

# MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE DU LESSIVAGE DU NITRATE EN AB DANS LE BASSIN DE LA SEINE

---

Marie Benoit<sup>1\*</sup>, Josette Garnier<sup>1\*</sup>, Gilles Billen<sup>1</sup>, Benjamin Mercier<sup>1</sup>, Azougui Abdelkader<sup>1</sup>,  
Patrick Ansart<sup>2</sup> et Julien Tounebize<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 7619 Sisyphe, UPMC, BP 105, Tour 56-55, Etage 4, 4 Place Jussieu, 75005 Paris

<sup>2</sup> IRSTEA, Unité de Recherche « Hydrosystèmes et Bioprocédés » 1 rue Pierre-Gilles de  
Genès CS 10030 92761 Antony

\* Auteurs correspondants : [marie.benoit@upmc.fr](mailto:marie.benoit@upmc.fr), [josette.garnier@upmc.fr](mailto:josette.garnier@upmc.fr)

Nous remercions l'ensemble des agriculteurs qui, participant au réseau ABAC, ont acceptés que l'on équipe leurs parcelles et nous aident pour les prélèvements. Sans eux ce travail de mesures dans des exploitations agricoles ne serait pas possible. Merci à Eric Gobard, Raoul Leturcq, Dominique Collin, Eric Lefèvre et Christophe Dupuis pour leur collaboration.

## Table des matières

Résumé .....	4
1. Introduction .....	5
2. Sites d'études dans le bassin de la Seine .....	7
3. Matériel et méthodes .....	8
3.1 Caractéristiques des exploitations agricoles .....	8
3.2 Lixiviation de l'azote à l'aide de bougies poreuses .....	9
3.3 Analyses en laboratoire .....	11
3.3.1 Concentrations sous-racinaires .....	11
3.3.2 Reliquats azotés .....	11
3.3.3 Propriétés physicochimiques du sol.....	11
3.4 Dispositif allégé en 2011/2012.....	11
4. L'azote sous-racinaire : résultats 2011/2012.....	13
4.1 Caractéristiques des sols .....	13
4.2 Pluviométrie 2011-2012 .....	14
4.3 Lessivage de l'azote.....	15
5. Conclusion.....	17
6. Références bibliographiques .....	18

## Table des illustrations

Figure 1. Carte lithologique présentant les pôles sélectionnés .....	7
Figure 2 : Mise sous-vide (a) et récupération de l'eau lessivée (b) dans une bougie poreuse.....	10
Figure 3 : Pluviométrie au cours de l'année 2011-2012 en Seine et Marne.....	14
Figure 4 : Pluviométrie de juin 2011 à juin 2012 dans l'Oise.....	15
Figure 5 : Evolution des concentrations sous-racinaires au cours de la période de drainage 2011-2012 (exploitation 1).....	16
Figure 6 : Moyenne des concentrations sous-racinaire des deux exploitations en AB de mars-mai 2012.....	17
Tableau 1 : Etudes ayant réalisée des mesures de lessivage de nitrate en grande cultures AC dans le nord de la France. ....	6
Tableau 2 : Description des sites suivis en 2012/2013.....	9
Tableau 3 : Itinéraires techniques des parcelles équipées en 2011/2012. ....	12
Tableau 4 : Equipement des exploitations au cours des deux dernières périodes de drainage.....	12
Tableau 5 : Analyses de sols (INRA d'Arras).....	13

## Acronymes

AB : Agriculture Biologique

AC : Agriculture Conventionnelle

EA : Exploitation agricole

GES : Gaz à effets de serre

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

Irstea : Institut National de Recherche en Sciences et Technologiques pour l'Environnement et l'Agriculture

SAU : Surface Agricole Utile

ARVALIS : Institut du Végétal

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

FNAB : Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique

DIM ASTREA : Domaine d'intérêt Majeur de la Région Ile-de-France « *Agrosociences, Ecologie des Territoires, Alimentation* ».

## Résumé

Les pratiques intensives de l'agriculture conventionnelle (AC) des années 70, ont entraîné une contamination nitrique importante des aquifères, des eaux de surface et de l'atmosphère, due aux engrais de synthèse. En effet, les essais de longues durées de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) des années 90, qui ont étudié les concentrations sous-racinaires sur grandes cultures AC dans le nord de la France, conduisent à une moyenne de  $25 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$  avec  $\pm 4 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$  selon différents types de sols, de cultures et de conditions climatiques, sachant que la norme de potabilité est de  $11 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$ . Depuis, la directive « nitrates » (1991) qui a mis en œuvre un code de « bonnes pratiques agricoles » et la directive cadre européenne sur l'eau (2000) qui impose le « bon état » chimique des eaux souterraines d'ici décembre 2015, la question de l'agriculture biologique (AB), qui utilise uniquement des engrais organiques, se pose comme alternative pour limiter les contaminations nitriques. Toutefois les données concernant les réelles contaminations en AB manquent. Pour y pallier, le projet ABAC (DIM ASTREA-AESN) en lien avec le PIREN-Seine s'est donné pour objectif d'équiper des exploitations agricoles et des sites expérimentaux de grandes cultures dans plusieurs pôles pédoclimatiques du bassin de la Seine, afin de pouvoir quantifier les concentrations et flux sous-racinaires dans des systèmes AB du nord de la France. Les pôles pédoclimatiques se situent à ce stade de l'étude à l'est de Paris (Brie, Seine-et-Marne) ; au nord (plateau Picard, Oise) ; au nord-ouest (essai de la Motte, ferme de Villarceaux, Val d'Oise et essai de la Cage, INRA Versailles) ; au sud, dans l'Yonne et l'Essonne.

Depuis 2011/2012, deux exploitations ont été suivies en Seine-et-Marne (77) et dans l'Oise (60). Aujourd'hui, ces deux pôles comprennent deux exploitations AB, converties depuis 3 et 10 ans, ainsi qu'une exploitation en AC. Les rotations AB ont une moyenne de huit ans [1.luzerne ; 2.luzerne ; 3.blé ; 4.céréales secondaires ; 5.céréales secondaires ; 6.féverole ; 7.blé ; 8.céréales secondaires] et en AC de 3 ans [1.Blé ; 2. Maïs ; 3.Colza]. Dans chaque exploitation, tous les termes de la rotation sont équipés de six bougies poreuses verticales à une profondeur de 90cm. Les bougies poreuses permettent d'aspirer l'eau sous-racinaire, via une mise-sous vide préalable du dispositif. Les prélèvements sont effectués une fois par semaine dès le début de la saison hydrologique puis tous les quinze jours selon les épisodes pluvieux.

Nos premiers résultats (2011-2012) montrent que les concentrations sous-racinaires en AB sont maximales lors des premières pluies drainantes, avec un minimum de  $0,6 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$  pour la luzerne de première année et un maximum de  $45,5 \text{ mgN-NO}_3\text{.L}^{-1}$  pour le blé de luzerne. De plus, les deux exploitations présentent des concentrations sous-racinaires similaires selon le type de cultures, soit de  $14 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$  pour les blés post 2 ans de luzerne ;  $7 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$  pour les céréales post-légumineuses et de  $3 \text{ mg N-NO}_3\text{.L}^{-1}$  pour les légumineuses (luzerne, féverole). Ces résultats sont encore préliminaires mais seront complétés en 2013 pour prendre en compte la variabilité liée aux années climatiques, aux itinéraires techniques AB/AC et aux différents types de sol. L'équipement ainsi que le suivi des différents pôles seront prolongés avec l'aide des agriculteurs et des organismes de recherches (INRA-Laon, INRA-Versailles-Grignon, INRA-Mirecourt, Irstea Antony) et agricoles (FNAB, GAB, Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, Arvalis) afin de consolider et de multiplier nos premiers résultats.

## 1. Introduction

Les pratiques intensives de l'agriculture conventionnelle (AC) depuis les années 70, ont entraîné une contamination nitrique importante des aquifères, des eaux de surface et de l'atmosphère, due aux engrais de synthèse. Les effets se manifestent tout au long de la cascade d'azote, avec la contamination des aquifères qui réduit la qualité de l'eau potable, l'eutrophisation des zones côtières à l'origine de blooms algaux indésirables qui diminuent la biodiversité, gênent le tourisme et la pêche côtiers, mais aussi l'augmentation de gaz à effets de serre (GES) tels le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ).

Les essais de longues durées de l'Institut National de Recherches Agronomique (INRA) et de l'Irstea, qui ont conduit à des mesures des concentrations sous-racinaires sur grandes cultures AC dans le nord de la France dans différents contextes pédoclimatiques et sur un cumul de 22 ans, ont été répertoriés (**Tableau 1**).

Les concentrations sous-racinaires moyennes ( $mg\ N-NO_3.L^{-1}$ ) sont toutes supérieures à limite de potabilité en nitrate qui est de  $11\ mg\ N-NO_3.L^{-1}$ . La moyenne de l'ensemble de ces concentrations mesurées via des outils de mesures directes (eau drainée, reliquats azotés, lysimètres ou bougies poreuses) est en effet de  $25 \pm 4\ mg\ N-NO_3.L^{-1}$ .

Depuis, la directive « nitrates » (1991) qui a mis en œuvre un code de « bonnes pratiques agricoles » ainsi que la directive cadre européenne sur l'eau (2000) qui impose le « bon état » chimique des eaux souterraines d'ici décembre 2015, la question de l'agriculture biologique (AB), qui utilise uniquement des engrais organiques, se pose comme alternative pour limiter les contaminations nitriques. Toutefois les données concernant les réelles contaminations en AB manquent, pour pouvoir quantifier les concentrations et flux sous-racinaires dans les systèmes AB du nord de la France (Mondelaers et al. 2009; Hansen et al. 2000; Askegaard et al. 2011). C'est pourquoi, l'objectif de notre étude est de produire des données pour renseigner les fuites sous-racinaires pour un système de culture contrasté par rapport à l'agriculture conventionnelle.

Un autre objectif est d'utiliser ces données pour modéliser des scénarios de conversion des pratiques agricoles actuelles vers l'agriculture biologique et d'en observer les conséquences sur la qualité des eaux souterraines et de surface, via la modèle biogéochimique (Sénèque/Riverstrahler), scénario qui a déjà été testé à l'échelle, irréaliste, de tout le bassin de la Seine, avec de rares valeurs de concentrations sous-racinaires (Thieu et al. 2011).

Pour pallier à l'absence de données de lessivage de nitrate en AB, le projet ABAC (DIM ASTREA-AESN) en collaboration avec le PIREN-Seine s'est fixé pour objectif d'équiper des exploitations agricoles et des sites expérimentaux de grandes cultures dans plusieurs pôles. Ce projet s'inscrit en partie dans le cadre de la thèse sur les fuites d'azote en AB, de Marie Benoit (DIM Astrea).

L'AB n'utilise pas de fertilisation minérale, mais des apports exogènes organiques (sous forme de fumier, vinasse, fiente) ainsi que l'incorporation de luzerne (engrais verts sous forme de biomasse). De plus, en contrepartie de l'application de produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides), l'AB augmente la fréquence du travail du sol (herse rotative, binage) et l'intégration de légumineuses, qui favorise la diminution de propagation des adventices. Les légumineuses ont en outre le rôle de fixer de l'azote atmosphérique, dans une rotation plus longue (7-9 ans).

Le surplus azoté (ou balance azotée) d'une surface agricole est défini comme la différence entre les entrées d'azote (la fixation symbiotique de légumineuses, les apports exogènes d'engrais organiques et les dépôts atmosphérique) et les sorties (le contenu en azote de la récolte), intégré sur la durée d'un cycle complet de rotation culturale. A moins qu'il ne soit stocké à long terme dans le pool de matière organique du sol, ce surplus correspond aux pertes environnementales d'azote, soit sous forme gazeuses (émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et de diazote (N<sub>2</sub>)) ou par lessivage (ou lixiviation) sous forme de nitrate (NO<sub>3</sub>), nitrite (NO<sub>2</sub>) ou ammonium (NH<sub>4</sub>), (Billen et al. 2009; Galloway et al. 2003) et même de N<sub>2</sub>O dissous (Vilain et al., 2012).

La détermination du surplus azoté des surfaces agricoles, et plus particulièrement des terres arables, est donc un indicateur pertinent des risques de pertes environnementales. Un des objectifs de notre travail sera, à terme, de confronter cet indicateur à l'estimation directe de la lixiviation pour les exploitations suivies.

**Tableau 1 : Etudes ayant réalisée des mesures de lessivage de nitrate en grande cultures AC dans le nord de la France.**

Organismes	Sources	Localisation	Outils de mesure	Années	Sol	Lessivage (N-NO <sub>3</sub> mg.L <sup>-1</sup> )
Irstea Anthony	Arlot et Zimmer, 1990	Faux Perche, Eure et Loire	Eau drainée	76-81	sol lessivé à pseudogley sur limon de plateaux	29
		Orne Saosnoise, Sarthe		80-88	sol brun hydromorphe sur argiles vertes	26
INRA Laôn	Machet et Mary, 1990	Aisne	Reliquats Azotes	83-87		19
INRA Colmar	Chapot, 1990	Colmar	Lysimètres	91-98		32
INRA Mirecourt	Gaury, 1992	Valleroy, Vittel	Bougies poreuses	89-91		18
INRA Châlons sur Marne	Denys, 1990		Lysimètres	80-88		27
Moyenne AC						<b>25</b>
<i>écart-type</i>						<i>4</i>

## 2. Sites d'études dans le bassin de la Seine

A ce jour, quatre pôles pédoclimatiques et lithologiques, ont été définis dans lesquels les exploitations agricoles (EA) ont été sélectionnées (Figure 1) :

- (1) Pôle Est de la Brie (Seine-et-Marne) où 3 EA sont équipées, dont deux en AB converties depuis 3 et 10 ans et une en AC.
- (2) Pôle Nord sur le plateau Picard (Oise) où deux EA sont équipées dont une mixte (conversion à l'AB depuis 3 ans) et l'autre AB depuis plus de 10 ans.
- (3) Pôle Nord-ouest où des reliquats azotés sont réalisés sur les essais de la Cage (INRA Versailles) et de la Motte (ferme de Villarceaux, Val d'Oise) ainsi que le projet d'installation de bougies horizontales pour la saison hydrologique 2013/2014.
- (4) Pôle Sud (Essonne et Yonne), où une exploitation AB est déjà équipée et d'autres agriculteurs sont contactés.

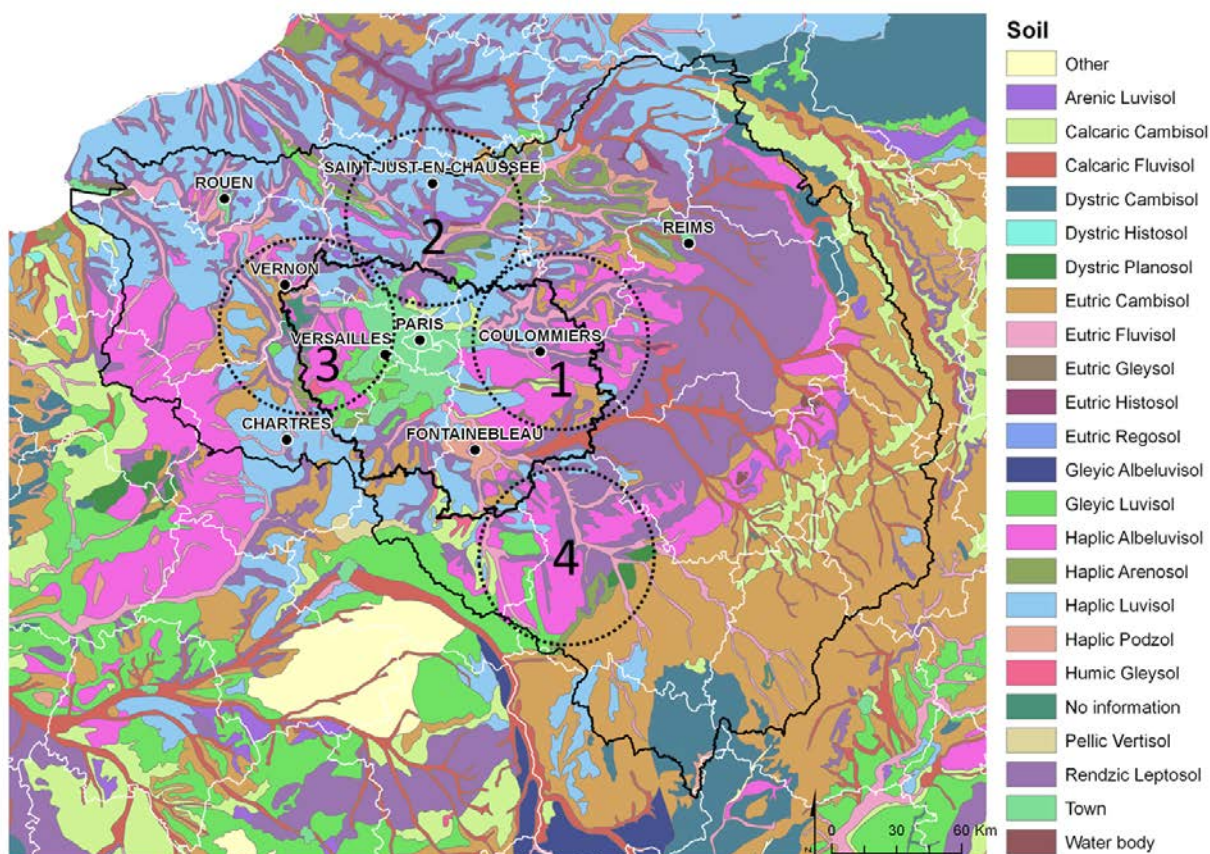


Figure 1. Carte lithologique présentant les pôles sélectionnés

Le territoire choisi est l'Ile-de-France (IDF) élargie, afin de renseigner les grandes zones du Bassin de la Seine. Les EA de grande culture sont la priorité, car elles sont largement

dominantes, la surface agricole utile (SAU) des grandes cultures correspondant en effet à 93% de la SAU AB en IDF.

Le cas du maraîchage, malgré son intérêt scientifique et pour l'Ile-de-France, nécessite un suivi d'itinéraires techniques trop complexes pour cette étude, compte tenu du manque de données actuelles. De même, nous n'investirons pas de manière expérimentale les exploitations en polyculture élevage. En revanche, ces deux types d'exploitation seront traités plus spécifiquement dans la thèse de Juliette Anglade, via des enquêtes auprès des exploitants permettant de calculer les surplus au cours d'une rotation.

### **3. Matériel et méthodes**

#### ***3.1 Caractéristiques des exploitations agricoles***

En 2012/2013, six exploitations ont été équipées en bougies poreuses et deux essais expérimentaux suivis en reliquats azotés en partenariat avec l'INRA de Laon et Arvalis, soit un suivi de 7 itinéraires AB et 4 AC qui correspondent à 39 parcelles en AB et 8 en AC (témoin), du fait des rotations longues (7-9 ans) en AB contrairement à l'AC (2-3ans).

La moyenne des surfaces agricole utile (SAU) des exploitations AB est de 107ha, ce qui est représentatif des exploitations AB de l'IDF. De plus, les dates de conversion varient de 1 à plus de 10 ans et les deux modalités sont présentes dans au moins deux pôles (Seine-et-Marne et Oise).

Les exploitations AB étudiées possèdent des rotations de 7-9 ans associés à la culture de luzerne (exportée en générale) et au labour. Les apports endogènes d'azote, liés à la fixation symbiotique des légumineuses (luzerne, féverolles et intercultures) sont en moyenne  $112 \pm 25 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ . Certaines EA n'utilisent que des légumineuse pour enrichir le sol en azote (Yonne, Villarceaux), d'autres utilisent différents types d'engrais organique, telles que la vinasse de betterave ou le compost de fumier de cheval, dont les doses appliquées sont de  $33 \pm 6 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ , alors que les exploitations en AC vont jusqu'à cinq fois plus d'apports exogène, en moyenne  $150 \pm 46 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ . Au total, la moyenne de fertilisation totale en AB est de  $134 \pm 31 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  contre  $243 \pm 57 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  en AC (Tableau 2).

Ce sont donc deux systèmes qui se basent sur des logiques différentes de fertilisation. L'AC favorise l'incorporation d'azote via des apports exogènes minéraux alors que l'AB favorise les apports d'azote endogène par sa rotation longue comportant des légumineuses (ex. luzerne, féverolles, lentilles).



Tableau 2 : Description des sites suivis en 2012/2013.

Pôle (Dpt)	1. Est (Seine-et-Marne)				2. Nord (Oise)			3. Ouest (Val d'Oise et Yvelines)			4. Sud (Yonne)
<b>SAU (ha)</b>	208	70	105	100	95	280	150	64	30	30	158 ha
<b>Conversion AB</b>		2009	>10 ans	-	1999		2012	2003	productif intégré	Biologique SCV	2009
<b>Rotation</b>	Bett Blé Pois	Luz Luz Blé Lin Fev Blé Trit	Luz Luz Blé Lin T Blé Fev Blé Avoi Trit	Blé Maïs-Fév	Luz Luz Luz Blé Epa Sei Fev Blé Orge	Colza Blé Pois	Luz Blé Cér 2 Leg Blé Cér 2	Luz Luz Blé Sar Fev Blé Pois/Cér Avoi	Blé Colza Blé Pois	non stable Blé Leg	Luz Luz Luz Blé Cér 2 Fev Blé Sei
<b>Apports exogènes (kgN/ha/an)</b>	93	39	33	170	44	200	15	-	135	-	-
<b>Fixation symbiotique (kgN/ha/an)</b>	102	97	94	134	150	77	78	125	58	125	127
<b>Total (kgN/ha/an)</b>	<b>196</b>	<b>136</b>	<b>128</b>	<b>304</b>	<b>195</b>	<b>277</b>	<b>93</b>	<b>125</b>	<b>193</b>	<b>125</b>	<b>127</b>

AC

AB

### 3.2 Lixiviation de l'azote à l'aide de bougies poreuses

Plusieurs méthodes existent pour mesurer la quantité d'azote lixivié, comme les lysimètres ouverts, la méthode de reliquats azotés et les bougies poreuses (Stopes et al. 2002). Nous avons retenu ces deux dernières méthodes, car elles pouvaient se mettre en place rapidement, à faible coût d'investissement et sans destruction des parcelles. Concernant les bougies, une pose verticale nous a permis de ne pas engager d'importants travaux de terrassement dans les parcelles des EA, mais aussi d'effectuer des mesures rapidement sans destruction de la structure du sol. Cette procédure a l'inconvénient de devoir être enlevées avant chaque labour et reposées ensuite. Bien que le dispositif horizontal soit parfois préconisé, une comparaison des deux dispositifs horizontaux et verticaux montre des résultats sont semblables entre les deux dispositifs ( $P \geq 0.05$ ) (Bowman et al., 2002).

L'objectif sera toutefois d'installer des bougies poreuses horizontalement dans les essais expérimentaux de longue durée au cours de l'année 2013, là où pour l'instant nous avons adopté la méthode des reliquats.

Dans chaque exploitation, six bougies poreuses (85cm de long, 3mm de diamètre) ont été installées sur chaque parcelle des rotations, soit un total de **234 bougies installées**. Les bougies sont disposées en ligne, parallèlement au travail du sol, à un minimum de 14m de la bordure du champ et en dessous de la surface du sol (5 cm) pour permettre le travail du sol superficiel. Le dispositif de bougies poreuses permet de récupérer l'eau au-delà de la zone racinaire (soit une profondeur de prélèvements d'eau au moins de 90 cm), grâce à une mise sous-vide préalable (au minimum 48h). L'eau sous-racinaire est ensuite récoltée à l'aide d'un tube de prélèvement relié d'une part à un flacon et d'autre part à la pompe à vide (Figure 2). Les prélèvements sont effectués une fois par semaine dès le début de la saison hydrologique puis tous les quinze jours, selon les épisodes pluvieux.

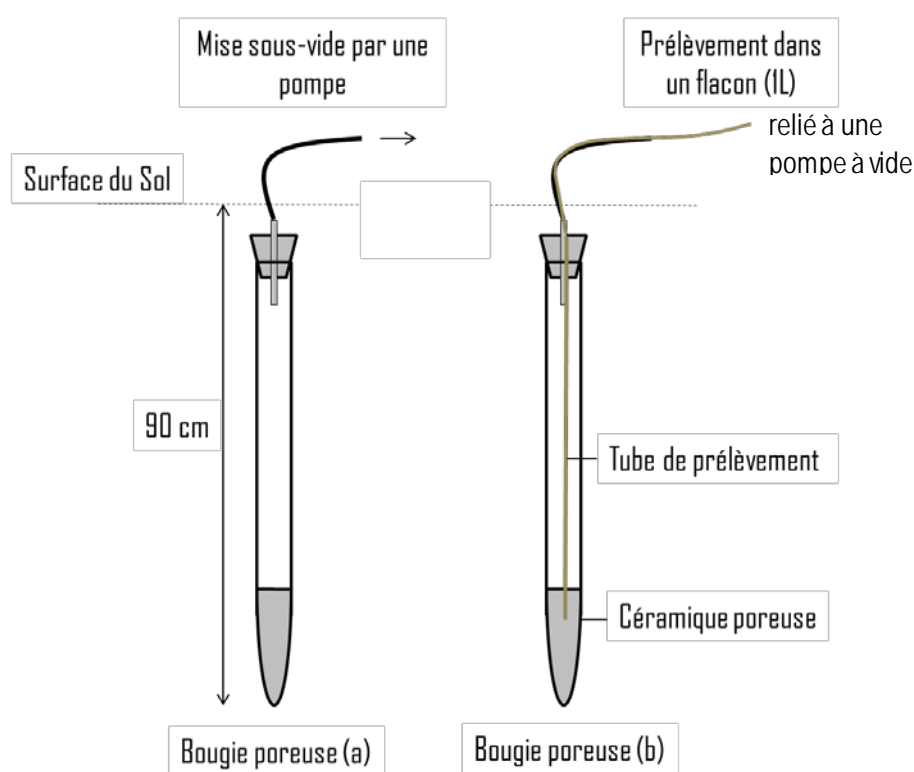


Figure 2 : Mise sous-vide (a) et récupération de l'eau lessivée (b) dans une bougie poreuse.

### **3.3 Analyses en laboratoire**

#### **3.3.1 Concentrations sous-racinaires**

L'eau prélevée dans chaque bougie est congelée jusqu'à l'analyse, réalisée à l'aide d'un auto-analyseur Quattro (Bran & Luebbe) afin de déterminer les concentrations en azote inorganique ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ). La méthode utilisée pour mesurer l'ammonium est basée sur le réactif de l'indophénol bleu (Slawyk et MacIsaac 1972). Les nitrites et les nitrates sont mesurés avec la méthode au sulphanilamide (Jones 1984). Les nitrates sont déterminés après réduction en nitrite

#### **3.3.2 Reliquats azotés**

Des analyses de reliquats azotés sont effectuées tout au long de l'année pour les essais expérimentaux (4 prélèvements/an) et au moment de l'installation des bougies poreuses pour les EA.

Six forages d'une profondeur de 90cm (diamètre de 31mm) ont été segmentés en trois horizons [0-30 cm ; 30-60 cm ; 60-90 cm], afin d'être analysés au laboratoire pour déterminer les formes minérales de l'azote, nitrate, nitrite, ammonium ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), après extraction au KCl. Les essais expérimentaux suivent le même protocole et deux prélèvements ont déjà été effectués en novembre 2012 et février 2013.

Les concentrations en azote minéral ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) sont déterminées en plaçant 5g de sol dans 20ml de KCl (1M) pendant 2h sur une table agitante. Les suspensions sont centrifugées pendant 10 min à 3000 tours par minutes et le surnageant est congelé à  $-18^\circ\text{C}$  jusqu'à l'analyse à l'auto-analyseur (Quattro, Bran & Luebbe).

#### **3.3.3 Propriétés physicochimiques du sol**

Des triplicats de sol (30 g) sont utilisés pour déterminer l'humidité et la MO, les échantillons sont placés à  $105^\circ\text{C}$  (48h) et  $450^\circ\text{C}$  (4h) respectivement. Des échantillons sont lyophilisés pour déterminer la granulométrie, le carbone organique, l'azote total, C/N, %MO et le phosphore (analyses faites à l'INRA d'Arras).

### **3.4 Dispositif allégé en 2011/2012**

Le dispositif allégé comprenait trois bougies poreuses sur 4 parcelles dans chaque exploitation, en Seine-et-Marne (exploitation 1) et dans l'Oise (exploitation 2).

Les parcelles équipées en Seine-et-Marne (exploitation mixte AB/AC) étaient un blé de betterave (AC), une féverolle de blé (AB), une luzerne de blé (AB) et un blé de luzerne (AB). Dans l'Oise (exploitation AB) les investigations ont été menées pour un orge de lentille, un blé de luzerne, un blé de féverolle, une luzerne de luzerne et un maïs de seigle.

En Seine-et-Marne, le sol est argilo-limoneux sur un substrat d'argile, ce qui implique la présence d'un réseau de drainage sur l'ensemble des parcelles étudiées, à 90cm de profondeur. Dans l'Oise, le sol est limoneux-argileux sur un substrat crayeux et perméable. Les pH moyens sont de 7 et 8 et la taille des parcelles de 10 et 5ha, respectivement pour les deux exploitations. Les apports organiques moyens sont de 100uN via des composts de fumier de cheval (NPK : 5,2 – 3,7 – 12,1) et/ou de la vinasse de betterave (NPK : 2.1 – 0- 7.5). En AC, la dose d'engrais synthétique est de 130 uN en plusieurs apports (Tableau 3). Il est important de noter que la dose d'engrais synthétiques est relativement faible dans cette exploitation mixte AB.AC, pratiquant en parallèle deux systèmes de cultures.

**Tableau 3 : Itinéraires techniques des parcelles équipées en 2011/2012.**

Exploitations	(1) Seine et Marne (AC/AB)				(2) Oise (AB)			
Cultures (précédent)	Blé (betterave) AC	Féverole (blé)	Luzerne (blé)	Blé (luzerne)	Blé (féverolle non récoltée)	luzerne (luzerne)	maïs (seigle)	orge (lentille)
sol	limoneux argileux et drainé				argileux-limoneux, substrat crayeux			
pH	<b>7,67</b>	<b>7,35</b>	<b>7,13</b>	<b>6,57</b>	<b>8,2</b>	<b>8</b>	<b>7,8</b>	<b>7,6</b>
Fertilisation (doses)	58 + 70uN	100uN	-	-	-	-	100uN	-
Rendement (TMS/ha)	9,1	3,8	12	3,4	5	10		4

uN : kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>

Les résultats du réseau ABAC n'étant pas tous analysés, seuls les résultats du dispositif allégé suivi en 2011/2012 sur deux exploitations, en Seine-et-Marne et dans l'Oise sera présenté (Tableau 4).

**Tableau 4 : Equipement des exploitations au cours des deux dernières périodes de drainage**

Période	2011/2012	2012/2013
Nb d'exploitations	<b>2</b>	8
Nb parcelles	<b>8</b>	46
Nb bougies poreuses	<b>24</b>	234

## 4. L'azote sous-racinaire : résultats 2011/2012

### 4.1 Caractéristiques des sols

Les parcelles étudiées au cours de l'année 2011/2012 ont été analysés à 20 et 100cm de profondeur. Les sols des deux exploitations ont des granulométries proches, leurs quantités moyennes d'argiles sont de 24-33%, de limons de 68-60% et de sables de 8-7% pour les profondeurs de 20-100 cm respectivement. Les teneurs en carbone organique et l'azote total sont en moyenne également proches pour les deux exploitations (écarts-types  $\leq 0,2$ ), sauf pour la parcelle AC de l'exploitation 1 qui est plus élevée en MO à 100cm (MO = 21.3g/kg). Les teneurs moyennes en carbone pour 20-100 cm sont de 3-11 g/kg, en azote de 0-1 g/kg en moyenne sur 20-100 cm, soit une valeur moyenne de C/N de 7-10. La MO moyenne de 20-100cm est de 3,2- 20, en excluant la valeur de MO100cm en AC.

Les concentrations en azote inorganique sont d'une manière générale, supérieures pour les parcelles post-légumineuses (orge post-lentille = 12 ([N-NO<sub>3</sub>-]  $\mu\text{g/g}$ ; blé de luzerne = 5 et 8 ([N-NO<sub>3</sub>-]  $\mu\text{g/g}$  pour les EA 1 et 2 respectivement), (**Tableau 5**). Les teneurs en ammonium sont de l'ordre de 2 à 10 [N-NH<sub>4</sub>-]  $\mu\text{g/g}$ , toujours plus élevées à l'exploitation 2 de l'Oise.

Les concentrations en nitrite sont faibles, de l'ordre de 0.01 ([N-NO<sub>2</sub>-]  $\mu\text{g/g}$  dans les deux cas, ce qui est attendu, le nitrite étant un composé intermédiaire et transitoire des processus microbiologiques (**Tableau 5**).

**Tableau 5 : Analyses de sols (INRA d'Arras).**

#### Exploitation 1 - Seine-et-Marne (16/02/2012)

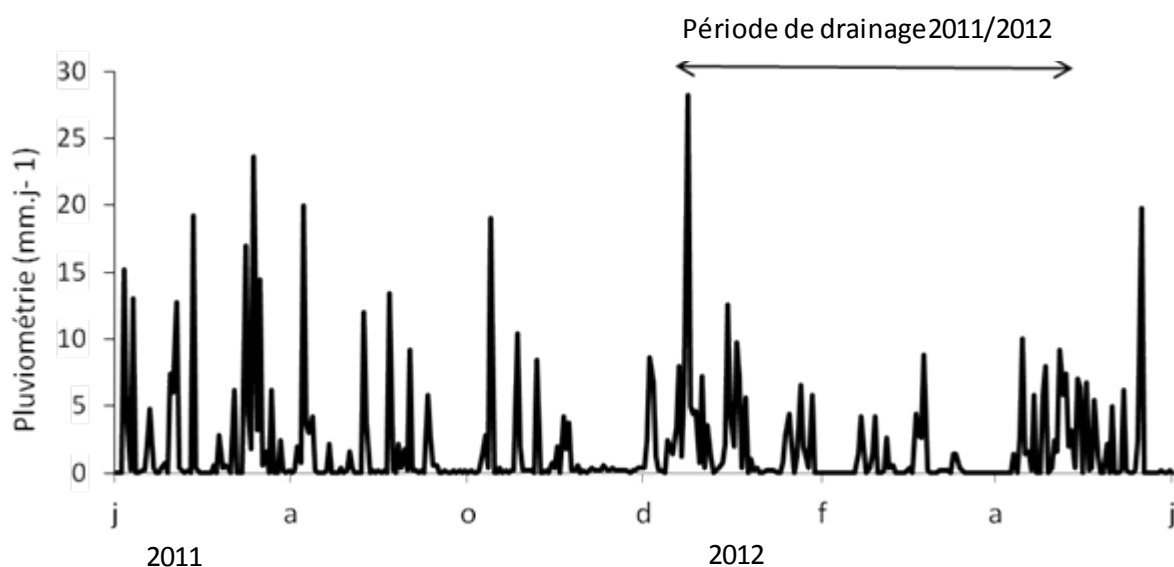
Culture (précédent)	Blé (Betterave) AC		Féverole (Blé)		Luzerne (Blé)		Blé (Luzerne)		Moyenne écarts-types			
profondeur (cm)	20	100	20	100	20	100	20	100	20		100	
Granulométrie 5 fractions sans decarbonatation (%)												
argile < 2	26	26	28	35	18	32	21	35	<b>23</b>	4,0	32	3,1
limons	67	67	66	55	75	64	66	59	<b>68</b>	3,2	61	4,4
sables	7	7	6	10	8	4	14	7	<b>9</b>	2,5	7	1,7
Carbone © organique et azote (N) total (g/kg)												
carbone	12,2	12,3	12,0	1,2	10,0	1,7	11,5	2,6	<b>11,4</b>	0,7	<b>4,5</b>	3,9
azote	1,2	1,2	1,2	0,2	1,0	0,2	1,2	0,4	<b>1,1</b>	0,1	<b>0,5</b>	0,4
C/N	10,1	10,2	9,9	5,7	10,3	7,0	9,9	7,1	<b>10,0</b>	0,2	<b>7,5</b>	1,4
MO	21,1	21,3	20,7	2,1	17,3	2,9	19,9	4,5	<b>19,8</b>	1,2	<b>3,2</b>	6,8
Phosphore total HF (g/kg)												
phosphore	0,01	0,01	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	<b>0,04</b>	0,0	<b>0,01</b>	0,0
Azote inorganique ( $\mu\text{g/g}$ )												
N-NO <sub>3</sub> -	3,78	1,39	1,09	0,34	1,88	0,60	<b>5,02</b>	<b>3,39</b>	<b>2,94</b>	1,5	<b>1,43</b>	1,0
N-NO <sub>2</sub> -	0,01	0,00	0,09	0,08	0,01	0,03	0,01	0,01	<b>0,03</b>	0,0	<b>0,03</b>	0,0
N-NH <sub>4</sub> +	2,30	1,53	1,57	1,10	2,98	1,62	4,91	2,30	<b>2,94</b>	1,0	<b>1,64</b>	0,3

**Tableau 6 : Analyses de sols (INRA d'Arras), suite.****Exploitation 2 - Oise (15/03/2012)**

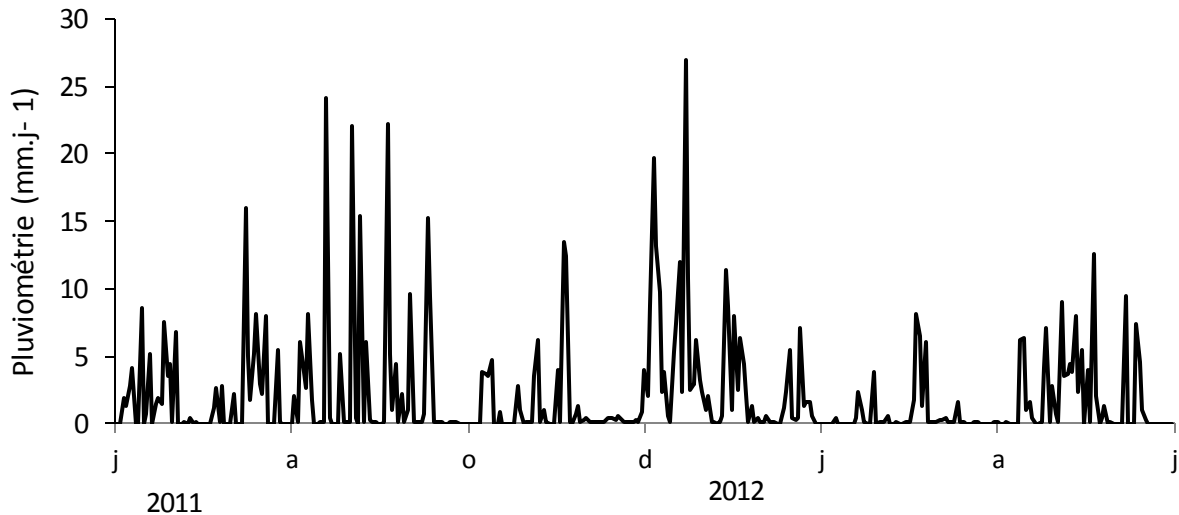
Culture (précédent)	Blé (Féverole)		Orge (lentille)		Luzerne (luzerne)		Blé (luzerne)		Maïs (seigle)		Moyennes écart-types			
	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20		100	
<b>profondeur (cm)</b>														
<u>Granulométrie 5 fractions sans decarbonatation (%)</u>														
argile < 2	22	36	23	45	31	28	25	42	25	20	<b>25</b>	2,3	<b>34</b>	8,0
limons	67	59	67	36	63	68	68	52	70	77	<b>67</b>	1,6	<b>58</b>	11,6
sables	11	5	10	19	6	4	7	7	5	2	<b>8</b>	2,0	<b>7</b>	4,5
<u>Carbone © organique et azote (N) total (g/kg)</u>														
carbone	14,7	2,5	12,1	2,0	10,6	1,7	9,4	3,1	10,1	1,9	<b>11,4</b>	1,6	<b>2,2</b>	0,4
azote	1,4	0,4	1,2	0,3	1,1	0,3	1,0	0,4	1,0	0,2	<b>1,2</b>	0,1	<b>0,3</b>	0,1
C/N	10,8	7,2	9,9	6,5	9,4	6,7	9,4	6,8	9,6	8,0	<b>9,8</b>	0,4	<b>7,0</b>	0,4
MO	25,4	4,4	21,0	3,4	18,3	3,0	16,2	5,3	17,4	3,3	<b>19,7</b>	2,8	<b>3,9</b>	0,8
<u>Phosphore total HF (g/100g)</u>														
phosphore	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	<b>0,2</b>	0,0	<b>0,1</b>	0,0
<u>Azote minéral (µg/g)</u>														
N-NO3-	4,53	3,49	<b>12,00</b>	2,72	4,57	1,41	<b>7,88</b>	8,12	7,04	6,47	<b>7,21</b>	2,2	<b>4,44</b>	2,3
N-NO2-	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,04	0,04	0,00	<b>0,03</b>	0,0	<b>0,01</b>	0,0
N-NH4+	9,14	9,57	8,85	8,48	8,98	8,78	8,46	11,67	8,88	8,63	<b>8,86</b>	0,2	<b>9,43</b>	1,0

**4.2 Pluviométrie 2011-2012**

En Seine et Marne, de juin 2011 à juin 2012, la pluviométrie totale est de 682 mm, mesuré à Boissy-le-Châtel, Irstea. La période de drainage a commencé le 12 décembre 2011 jusqu'au 15 mai 2012, dont une pluviométrie sur cette période de 324 mm et un débit de drains sur les parcelles étudiées de 55mm (Irstea Antony) (Figure 3).

**Figure 3 : Pluviométrie au cours de l'année 2011-2012 en Seine et Marne.**

Dans l'Oise, la pluviométrie sur la période de juin 2011 à juin 2012 est de 733mm et du 12 décembre 2011 au 31 mai 2012 de 304 mm, météo France : Mesnil-sur-Bull (Figure 4). La période de prélèvement dans les bougies a duré de mars à mai 2012, étant donné que les bougies ont été installées mi-mars 2012.



**Figure 4 : Pluviométrie de juin 2011 à juin 2012 dans l'Oise.**

### ***4.3 Lessivage de l'azote***

La période de drainage a duré de décembre 2011 à mai 2012, période pendant laquelle plus de dix prélèvements ont été effectués dans l'exploitation 1, et 4 dans l'exploitation 2, installée plus tardivement (15/03/2012).

Pour l'exploitation 1 en Seine-et-Marne, on remarque que les concentrations sous-racinaires sont maximales lors des premières pluies drainantes (jusqu'à 30-50 mgN-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>), notamment pour les cultures de blé, que ce soit en AC ou en AB. En effet dans les deux cas, il y a eu un apport d'azote endogène au système (résidu de cultures et minéralisation). Au cours de la période de drainage, les concentrations sous-racinaires en nitrate diminuent jusqu'à atteindre des valeurs inférieures à 11 mg N-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, limite de potabilité. Cette évolution temporelle est à prendre en compte dans les risques de lessivage, le début de la saison hivernale plus sujette à la contamination nitrique des hydrosystèmes est ensuite atténuée au cours de la période de drainage (Askegaard et al. 2011).

Les moyennes des concentrations au cours de la saison de drainage sont de 9,4 mgN-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour la parcelle en AC. Pour l'AB, elles sont de 15 mgN-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour le blé de luzerne, 4 mgN-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour la féverole et de 1,4 mgN-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour la luzerne (**Figure 5**).

On peut provisoirement calculer une moyenne globale de l'AB de 6,7 mgN-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>. On constate que la concentration élevée du blé de luzerne est compensée par les autres termes de

la rotation plus faible au cours d'une rotation. Toutefois, outre l'évolution au cours de la période de drainage, une étude complète de l'ensemble de la rotation (6 à 11 termes selon les cas) et sur plusieurs années hydrologiques, est nécessaire afin de prendre en compte certains arrière-effet de la luzerne.

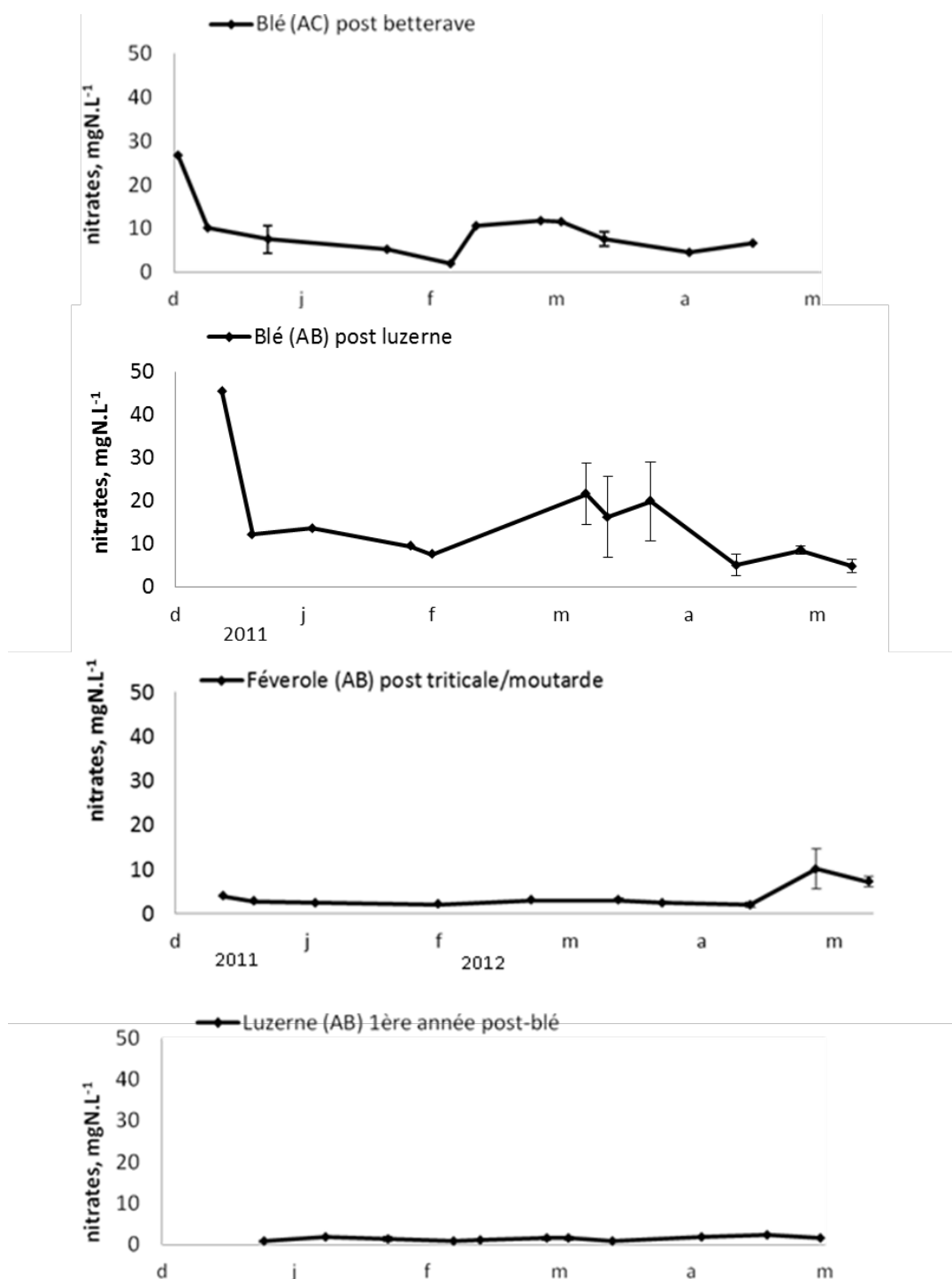


Figure 5 : Evolution des concentrations sous-racinaires au cours de la période de drainage 2011-2012 (exploitation 1).



Avec des caractéristiques de sols proches, nous pouvons comparer les deux exploitations équipées 1 (Seine-et-Marne) et 2 (Oise) pour leurs concentrations sous-racinaires : elles sont similaires selon le type de cultures, soit de 14 mg N-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour les blés post 2 ans de luzerne ; 7 mg N-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour les céréales post-légumineuses (féverolles, lentilles) et de 3 mg N-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> pour les légumineuses (luzerne, féverolles) (Figure 6).

Ce gradient de concentrations montre encore toute l'importance de prendre en compte la totalité des termes de la rotation dans un système AB.

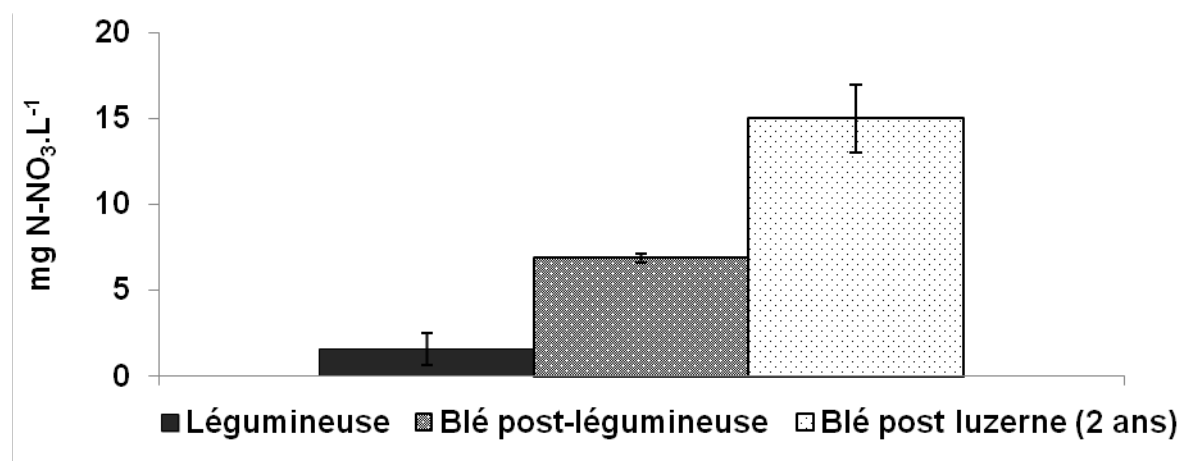


Figure 6 : Moyenne des concentrations sous-racinaire des deux exploitations en AB de mars-mai 2012.

## 5. Conclusion

Ce travail préliminaire confirme l'hypothèse que la conversion en AB en grande culture permet une diminution de la contamination nitrique des hydrosystèmes, par rapport au système conventionnel (lessivage moyen en AC de 25 mgN.L<sup>-1</sup>, contre moins de 10 mgN.L<sup>-1</sup> en AB, à préciser). Le système AB se différencie par sa diversité de cultures et par l'intégration de légumineuses qui apportent de l'azote au système. On constate que la gestion de la luzerne, des intercultures et des cultures de légumineuses (féverolle, lentille) modifie la quantité endogène d'azote dans le système et par conséquent le lessivage. Par exemple, sur les exploitations AB sélectionnées, les apports endogènes sont supérieurs aux apports exogènes, mais la quantité totale d'apport reste toutefois inférieure aux apports en AC.

Au sein de la rotation AB, le risque potentiel de lessivage est le plus important après la culture de luzerne, surtout si elle n'est pas exportée.

Il est prévu dans la suite du projet en 2013 de convertir les concentrations en flux, via les débits de drainage et un modèle, en cours d'élaboration, prenant en compte la pluviométrie, l'évapotranspiration, la vitesse d'infiltration et la réserve utile du sol.

De plus, la totalité des mesures effectuées dans le bassin de la Seine, via le réseau ABAC, permettra de prendre en compte tant l'évolution des concentrations sous racinaires au cours de période de drainage, la totalité des rotations mais aussi la variabilité liée aux conditions pédoclimatiques régionales. L'influence des itinéraires techniques sera aussi analysée pour les exploitations agricoles étudiées. Au cours de l'année 2012, un comité de pilotage du projet ABAC a été mis en place incluant des chercheurs agronomes, des partenaires du programme PIREN-Seine (AESN, Eau de Paris, Région Ile-de-France), des institutions techniques (ARVALIS, ITAB), les chambres d'agriculture, la FNAB et des agriculteurs. Cette diversité de compétences est un atout pour que le projet soit régulièrement discuté et réévalué et une garantie pour acquérir expérimentalement des données qui manquent réellement. Ces données seront autant que possible mises en perspective avec des données recueillies et analysées dans les institutions dont relèvent les membres du comité.

## 6. Références bibliographiques

- Arlot et Zimmer, 1990. Drainage agricole et lessivages de nitrates. Nitrate Agriculture Eau, INRA – réunion internationale
- Askegaard, M., J. E. Olesen, I. A. Rasmussen, et K. Kristensen. 2011. « Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 142 (3): 149–160.
- Billen, G., V. Thieu, J. Garnier, et M. Silvestre. 2009. « Modelling the N cascade in regional watersheds: The case study of the Seine, Somme and Scheldt rivers ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133 (3-4): 234–246.
- Bowman, M. S., T. S. Clune, et B. G. Sutton. 2002. « A modified ceramic sampler and lysimeter design for improved monitoring of soil leachates ». *Water research* 36 (3): 799–804.
- Galloway, J. N., J. D. Aber, J. W. Erisman, S. P. Seitzinger, R. W. Howarth, E. B. Cowling, et B. J. Cosby. 2003. « The nitrogen cascade ». *BioScience* 53 (4): 341–356.
- Hansen, Birgitte, Erik Steen Kristensen, Ruth Grant, Henning Høgh-Jensen, Svend Erik Simmelsgaard, et Jørgen E. Olesen. 2000. « Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems—a systems modelling approach ». *European Journal of Agronomy* 13 (1): 65–82.
- Jones, Martha N. 1984. « Nitrate reduction by shaking with cadmium: Alternative to cadmium columns ». *Water Research* 18 (5): 643–646.

Mondelaers, Koen, Joris Aertsens, et Guido Van Huylenbroeck. 2009. « A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming ». *British food journal* 111 (10): 1098–1119.

Slawyk, Gerd, et Jane J. MacIsaac. 1972. « Comparison of two automated ammonium methods in a region of coastal upwelling ». *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* 19 (7) (juillet): 521-524.

Stopes, C., E. I. Lord, L. Philipps, et L. Woodward. 2002. « Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice ». *Soil Use and Management* 18: 256–263.

Thieu, V., G. Billen, J. Garnier, et M. Benoit. 2011. « Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds ». *Regional Environmental Change* 11 (2): 359–370.