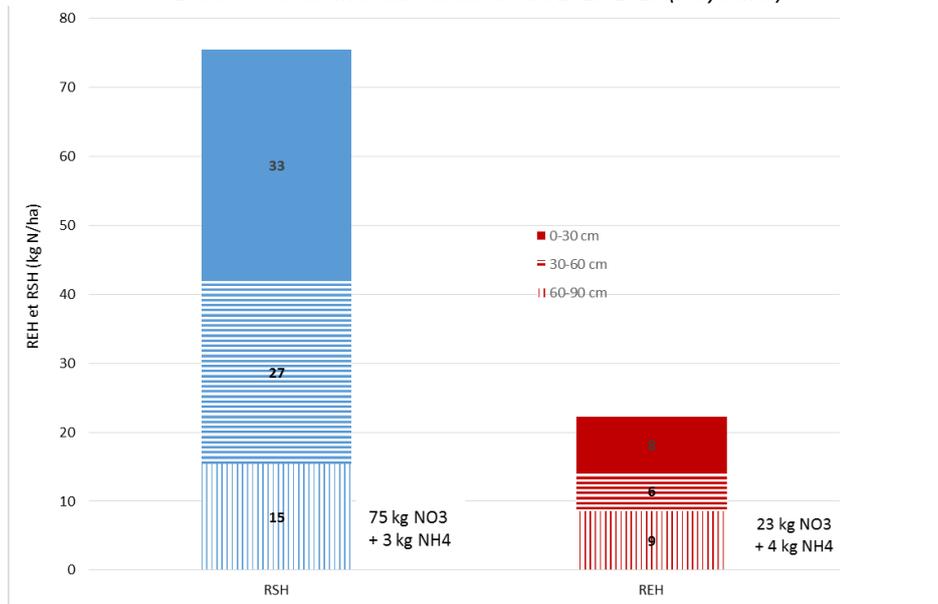
➤ Résultats 2015-2016

Les valeurs moyennes sur les 375 parcelles suivies sont :

En entrée hiver : $33 + 27 + 15 = 75 \text{ kg N-NO}_3 + 3 \text{ kg N-NH}_4 \rightarrow 78 \text{ kg N/ha}$

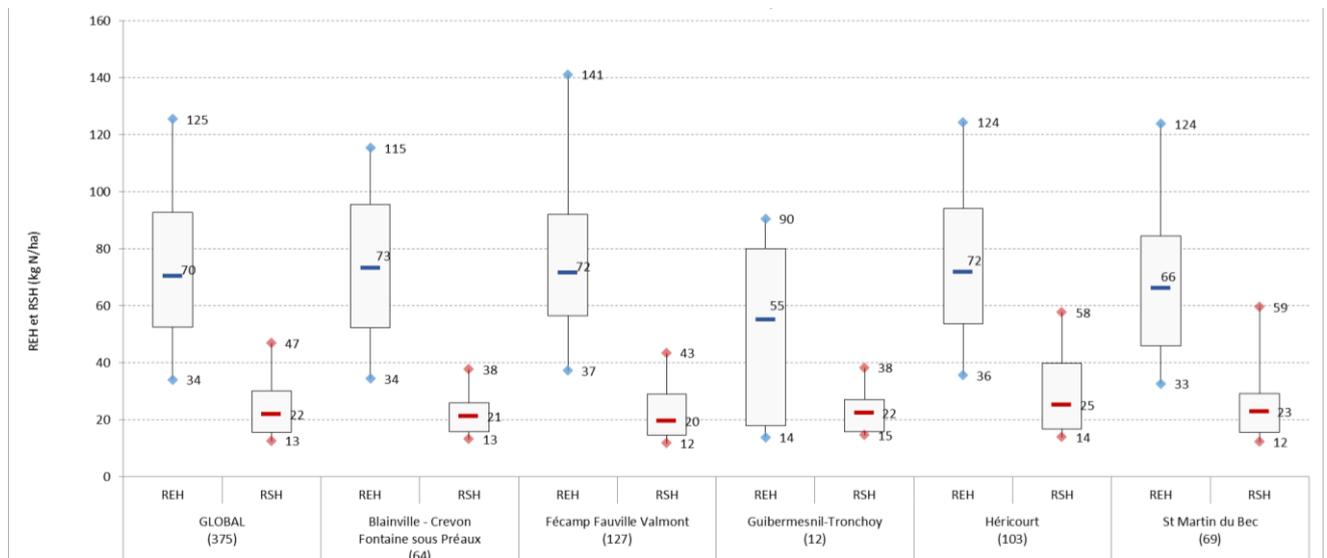
En sortie hiver : $8 + 6 + 9 = 23 \text{ kg N-NO}_3 + 4 \text{ kg N-NH}_4 \rightarrow 27 \text{ kg N/ha}$

Figure 9 : Répartition de la teneur en azote nitrique par horizon
Entrée et sortie hiver sur l'observatoire 2015-2016 (moyennes)



Si l'on regarde les valeurs des REH et RSH par territoire, on observe peu de variabilité entre les différents bassins de captage. Les REH ont des valeurs médianes autour de 70 kg N/ha. En sortie d'hiver, les RSH sont proches de 20 kg N/ha. Seul le BAC de Guibermesnil-Tronchoy a des REH plus faibles (-15 kg N/ha que la médiane globale). Attention toutefois à l'interprétation des résultats sur ce territoire sur lequel il n'y a que 12 parcelles suivies.

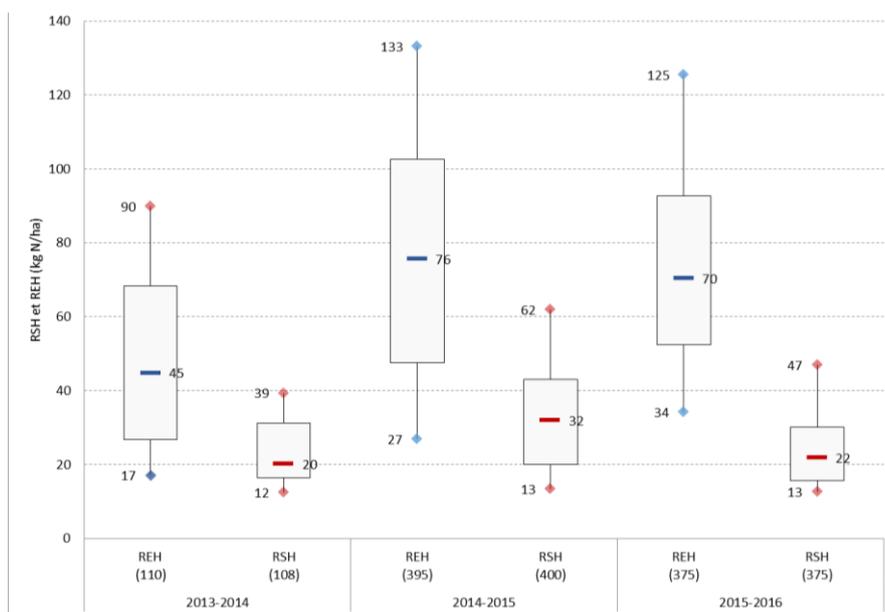
Figure 10 : REH et RSH 2015-2016 par BAC



➤ Comparaison avec les données des campagnes précédentes

Le REH 2015-2016 est relativement élevé cette année. Les valeurs médianes sont similaires à celles de la campagne passée. La campagne 2013-2014 présentait des REH médians beaucoup plus faibles : -25 kg N/ha en comparaison avec cette année. Les RSH diffèrent par contre très peu d'une campagne sur l'autre.

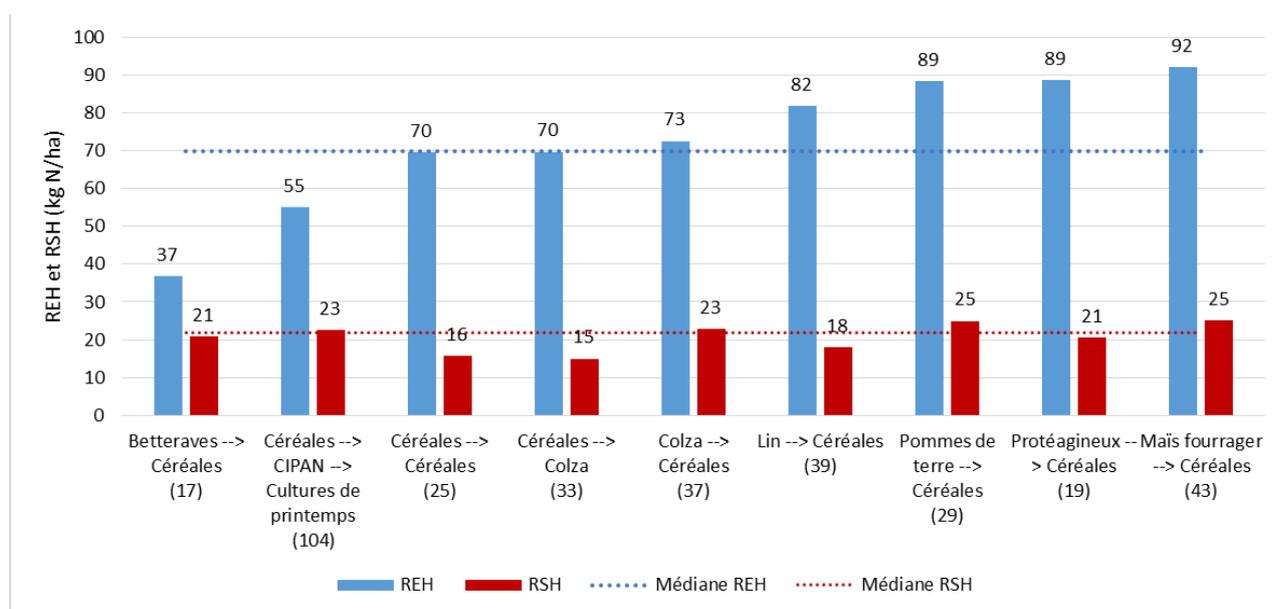
Figure 11 : Répartition des REH et RSH sur les 3 campagnes de l'observatoire



➤ Influence de la succession culturale

Les successions culturales sont nommées de la façon suivante : précédent → culture en place. Par exemple, céréales → colza se lit : céréale récoltée été 2015 et colza semé en septembre 2015.

Figure 12 : Médianes des REH et RSH 2015-2016 en fonction de la succession culturale



On peut distinguer 3 types de successions culturales :

- Celles avec des valeurs de REH plus faibles que la médiane globale sur l'observatoire

C'est le cas des céréales en précédent betteraves et des sols couverts à l'automne par un couvert d'interculture. La betterave est une culture qui absorbe de l'azote jusqu'à son arrachage, ce qui peut expliquer ces faibles REH. Pour les couverts d'interculture, ils semblent bien jouer leur rôle de piège à nitrates. Nous affinerons dans la suite de l'étude l'effet des couverts en fonction de leur développement. Ces deux successions culturales se retrouvent dans la bibliographie ¹ comme des successions à faibles niveaux de REH.

- Celles avec des valeurs de REH plus élevées que la médiane de l'observatoire

On y retrouve les céréales précédées de culture de printemps (lin, pommes de terre, protéagineux et maïs). Si le précédent laisse un stock d'azote post récolte est important, il ne sera pas nécessairement valorisé par la céréale en place, peu consommatrice d'azote dans les semaines suivants son implantation.

Les forts REH derrière légumineuses peuvent être dus à l'effet relargage d'azote de ces cultures. Sur cette succession, la moyenne à 90 kg d'azote par hectare est proche de la référence présentée dans le rapport du COMIFER ¹ (80 kg de N/ha), dans lequel c'est d'ailleurs la succession avec les REH les plus élevés.

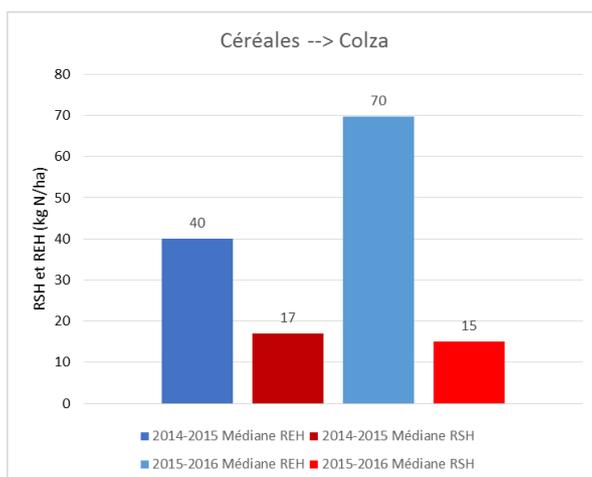
En précédents maïs, les reliquats entrée hiver sont élevés mais également assez dispersés. La forte variabilité peut être due aux apports organiques nombreux en maïs et à l'effet du retournement de prairies, le maïs étant la culture fréquemment implantée sur d'anciennes prairies. Toutefois, ces effets ne peuvent pas être analysés finement dans le cadre de l'observatoire, les effectifs par modalité étant trop faibles.

- Celles avec des valeurs intermédiaires

C'est le cas cette année des successions colza → céréales, céréales → colza et céréales → céréales. Ceci peut paraître surprenant sur les précédents colzas, qui sont considérées comme des précédents relarguant beaucoup d'azote. On retrouvait ces parcelles en 2014-2015 avec de forts REH. A l'inverse, on pourrait s'attendre à trouver les parcelles emblavées en colza avec de faibles REH, le colza étant considérée comme un bon piège à nitrates (figure 13). Ces parcelles sont cette année dans les valeurs intermédiaires. Sur ces parcelles en colza, des suivis de biomasse réguliers pourraient permettre d'avancer des hypothèses sur les niveaux de REH constatés.

¹ Rapport COMIFER – Groupe Azote, juin 2002, Lessivage des nitrates en systèmes de cultures annuelles – Diagnostic du risque et propositions de gestion de l'interculture, page 27

Figure 13 : Comparaison des médianes REH et RSH sur la succession céréales --> colza pour 2014-2015 et 2015-2016. On retrouvait bien en 2014-2015 de faibles niveaux de REH et l'effet « pompe à azote » du colza.



Quels que soient ces niveaux de REH, les RSH varient peu entre successions culturales.

Succession	2014-2015			2015-2016		
	Médiane REH	Médiane RSH	Effectif	Médiane REH	Médiane RSH	Effectif
Betteraves --> Céréales	28	24	24	37	21	17
Céréales --> CIPAN --> Culture de printemps	58	32	70	55	23	104
Céréales --> Céréales	78	30	29	67	16	25
Céréales --> Colza	40	17	42	70	15	33
Colza --> Céréales	109	47	49	73	23	37
Lin --> Céréales	84	33	45	82	18	39
Pommes de terre --> Céréales	88	33	25	89	25	29
Protéagineux --> Céréales	112	31	10	89	21	19
Maïs --> Céréales	74	35	62	92	25	43

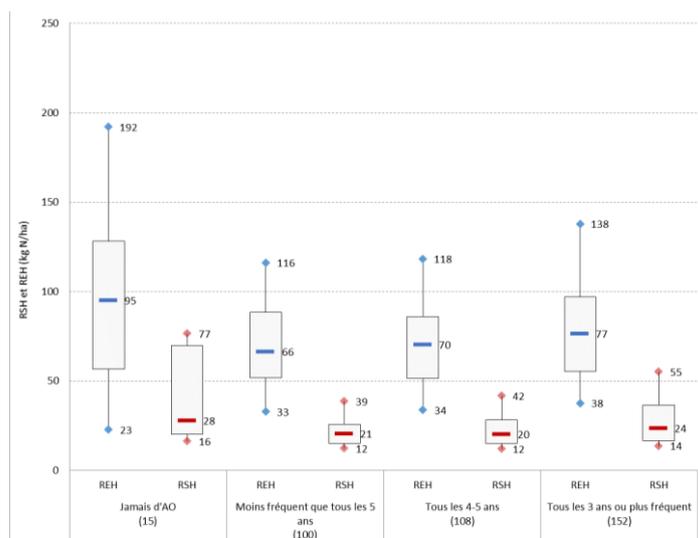
Tableau 5 : Comparaison des valeurs médianes REH - RSH en fonction de la succession - Campagnes 2014-2015 et 2015-2016

Comme évoqué ci-dessus, sur certaines successions, les tendances entre les deux campagnes ne sont pas les mêmes. Une campagne de mesures supplémentaire devrait nous permettre de compléter l'analyse sur l'influence de la succession culturale.

➤ Influence des apports organiques

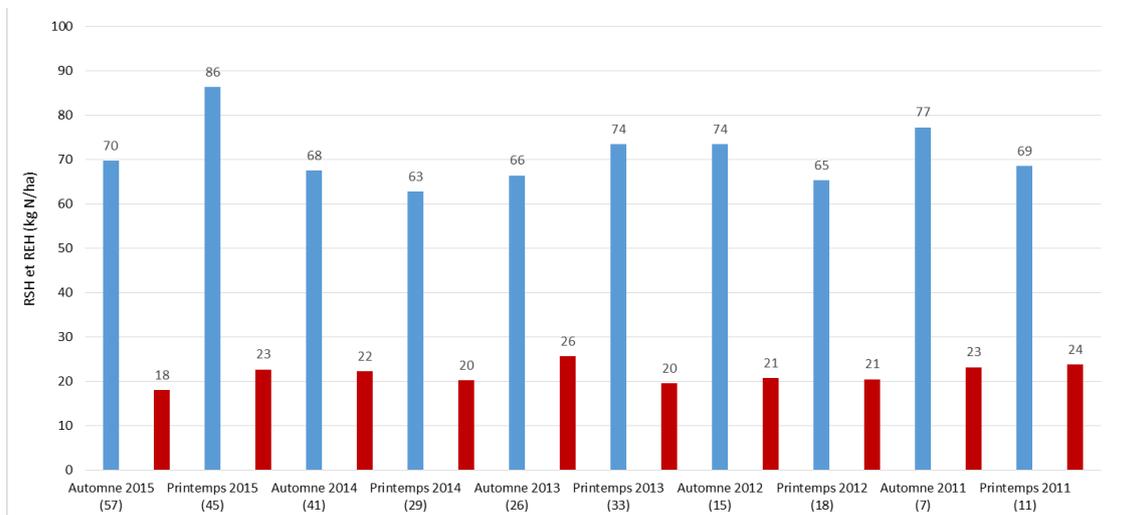
Deux facteurs ont été étudiés : la fréquence des apports organiques sur les parcelles ainsi que la période du dernier apport organique pour mesurer l'effet direct des apports organiques. La fréquence des apports organiques permet de rendre compte de l'historique organique de la parcelle (renseignements présents dans la base de données = apports tous les 3 ans ou + fréquents, apports tous les 4-5 ans, apports moins fréquents que tous les 5 ans, jamais d'apport organique).

Figure 14 : Effet de la fréquence des apports organiques sur la répartition des REH et RSH



La fréquence des apports organiques ne semble pas influencer sur le niveau de REH ni de RSH. Seules les parcelles ne recevant jamais d'apport organique ont un REH plus élevé que les autres parcelles, et une variabilité plus forte, tant pour les REH que les RSH. Toutefois, un biais existe dans l'analyse : parmi ces 15 parcelles, 9 sont des anciennes prairies, d'où les valeurs de REH plus élevées. Ces parcelles seront retirées de l'analyse suivante pour supprimer ce biais.

Figure 15 : Effet de la période du dernier apport organique sur les valeurs de REH et RSH (médianes). Les anciennes prairies sont supprimées de l'analyse.



Les REH et RSH varient peu en fonction de la date du dernier apport organique. Les valeurs les plus élevées correspondent aux derniers apports de printemps réalisés : 86 kg N/ha, ce qui peut être lié à la récente minéralisation de ces apports.

➤ Influence des couverts d'interculture

115 parcelles avec l'implantation d'un couvert d'interculture avant culture de printemps sont renseignées dans la base de données. L'échantillon présente très peu de parcelles sans couvert (13

seulement), ce qui ne permet pas de comparer l'effet avec couvert d'interculture / sans couvert d'interculture.

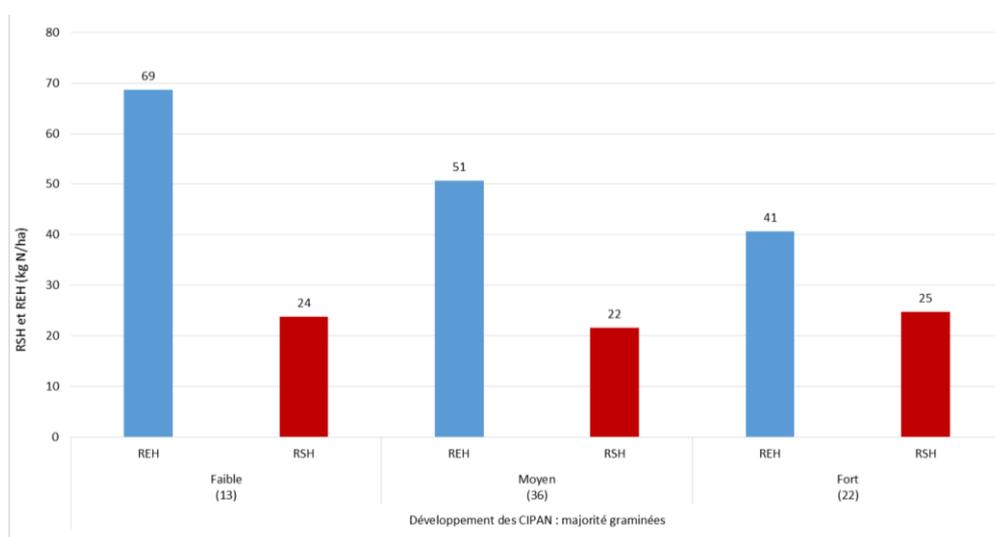
Le tableau ci-dessous reprend les différents types de couverts implantés.

Type de CIPAN	Nombre de parcelles	%
Graminées + Légumineuses	51	44
Crucifères seules	20	17
Graminées seules	17	15
Graminées + Crucifères	8	7
Légumineuses + Crucifères	8	7
Graminées + Crucifères + Légumineuses	3	3
Légumineuses seules	2	2
Graminées + Crucifères + Phacélie	2	2
Légumineuses + Crucifères + Phacélie	2	2
Graminées + Phacélie	1	1
Graminées + Légumineuses + Phacélie	1	1
Total	115	100

Tableau 6 : Répartition des types de couverts d'interculture implantés (par famille)

Des notations de développement des couverts ont été effectuées à l'automne par les animateurs, permettant d'évaluer l'influence du développement des couverts sur le REH. Nous avons segmenté les parcelles en fonction de la famille de plante majoritairement implantée : graminées, légumineuses ou crucifères. Les effectifs trop faibles pour les couverts à majorité de légumineuses et de crucifères ne permettent pas de conclure.

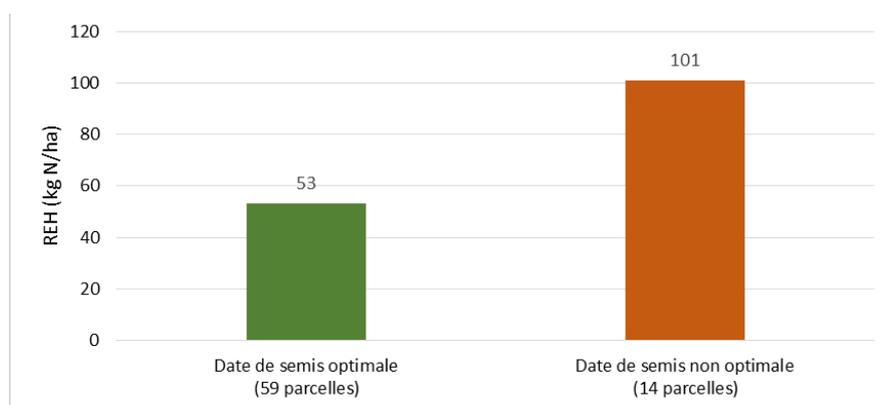
Figure 16 : Influence du développement des couverts d'interculture à majorité graminées sur les valeurs de REH et RSH (médianes)



Sur les graminées par contre, plus le développement du couvert d'interculture est important à l'automne, plus le REH diminue : 28 kg N/ha de moins en entrée hiver pour un couvert fortement développé par rapport à un couvert faiblement développé. L'effet « piège à nitrates » du couvert est donc bien visible.

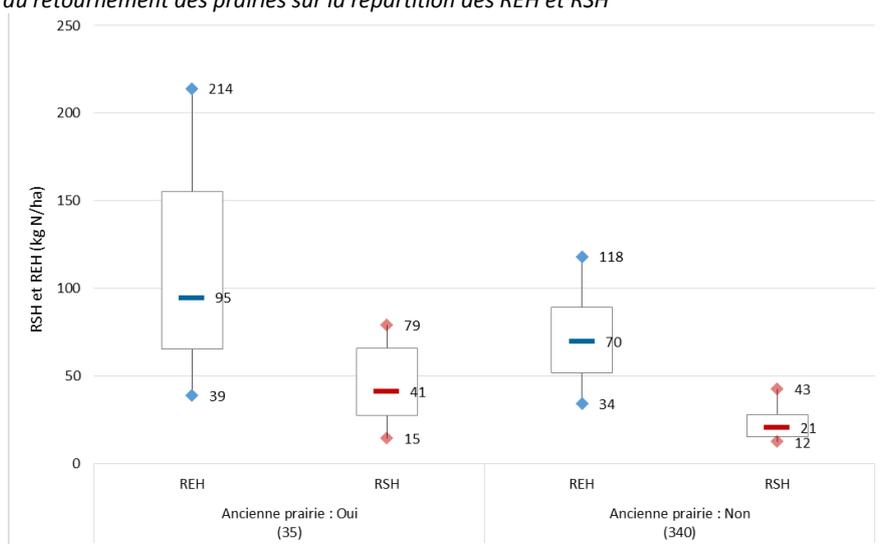
En complément, nous avons étudié l'influence de la date de semis sur les valeurs de REH. Les dates de semis habituellement préconisées pour les graminées s'étalent du 15 août au 15 septembre. Hors de ces dates de semis, les valeurs de REH sont plus élevées (+ 48 kg N/ha en moyenne).

Figure 17 : Influence de la date de semis des couverts d'interculture à majorité de graminées sur les valeurs moyennes de REH - Date de semis optimale : 15/08-15/09



➤ Effet d'une ancienne prairie

Figure 18 : Effet du retournement des prairies sur la répartition des REH et RSH



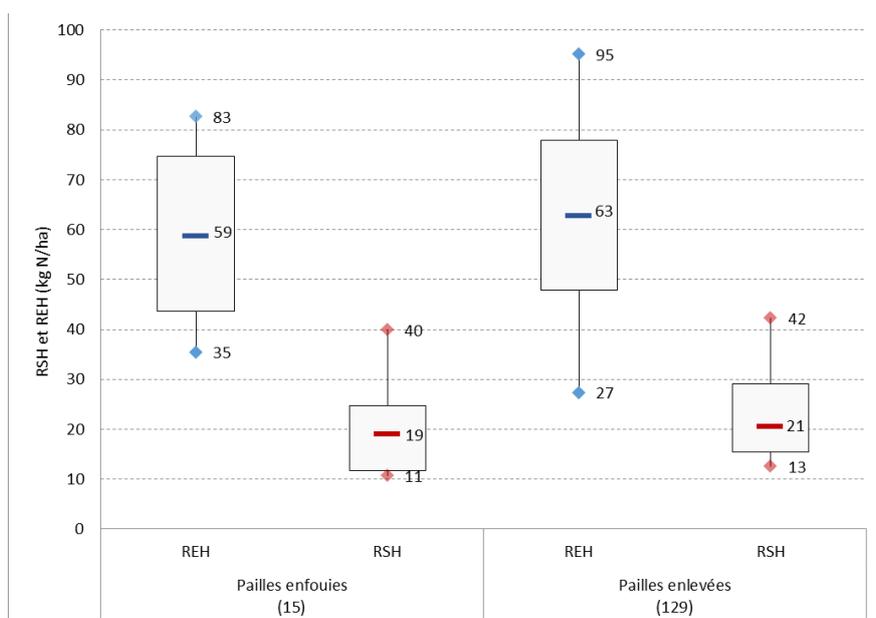
Les anciennes prairies ont des valeurs de REH et RSH plus élevées que les autres parcelles : + 25 unités d'azote en entrée hiver et + 20 unités en sortie hiver. Le potentiel de minéralisation sur ces parcelles est plus élevé.

L'influence de l'année de retournement de la prairie n'a pas pu être étudiée, les effectifs par année de retournement étant trop faibles.

➤ Influence des résidus de récolte

L'influence du devenir des résidus de récolte a pu être comparée uniquement en blé tendre ; sur les autres cultures les effectifs étaient trop faibles pour pouvoir comparer résidus enfouis et enlevés.

Figure 19 : Influence du devenir des résidus de blé (enfouis ou enlevés) sur la répartition des REH et des RSH



Aucune différence sur les valeurs de REH et RSH ne peut être observée entre les deux modes de gestion des résidus de culture : pailles enfouies / pailles enlevées. Toutefois, peu de parcelles sont gérées sans exportation des pailles sur les territoires étudiés (15 parcelles en pailles enfouies contre 129 en pailles enlevées).

3. Lessivage de l'azote et estimation de la teneur en nitrates de lame drainante par le modèle de Burns

➤ Le modèle de Burns : paramétrage et méthode de calcul

Le modèle de Burns permet d'estimer la fraction du reliquat azoté entrée hiver qui sera lessivée par la lame drainante hivernale. Ce modèle tient compte de la pluviométrie hivernale, de l'évapotranspiration hivernale et des caractéristiques des sols sur les parcelles étudiées.

- Pluie drainante

La pluie drainante (PD) est fonction de la pluviométrie, du coefficient cultural qui prend en compte le développement du couvert végétal, de l'évapotranspiration et de la réserve utile du sol. Pour chacune des 375 parcelles, la pluie drainante a été calculée afin de permettre une modélisation du lessivage par parcelle. La pluviométrie et l'ETP ont été étudiées avec des données météo décennales de septembre 2015 à mars 2016 (période que l'on estime correspondre à la fin de la période de drainage).

$$PD = P - (Kc \times ETP) - RU$$

P : pluviométrie durant la période étudiée en mm

Kc : coefficient cultural selon la culture et la couverture du sol

ETP : évapotranspiration potentielle en mm durant la période étudiée

RU : réserve utile du sol

- Hypothèses retenues pour le calcul de la pluie drainante

Sol	Type de sol	Type de sous-sol	RU (mm)	RFU (mm)	Hv	Effectif
Limon moyen sur argile à silex	Limon	Argile à silex	160	107	0,38	15
Limon moyen caillouteux	Limon caillouteux	Argile à silex	140	93	0,35	17
Limon sur argile	Limon	Argile	200	133	0,38	4
Limon profond	Limon	Limon	210	140	0,32	322
Limon sableux côtier	Limon sableux	Limon sableux	180	120	0,3	17

Tableau 7 : Paramétrage des types de sol

RU : Réserve Utile

RFU : Réserve Facilement Utilisable

RFU = 2/3 de la RU

Hv : Humidité Volumique

Une valeur de RU et d'humidité volumique ont été attribuées en fonction du sol renseigné sur chaque parcelle.

Cultures	Kc
Prairie temporaire	1
Colza	0,7
Blé / Céréales d'hiver / CIPAN	0,5
Sol nu	0,3

Tableau 8 : Paramétrage du coefficient cultural

Le modèle du Burns intègre le coefficient cultural de la culture (Kc) qui permet de tenir compte de la couverture du sol qui joue un rôle important sur le lessivage. En effet, un sol nu (Kc = 0.3) retiendra très peu l'azote à la différence d'une prairie qui a une couverture totale du sol retenant mieux l'azote et limitant ainsi le risque de lessivage (Kc = 1).

BAC	Station	Cumul précipitations Sept-Mars (mm)	ETP Sept-Mars (mm)
Blainville - Crevon Fontaine sous Préaux	ROUEN-BOOS (76116001)	495,6	222,3
Fécamp Fauville Valmont	GODERVILLE (76302002)	727,3	222,3
Guibermesnil-Tronchoy	POIX-DE-PICARDIE (80630001)	488,5	222,3
Héricourt	ECTOT LES BAONS (76228001)	565,7	222,3
St Martin du Bec	ST VALERY (76655001)	634,1	222,3

Tableau 9 : Paramétrage météo 2015-2016

Chaque BAC a été rattaché à la station Météo France soit la plus proche géographiquement, soit la plus représentative de la pluviométrie locale. Le tableau ci-dessus reprend le cumul des précipitations et de l'ETP entre septembre et mars.

L'ETP est la même pour tous les BAC puisque seule la station météo de ROUEN-BOOS fournit cette information.

- Estimation du lessivage

L'azote lessivé est fonction de la pluie drainante calculée précédemment, de la profondeur du sol et de l'humidité volumique propre à chaque type de sol.

$$\% \text{ lessivé} = (PD / (PD + Hv))^{h/2}$$

PD : Pluie drainante en cm

Hv : humidité volumique en %

h : profondeur du sol en cm

La profondeur de sol utilisée dans le modèle est de 90 cm pour l'ensemble des parcelles, ce qui correspond à la profondeur de prélèvement.

- Quantité d'azote lessivé

Le % lessivé calculé grâce à la formule ci-dessus permet ensuite de calculer la quantité d'azote lessivé, c'est-à-dire la quantité d'azote emporté par l'eau vers les horizons inférieurs et non absorbable par les plantes. Cette quantité d'azote lessivé est donc directement fonction du reliquat entrée hiver.

N lessivé (kg N/ha) = REH x % lessivé

- Estimation de la concentration en nitrates de la lame drainante

La quantité d'azote lessivé nous permet ensuite de calculer une concentration en nitrates sous racinaire aussi appelée concentration en nitrates de la lame drainante. Pour cela, il faut raisonner la quantité d'azote lessivé par rapport à une quantité d'eau (lame drainante) et convertir l'azote (N) en nitrates (NO₃⁻).

[Nitrates] = N lessivé x (62/14) x (100/PD)

N lessivé : quantité d'azote lessivé N kg/ha

62/14 : rapport des masses molaires permettant de convertir l'azote (N : 14) en nitrates (NO₃⁻: 62)

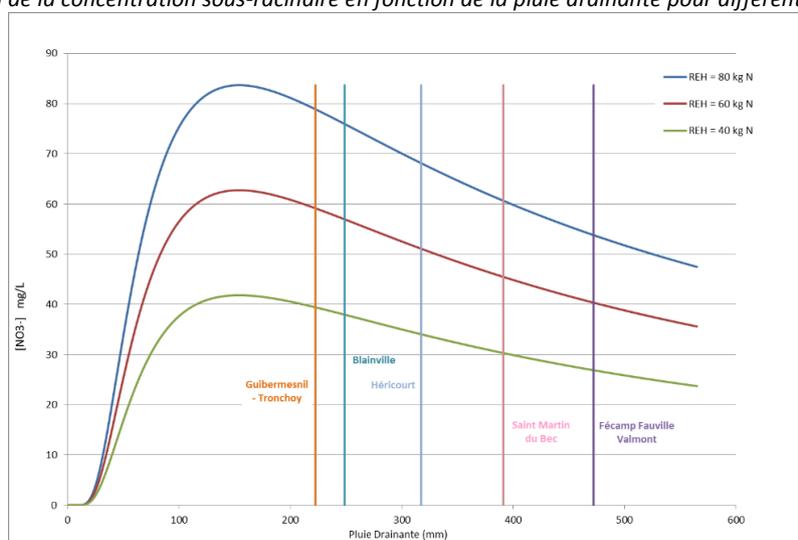
PD : pluie drainante en cm

➤ Effet de la pluie drainante sur la concentration sous-racinaire

Le graphique permet de rendre compte de la dynamique de lessivage avec la modèle de Burns. Il a été réalisé pour un sol de 90 cm de profondeur et une humidité volumique de 0,35. Les courbes représentent l'évolution de la concentration sous-racinaire en fonction de la pluie drainante pour une valeur de REH donnée.

Dans un premier temps, la concentration en nitrates sous racinaire augmente avec l'augmentation de la pluie drainante pour atteindre le pic du modèle. Dans un second temps, on observe un effet dilution : plus la pluie drainante augmente, plus la concentration sous-racinaire sera faible.

Figure 20 : Evolution de la concentration sous-racinaire en fonction de la pluie drainante pour différents niveaux de REH



Les pluies drainantes moyennes de chacun des BACs ont été repositionnées sur le graphe. Elles sont calculées en moyennant les pluies drainantes calculées à la parcelle.

Les territoires sur lesquels la pluie drainante est la plus importante (Fécamp-Fauville-Valmont et Saint-Martin du Bec) auront donc, pour des valeurs de REH identiques, un effet dilution plus marqué.

➤ Résultats du modèle de Burns

BAC	REH	Pluie drainante (mm)	N lessivé (kg N)	[NO ₃ -] de la lame drainante (mg/L)
Blainville - Crevon Fontaine sous Préaux	73,8	248,7	41,2	73,5
Fécamp Fauville Valmont	82,2	472,2	60,5	56,9
Guibermesnil Tronchoy	56,4	222,5	29,6	58,9
Héricourt	78,7	317,3	49,6	69,5
Saint Martin du Bec	76,8	391,2	53,5	60,2
Global observatoire	78	368,6	51,9	63,8

Tableau 10 : Quantités d'azote lessivé et concentration en nitrates de la lame drainante par BAC

Deux facteurs influent sur la quantité d'azote lessivé : le REH et la pluie drainante. Plus le REH est élevé, plus la quantité d'azote lessivé sera importante. De même, plus la pluie drainante est importante, plus la quantité d'azote lessivé le sera aussi.

A l'inverse pour la concentration sous-racinaire, on retrouve l'effet dilution présenté en figure 20 : plus la pluie drainante est importante, plus la concentration sous-racinaire sera faible.

Ainsi, sur les BACs sur lesquels les REH moyens étaient proches, Héricourt et Saint Martin du Bec par exemple, c'est la pluie drainante qui est discriminante : elle est plus élevée à Saint Martin du Bec (+ 74 mm), ce qui entraîne une quantité d'azote lessivé plus importante mais une concentration sous-racinaire plus faible (effet dilution cité ci-dessus).

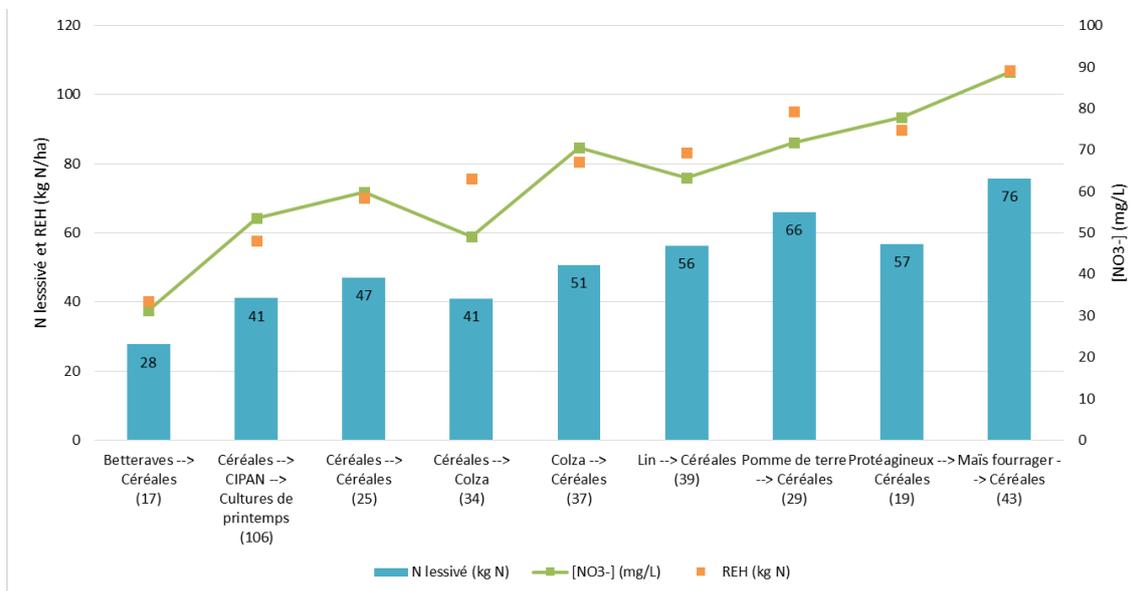
Sur le BAC de Fécamp/Fauville/Valmont, le REH moyen et la pluie drainante moyenne sont les plus élevées de l'observatoire. Ceci entraîne donc les quantités d'azote lessivé estimées par le modèle de Burns les plus importantes mais la concentration sous-racinaire la plus faible.

Les BACs de Blainville-Crevon/Fontaine-sous-Préaux et de Guibermesnil-Tronchoy ont des REH moyens et des niveaux de pluviométrie plus faibles que la moyenne de l'observatoire. Ceci conduit donc à des quantités d'azote lessivé plus faibles.

Les résultats présentent bien la concentration sous-racinaire et non pas la concentration en nitrates au captage. Il faudrait pour cela prendre en compte l'occupation des sols sur l'ensemble du territoire du BAC.

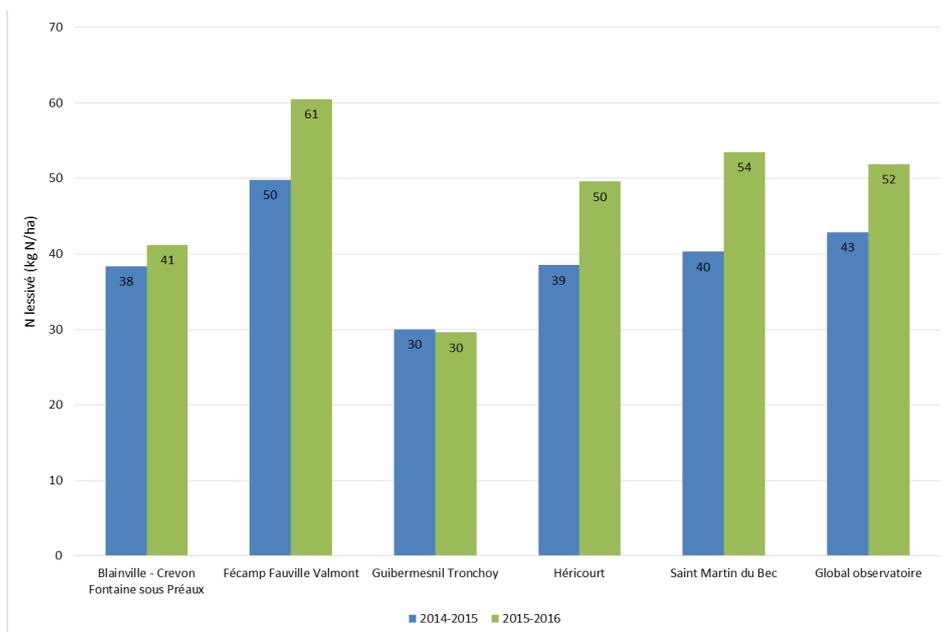
A l'échelle de la succession culturale, nous retrouvons les mêmes tendances : les successions avec un fort REH sont celles sur lesquelles la concentration sous-racinaire estimée par le modèle est la plus importante.

Figure 21 : REH, quantité d'azote lessivé et concentration sous-racinaire en nitrates en fonction de la succession culturale



Si l'on compare les quantités d'azote lessivé moyennées par BAC sur 2015-2016 aux résultats sur 2014-2015, on constate que les valeurs sont supérieures cette année sur certains territoires. On est en moyenne sur l'ensemble de l'observatoire à + 9 kg N/ha lessivé. Ceci s'explique essentiellement par la pluviométrie hivernale (janvier et février) supérieure cette année à la campagne passée.

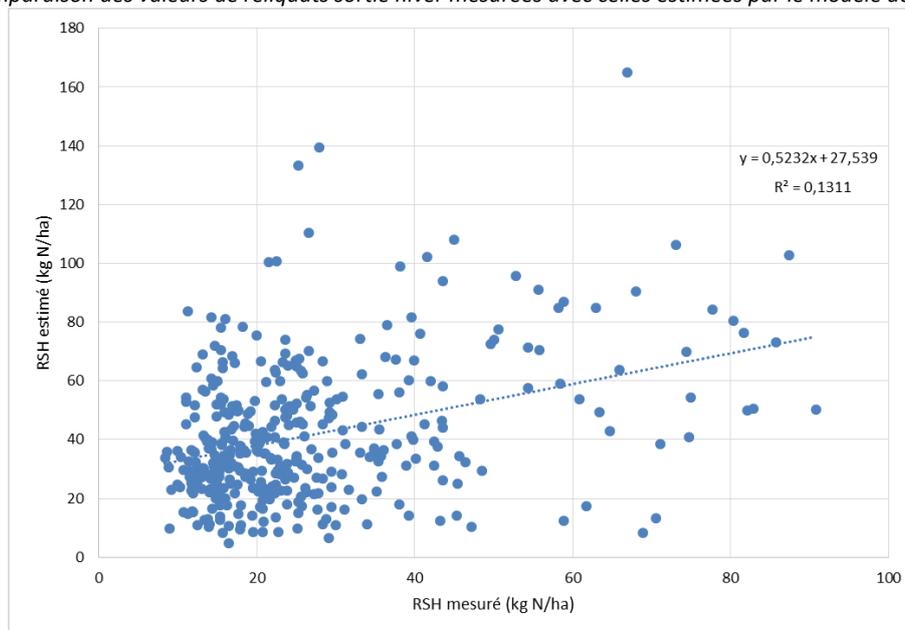
Figure 22 : Quantité d'azote lessivé moyennée par BAC - Comparaison pluriannuelle



Nous avons comparé les résultats issus du modèle de Burns avec les mesures de reliquats sortie hiver réalisées. Pour cela, nous avons estimé la quantité d'azote lessivé sur la période septembre 2015 – janvier 2016 (pour que la période sur laquelle l'estimation est faite corresponde à la date à laquelle les mesures de RSH sont faites, c'est-à-dire début février).

On a alors : $RSH \text{ estimé} = REH \text{ mesuré} - N \text{ lessivé}$.

Figure 23 : Comparaison des valeurs de reliquats sortie hiver mesurées avec celles estimées par le modèle de Burns



Le coefficient de détermination R^2 entre le RSH estimé et le RSH mesuré est très faible. Dans le cas où l'estimation du RSH par le modèle de Burns serait très proche de la mesure de RSH, celui-ci s'approcherait de 1.

Diff = RSH estimé – RSH mesuré	Nombre de parcelles	Pourcentage
Diff < -15	25	7%
-15 < Diff < 15	165	44%
Diff > 15	185	49%

Tableau 11 : Répartition des valeurs [RSH estimé - RSH mesuré]

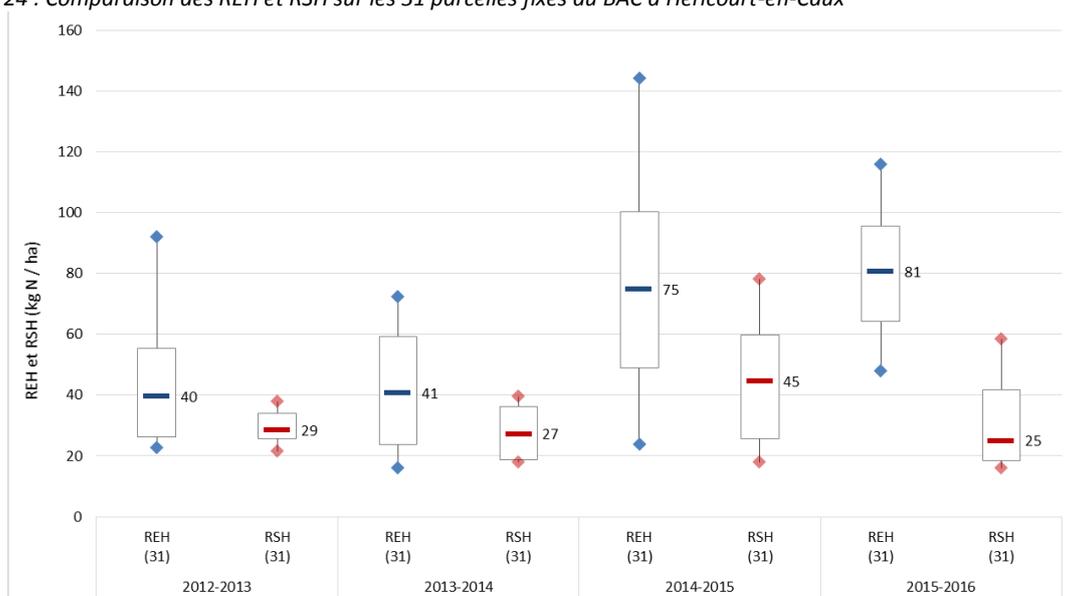
Le tableau ci-dessus permet d'analyser la répartition de la différence [RSH estimé – RSH mesuré]. Dans 44% des parcelles, cette différence est inférieure à 15 unités d'azote, l'estimation du RSH par le modèle de Burns est donc relativement fiable. Par contre, dans 49% des cas, le RSH estimé est supérieur de plus de 15 unités au RSH mesuré.

Une hypothèse peut être émise pour expliquer cette différence : dans le modèle de Burns, l'azote absorbé par la plante pendant l'hiver est peu pris en compte (il l'est uniquement via le Kc, qui pèse peu dans les formules de calcul). Or, cet hiver, les conditions météo ont été favorables au développement des cultures (pas de période de froid) et donc à l'absorption d'azote. Si la quantité d'azote absorbé par la plante au cours de l'hiver est importante, le RSH réel mesuré sera donc plus faible que prévu via le modèle. Cette hypothèse serait à confirmer en pluriannuel, avec un contexte météo différent.

4. Analyse des résultats pluriannuels du BAC d'Héricourt-en-Caux

Le BAC d'Héricourt-en-Caux est présent depuis 4 ans dans l'observatoire des reliquats. 31 parcelles sont suivies depuis ces 4 années. Les points de prélèvements sont identiques d'une année sur l'autre, ce qui permet une analyse de l'effet année d'une part et le suivi en pluriannuel d'une même parcelle d'autre part.

Figure 24 : Comparaison des REH et RSH sur les 31 parcelles fixes du BAC d'Héricourt-en-Caux



Ce graphique nous confirme l'effet année : les REH des années 2014 et 2015 sont de 35 à 40 unités supérieures aux deux années passées. Les niveaux de RSH sont plus faibles cette année que l'année passée, avec un différentiel médian de 56 kg d'azote par rapport au REH. La prochaine campagne nous permettra de situer si ces deux années avec des REH autour de 75-80 kg N / ha sont des valeurs habituelles sur le département de la Seine-Maritime ou si les années autour de 40 kg N / N le sont plus.

Campagne	REH	Pluie drainante	N lessivé (kg N)	[nitrates] (mg/L)
2012-2013	46,3	380,7	31,4	36,3
2013-2014	44,6	521,7	32,9	27,8
2014-2015	76,4	212,9	38,5	78,2
2015-2016	81,0	312,9	50,9	72,5

Tableau 12 : Résultats pluriannuels du modèle de Burns sur les 31 parcelles fixes du BAC d'Héricourt-en-Caux

Le REH à un niveau élevé cette année ainsi qu'une forte pluviométrie expliquent une quantité d'azote lessivée supérieure aux campagnes précédentes.

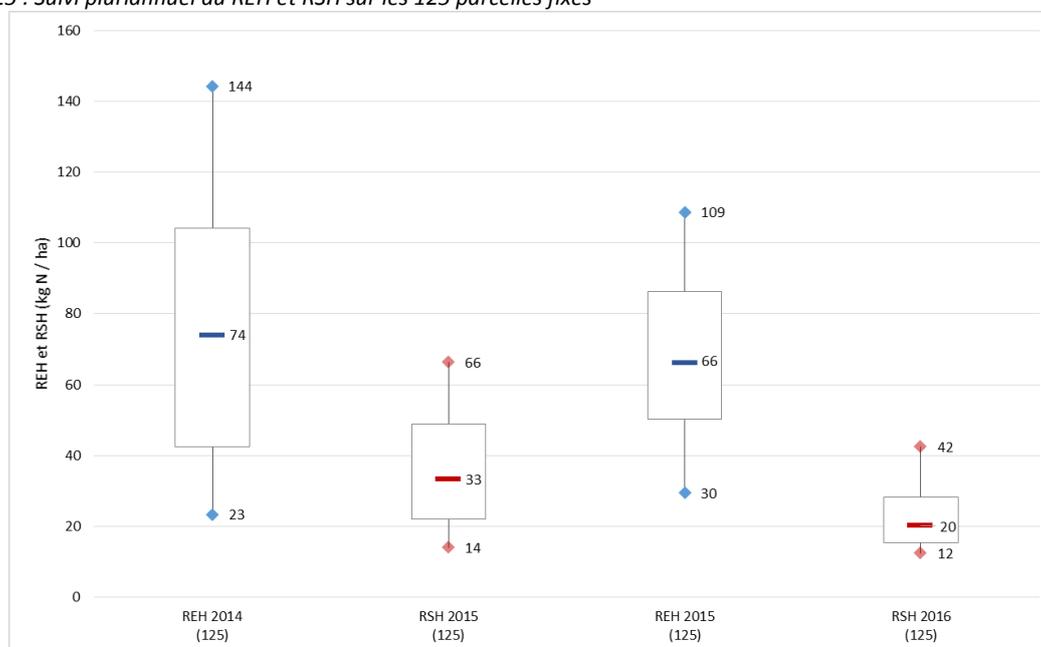
Malgré ces valeurs supérieures aux campagnes précédentes, la pluie drainante élevée cette année explique une concentration sous racinaire en nitrates plus faible que l'année dernières : on retrouve l'effet dilution décrit sur la figure 20.

Sur ces 31 parcelles, il est difficile de réaliser des analyses plus fines des tendances pluriannuelles sur d'autres critères. En effet, les effectifs sont tout de suite trop faibles.

5. Résultats sur les parcelles fixes

Sur les 375 parcelles suivies, 155 parcelles sont définies comme des parcelles fixes, choisies pour être suivies en pluriannuel. Parmi ces 155 parcelles en 2015-2016, 125 parcelles étaient communes à la campagne passée.

Figure 25 : Suivi pluriannuel du REH et RSH sur les 125 parcelles fixes



Sur la totalité de ces parcelles fixes, les valeurs médianes REH et RSH sont proches de celles sur la globalité de l'observatoire : les parcelles fixes sont donc bien représentatives du reste de l'observatoire.

	2014-2015		2015-2016	
	Médiane REH (kg N/ha)	Médiane RSH (kg N/ha)	Médiane REH (kg N/ha)	Médiane RSH (kg N/ha)
Parcelles fixes (125 parcelles)	74	33	66	20
Global observatoire (effectif)	75 (395)	32 (400)	70 (375)	22 (375)

Tableau 13 : Valeurs médianes des REH et RSH sur les parcelles fixes et sur l'observatoire

Sur ces parcelles fixes, les effectifs sont tout de suite trop faibles pour étudier différentes modalités. Mais ces parcelles pourront être suivies dans le temps. Il sera par exemple possible dès la prochaine campagne de calculer des bilans azotés de fin de culture.

Conclusion et perspectives

Cette 4^{ème} campagne de suivi met en évidence des reliquats entrée hiver relativement élevés cette année, à rapprocher des niveaux observés en 2014-2015. Le reliquat entrée hiver moyen de 78 kg N/ha cette année est divisé par presque 3 en sortie hiver avec une moyenne sur l'ensemble des parcelles analysées à 27 kg N/ha.

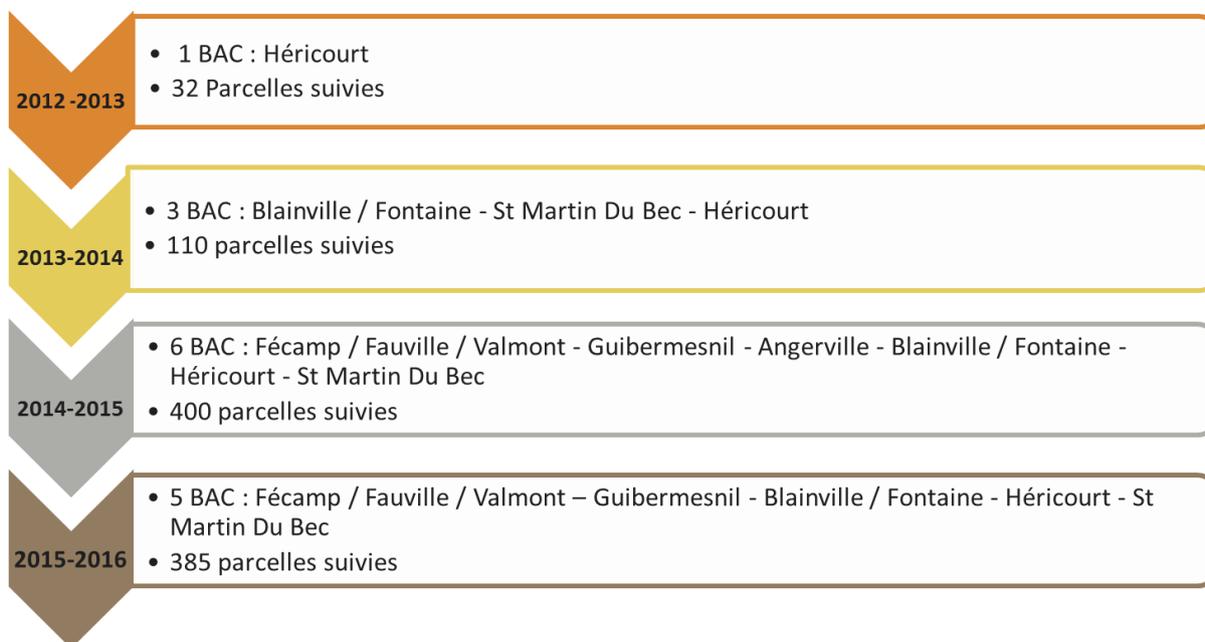
En entrée hiver, nous avons pu mettre en évidence l'effet de certaines successions culturales permettant de limiter les niveaux de reliquats. La gestion de l'interculture semble être également prépondérante pour limiter le REH et donc le risque de lessivage. Afin d'affiner l'analyse pour la prochaine campagne, des suivis de biomasse sur les couverts d'interculture devraient être mis en place à l'automne.

Par ailleurs, l'estimation du lessivage par le modèle de Burns fait ressortir des concentrations en nitrates de la lame drainante supérieures au seuil de 50 mg/L. Il faut toutefois être vigilant dans l'interprétation de ces données puisque ces concentrations sont estimées sous les parcelles, et non pas au point de captage. De plus, le modèle de Burns prend peu en compte la partie de l'azote absorbé par la plante au courant de l'hiver (après la mesure de REH), qui peut certaines années comme 2015-2016 être important.

L'ensemble des résultats seront à confirmer dans les années à venir. En effet, le nombre de parcelles suivies dans l'observatoire est conséquent depuis 2 campagnes seulement et l'effet année peut être très important dans les résultats observés. Des analyses statistiques plus poussées seront également mises en place pour la prochaine campagne pour arriver à pondérer les facteurs explicatifs les plus influant sur les reliquats azotés.

Annexe 1

Evolution du nombre de parcelles suivies dans le cadre de l'observatoire depuis 2012



Annexe 2

Informations collectées par les animateurs

Exploitation	BAC
	Animateur BAC
	Raison sociale
	Nom exploitation ou nom agriculteur
Parcelle	Libellé parcelle
	Code parcelle
	Parcelle fixe
	Ancienne prairie
	Année de retournement de la prairie
	Age de la prairie au moment du retournement
	Commune parcelle
	Surface (ha)
	Coordonnées X en GPS GWS84 (longitude)
	Coordonnées Y en GPS GWS84 (latitude)
	Type de sol
	Fréquence d'apport N organique
	Date dernier apport organique
	Teneur MO du sol
	Année dernière analyse de sol
Besoin analyse chimique en + du reliquat	
S'il existe, code adhérent Cap Seine	
Précédent	Précédent
	Devenir des résidus du précédent
	Rendement du précédent (Q ou T/ha)
	Fumure azotée minérale sur précédent (U/ha)
	Nature fumure organique sur précédent
	Teneur en MS (matière sèche) fumure organique sur précédent en %
	Teneur en azote fumure organique sur précédent kg/t ou kg/m3
Quantité fumure organique sur précédent (U/ha)	
Date récolte précédent	
Interculture / CIPAN	% Graminées au semis
	% Légumineuses au semis
	% Crucifères au semis
	Repousses colza
	Date implantation CIPAN
	Date de notation développement CIPAN/dérobée
	Développement des graminées
	Développement des légumineuses
	Développement des crucifères
	Développement repousses colza
	Conditions d'implantation CIPAN
	Nature fertilisation organique CIPAN
	Teneur en MS (matière sèche) fumure organique sur CIPAN en %
	Teneur en azote fumure organique sur CIPAN kg/t ou kg/m3
	Date fertilisation organique CIPAN
	Quantité fertilisation organique CIPAN
	Nature fertilisation minérale CIPAN
Date fertilisation minérale CIPAN	
Quantité fertilisation minérale CIPAN	
Date de destruction CIPAN	
Mode de destruction CIPAN	
Culture en cours	Culture en cours
	Travail du sol entre récolte et précédent
	Nombre de faux semis
	Variété
	Date de semis
	Objectif de rendement
	Fertilisation minérale prévisionnelle sur la culture
	Nature apport organique (AO) prév. sur culture
	Teneur en MS (matière sèche) AO1 sur culture en %
	Teneur en azote AO1 sur culture kg/t ou kg/m3
	Date AO1 prév. sur culture
	Quantité AO1 prév. sur culture
	Nature AO2 prév. sur culture
	Teneur en MS (matière sèche) AO2 sur culture en %
	Teneur en azote AO2 sur culture kg/t ou kg/m3
Date AO2 prév. sur culture	
Quantité AO2 prév. sur culture	

Liste des figures

Figure 1 : Rôle de chacun des partenaires dans l'observatoire des reliquats de Seine-Maritime	1
Figure 2 : Carte des BACs étudiés dans le cadre de l'observatoire des reliquats de Seine-Maritime	3
Figure 3 : Répartition des surfaces par culture sur l'observatoire 2015-2016.....	4
Figure 4 : Schéma de prélèvement sur les 385 parcelles suivies	6
Figure 5 : Positionnement des reliquats entrée et sortie hiver (REH et RSH)	7
Figure 6 : Précipitations mensuelles - Station Météo France de Rouen Boos	8
Figure 7 : Températures moyennes mensuelles - Station Météo France de Rouen-Boos	8
Figure 8 : Interprétation d'un boxplot	9
Figure 9 : Répartition de la teneur en azote nitrique par horizon	10
Figure 10 : REH et RSH 2015-2016 par BAC.....	10
Figure 11 : Répartition des REH et RSH sur les 3 campagnes de l'observatoire.....	11
Figure 12 : Médianes des REH et RSH 2015-2016 en fonction de la succession culturale.....	11
Figure 13 : Comparaison des médianes REH et RSH sur la succession céréales --> colza.....	13
Figure 14 : Effet de la fréquence des apports organiques sur la répartition des REH et RSH	14
Figure 15 : Effet de la période du dernier apport organique sur les valeurs de REH et RSH (médianes)..	14
Figure 16 : Influence du développement des couverts d'interculture à majorité graminées.....	15
Figure 17 : Influence de la date de semis des couverts d'interculture à majorité de graminées	16
Figure 18 : Effet du retournement des prairies sur la répartition des REH et RSH	16
Figure 19 : Influence du devenir des résidus de blé (enfouis ou enlevés) sur la répartition des REH et des RSH	17
Figure 20 : Evolution de la concentration sous-racinaire en fonction de la pluie drainante	20
Figure 21 : REH, quantité d'azote lessivé et concentration sous-racinaire en nitrates en fonction de la succession	22
Figure 22 : Quantité d'azote lessivé moyennée par BAC - Comparaison pluriannuelle.....	22
Figure 23 : Comparaison des valeurs de RSH mesurées avec celles estimées par le modèle de Burns.....	23
Figure 24 : Comparaison des REH et RSH sur les 31 parcelles fixes du BAC d'Héricourt-en-Caux	24
Figure 25 : Suivi pluriannuel du REH et RSH sur les 125 parcelles fixes	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de parcelles suivies par BAC	3
Tableau 2 : Les successions culturales sur l'observatoire (nombre de parcelles suivies). Comparatif 2014-2015 et 2015-2016	4
Tableau 3 : Les différents types de sol rencontrés sur l'observatoire.....	5
Tableau 4 : Dates des prélèvements des reliquats entrée et sortie hiver.....	6
Tableau 5 : Comparaison des valeurs médianes REH - RSH en fonction de la succession - Campagnes 2014-2015 et 2015-2016.....	13
Tableau 6 : Répartition des types de couverts d'interculture implantés (par famille)	15
Tableau 7 : Paramétrage des types de sol	18
Tableau 8 : Paramétrage du coefficient cultural.....	19
Tableau 9 : Paramétrage météo 2015-2016	19
Tableau 10 : Quantités d'azote lessivé et concentration en nitrates de la lame drainante par BAC.....	21
Tableau 11 : Répartition des valeurs [RSH estimé - RSH mesuré].....	23
Tableau 12 : Résultats pluriannuels du modèle de Burns sur les 31 parcelles fixes du BAC d'Héricourt-en-Caux	24
Tableau 13 : Valeurs médianes des REH et RSH sur les parcelles fixes et sur l'observatoire.....	25