

# Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrates et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique

Mathieu Deneufbourg <sup>(1)</sup>, Christophe Vandenberghe <sup>(1)</sup>, Benoît Heens <sup>(2)</sup>, René Bernaerdt <sup>(2)</sup>, Nathalie Fonder <sup>(3)</sup>, Dimitri Xanthoulis <sup>(4)</sup>, Jean Marie Marcoen <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ. Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Laboratoire de Géopédologie. GRENeRA. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : grenera@fsagx.ac.be.

<sup>(2)</sup> CPL Végémar ASBL. Services agricoles de la Province de Liège. Rue de Huy, 123. B-4300 Waremme (Belgique).

<sup>(3)</sup> Epuvaleau ASBL. Avenue de la Faculté d'Agronomie, 2. B-5030 Gembloux (Belgique).

<sup>(4)</sup> Univ. Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique).

Depuis six ans, la lixiviation de l'azote nitrique est suivie dans six parcelles situées dans une région limoneuse en Hesbaye (Belgique), principalement à vocation légumière. L'outil utilisé est un système lysimétrique installé en plein champ, de manière à ne pas entraver les opérations culturales. Ces lysimètres constituent un outil qui permet un suivi quantitatif de la lixiviation du nitrate au-delà de la zone racinaire. Les objectifs de la recherche sont la mise en place de pratiques plus adéquates en termes de respect de la qualité de l'eau d'une part, une adaptation des conseils de fumure et une évaluation des effets en termes de rendement, de reliquat azoté et de concentration en nitrate dans l'eau récoltée à la base des lysimètres d'autre part. Pour atteindre ces objectifs, des dispositifs expérimentaux ont été mis en place dans les parcelles équipées d'un lysimètre. Ces dispositifs permettent de tester l'impact d'un apport différencié d'engrais azoté. Un suivi APL (Azote Potentiellement Lessivable) permet de rendre compte chaque année du risque de lixiviation de l'azote lié à chacun des scénarios testés sur les différents objets du parcellaire. Enfin, les rendements individuels des différentes sous-parcelles sont quantifiés de manière à tenir compte de l'impact économique des modifications apportées aux pratiques culturales de l'agriculteur. Au cours de l'essai, l'impact d'une baisse de la fertilisation ne s'est fait ressentir que sur les rendements en double culture légumière, uniquement sur la seconde culture. Les autres essais ont montré qu'une diminution de la fertilisation (par rapport au conseil de fumure), voire une fertilisation « zéro azote » n'avait aucun impact sur le rendement et la qualité de la récolte. Une réflexion quant à la date du prélèvement de sol en vue d'établir le conseil de fumure a également été menée.

**Mots-clés.** Lysimètre, lixiviation, nitrate, Azote Potentiellement Lessivable, eau, conseil de fertilisation azotée.

**Adaptation of agricultural practices according to requirements of the Nitrates Directive and validation through nitrates leaching follow up thanks to lysimeters.** Since six years nitric nitrogen lixiviation is followed in six fields located in a silty area in Hesbaye (Belgium), mainly dedicated to vegetable crops. Open-field lysimeters are used, with the aim not to impede agricultural operations. These lysimeters allow the quantitative follow-up of the nitrate lixiviation below the root zone. The aims of the project are the setting up of better agricultural practices with regard to water quality on the one hand, and the adjustment of fertilization advice and the assessment of the impacts on yields, nitrogen remainder, and nitrate concentration in the water collected at the bottom of the lysimeter on the other hand. To reach these aims, experimental designs were set up in the parcels equipped with a lysimeter. These designs allow to test the impact of different levels of nitrogen fertilizers. An environmental indicator (APL in French) follow-up allows to make each year a report on the risk of nitrogen lixiviation related to the different objects tested on the subparcels. Finally, individual yields on the different subparcels are quantified to take the economic impact of the agricultural practices modification into account. During this test, the impact of a fertilization level reduction was just observed on the yields during double vegetable growing, only on the second crop. The other tests showed that a reduction of nitrogen fertilization level (in comparison with fertilization advice), and even, in some cases, no fertilization had no impact on yield and crop quality. A reflexion about soil sampling date for nitrogen fertilization advice was also lead.

**Keywords.** Lysimeters, lixiviation, nitrates, environmental indicator, water, nitrogen fertilization advice.

## 1. INTRODUCTION

En mars 2003 débutait un projet de deux ans qui a mis en place et exploité six lysimètres dans la région limoneuse de Hesbaye (Fonder et al., 2005). Ces lysimètres permettent un suivi quantitatif de la lixiviation de l'azote nitrique sous la zone racinaire en vue de fournir rapidement et de manière ciblée au secteur agricole une assurance quant à la pertinence des normes et des valeurs d'APL (Azote Potentiellement Lessivable) de référence d'une part, et de permettre de vérifier l'adéquation entre ces valeurs de référence, les conseils de fumure et l'objectif de préservation de la qualité des eaux d'autre part. Suite à ce projet, une deuxième étude (mars 2005 à mai 2007) a débuté, qui a permis de continuer le suivi de la lixiviation de l'azote nitrique grâce à l'outil lysimétrique (Fonder et al., 2007). Il est ressorti de ces deux études que le suivi des conseils de fertilisation tels qu'ils étaient établis en 2007 ne suffit pas à ramener la concentration en nitrate dans l'eau de percolation sous les 50 mg·l<sup>-1</sup> pour toutes les cultures. En conséquence, il faut évaluer l'impact d'une modification des pratiques agricoles. Ces modifications portent essentiellement sur deux aspects : une diminution des marges de sécurité dans les conseils de fumure et une adaptation des successions culturales.

Les objectifs de la recherche en cours (janvier 2008-décembre 2009) sont donc :

- la mise en place de successions et pratiques plus adéquates en termes de respect de la qualité de l'eau et l'évaluation de l'impact financier,
- une adaptation des conseils de fumure et une évaluation des effets en termes de rendement, de reliquat azoté et de concentration en nitrate dans les lysimètres.

Un dispositif expérimental a donc été mis en place dans les parcelles équipées d'un lysimètre, avec un apport différencié d'engrais azoté sur les différentes sous-parcelles. Afin d'atteindre les objectifs fixés, des mesures individualisées de rendement et d'APL sont effectuées dans les sous-parcelles. Grâce aux lysimètres, les relations APL/azote lessivé sont évaluées.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Installation des lysimètres

L'analyse des avantages et inconvénients des systèmes lysimétriques a orienté le choix vers un système semi-fermé. Ce système permet de mesurer simultanément la solution de drainage et sa concentration dans un volume parfaitement défini tout en permettant une

exploitation en plein champ, sans gêne pour les opérations culturales.

Après compilation des données de réalisations pratiques et des paramètres à respecter pour une lysimétrie de qualité, trois lysimètres en système sol non remanié et trois en système sol remanié ont été installés en plein champ (Fonder et al., 2010).

La cuve lysimétrique est en inox, circulaire, de 1 m<sup>2</sup> de section pour une hauteur de 1,5 m.

La cuve lysimétrique est placée verticalement à 50 cm sous la surface du sol, pour être en conditions réelles d'exploitation et sans gêne pour les pratiques agricoles, en plein champ, à l'extérieur des tournières. Le plancher drainant, situé à 2 m de profondeur, évacue les eaux récoltées par le biais d'un tuyau vers un bidon de récolte placé dans une chambre de visite construite en bordure de champ.

### 2.2. Description des sites retenus

Les lysimètres sont installés au sein de deux fermes faisant partie du « Survey Surfaces Agricoles », réseau de 35 exploitations situées sur le territoire wallon et dans lesquelles plus de 200 parcelles sont suivies en matière de gestion de l'azote, dans le but d'établir annuellement les valeurs d'APL de référence (Vandenberghe et al., 2004). Les lysimètres sont implantés en partie dans un périmètre d'irrigation de cultures légumières industrielles en rotation avec les grandes cultures classiques. Ces parcelles sont également suivies par l'ASBL Centre Provincial Liégeois des productions végétales et maraichères (CPL Végémar) qui contribue notamment à la gestion du périmètre irrigué utilisant les eaux usées d'une usine de congélation et de conditionnement de légumes.

Les sols caractéristiques de la région sont des limons profonds (plusieurs mètres d'épaisseur). Chaque site a été caractérisé d'un point de vue pédologique par un sondage à la tarière, jusqu'à la profondeur de 2 m. La caractérisation pédologique complète des parcelles équipées d'un lysimètre est décrite par Fonder et al. (2005).

Les sites lysimétriques sont appelés par les noms des parcelles utilisés par les agriculteurs, à savoir PL1, PL3, Sole 4, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Petit Pont et Grosse Pierre Chemin de Fer.

### 2.3. Description des essais menés sur les sites lysimétriques

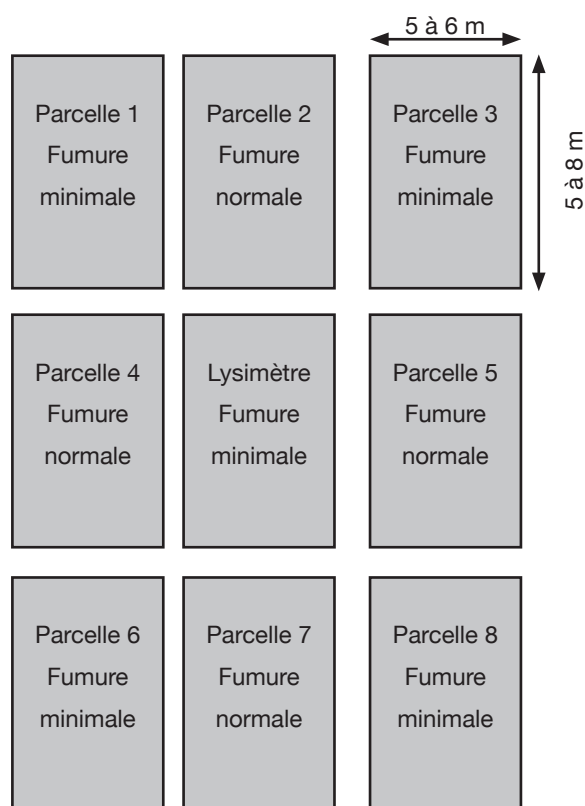
Au cours de l'année 2008, quatre des six parcelles équipées d'un lysimètre ont fait l'objet d'un essai. Les deux autres parcelles étaient emblavées en froment, culture pour laquelle la fertilisation azotée est bien maîtrisée. En 2009, un dispositif expérimental a également été implanté sur quatre des six parcelles.

Les sous-parcelles sont récoltées séparément en vue de la quantification de leur rendement. Le reliquat azoté est mesuré dans chacune des sous-parcelles par la prise d'un échantillon composite composé de huit carottes de sol jusqu'à 90 cm de profondeur, en trois couches de 30 cm.

Le parcellaire est constitué de micro-parcelles de 30 à 40 m<sup>2</sup> selon les situations. L'expérimentation porte sur deux niveaux de fertilisation azotée : un niveau de fumure qualifié de « normal » basé sur un conseil de fumure établi sur base d'une mesure du reliquat azoté au semis et un niveau de fumure qualifié de « minimal » basé sur une réduction du conseil de fumure pouvant aller jusqu'au niveau « zéro azote ». Quatre répétitions par niveau de fertilisation sont mises en place (**Figure 1**).

La fumure minimale est systématiquement appliquée sur la sous-parcelle située à l'aplomb du lysimètre. Il s'agit du scénario potentiellement le plus favorable à la réduction des teneurs en nitrate de l'eau percolée.

Aucune fumure azotée minérale n'est appliquée avant le semis. Juste après le semis, les prélèvements de sol nécessaires à la mesure du profil azoté et au calcul de fumure sont effectués. L'azote est appliqué avant l'émergence de la culture.



**Figure 1.** Exemple de parcellaire expérimental — *An example of experimental design.*

Le **tableau 1** reprend un descriptif du protocole pour les différentes parcelles. Ce tableau reprend cinq des six parcelles équipées d'un lysimètre ; le lysimètre de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont a en effet été déterré en raison de son fonctionnement hydrologique perturbé dû à une topographie non plane à cet endroit et à une couche de sol compactée entre 60 et 75 cm de profondeur. Ce lysimètre a été déplacé sur une autre parcelle en Hesbaye au mois d'août 2009.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Parcelle Sole 4

La parcelle Sole 4 a été emblavée en carotte en 2008, faisant suite à une culture de froment non suivie d'une CIPAN (Culture Intermédiaire Piège à Nitrate) en 2007. Les carottes ont été semées le 6 mai 2008.

Sur le parcellaire expérimental, 20 kg N·ha<sup>-1</sup> ont été appliqués sous forme minérale sur quatre sous-parcelles de l'essai (objet 1, fumure normale) et aucune fumure minérale n'a été appliquée sur cinq sous-parcelles, dont celle située à l'aplomb du lysimètre (objet 2, fumure minimale). Le conseil de fumure (20 kg N·ha<sup>-1</sup>) se base sur la mesure du reliquat azoté effectuée le 14 mai 2008 (**Tableau 2**). Le profil en azote est relativement chargé à cette date, en raison des températures élevées des deux premières semaines de mai et du travail important du sol pour le semis, favorisant une minéralisation élevée avant le prélèvement des échantillons.

À titre de comparaison, 39 kg N·ha<sup>-1</sup> ont été appliqués par l'agriculteur sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) sur base d'un conseil réalisé après un prélèvement d'échantillons de sol effectué le 7 mars 2008 (**Tableau 2**). On peut voir que le profil est moins chargé en azote à cette date, surtout dans l'horizon de surface, en raison du fait que la minéralisation n'a pas encore repris à ce moment.

**APL.** Les carottes ont été récoltées le 5 novembre 2008. Un profil azoté a été réalisé le 10 décembre 2008 sur le parcellaire expérimental pour déterminer d'éventuelles différences d'APL entre objets testés et le 1<sup>er</sup> décembre sur l'ensemble de la parcelle à l'exception de l'essai (**Tableau 3**).

On peut voir que la culture de carotte laisse des APL faibles après récolte, pour autant que la fumure azotée appliquée soit raisonnée ; la carotte a donc bien utilisé l'azote présent en surface au semis. L'APL mesuré sur l'ensemble de la parcelle à l'exception de l'essai se chiffre au double des valeurs mesurées sur le parcellaire expérimental.

Une analyse de la variance a été menée sur les résultats APL obtenus afin de déterminer s'il existe une différence statistiquement significative (avec un

**Tableau 1.** Descriptif du protocole sur les parcelles équipées d'un lysimètre en 2008 — *Description of the protocol for the parcels equipped with a lysimeter in 2008.*

Parcelle	Culture	Date de semis	Fumure normale	Fumure minimale	Date de récolte
PL1	Froment	pas d'essai	-	-	-
PL3	Betterave	23 avril	72 UN	0 UN	22 septembre
Sole 4	Carotte	6 mai	20 UN	0 UN	5 novembre
Chemin de fer	Fève des marais	6 mai	52 UN	0 UN	25 juillet
	Chou frisé	1 aout	80 UN	0 UN	28 novembre
Bovenistier	Froment	pas d'essai	-	-	-

**Tableau 2.** Reliquats azotés (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) mesurés dans le sol sur la parcelle Sole 4 pour établir le conseil de fumure — *Nitrogen remainders (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) in soil on the Sole 4 parcel to establish fertilization advice.*

Profondeur du sol	Essai fumure minimale (14.05.08)	Essai fumure normale (14.05.08)	Parcelle entière sauf essai (07.03.08)
0-30 cm	55	57	30
30-60 cm	48	48	44
60-90 cm	43	42	49
<b>Total</b>	<b>146</b>	<b>147</b>	<b>123</b>

**Tableau 3.** Azote Potentiellement Lessivable (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) mesuré dans le sol sur la parcelle Sole 4 — *Nitrogen remainders (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) in soil on the Sole 4 parcel.*

Profondeur du sol	Essai fumure minimale (10.12.08) 0 kg N·ha <sup>-1</sup> appliqué	Essai fumure normale (10.12.08) 20 kg N·ha <sup>-1</sup> appliqués	Parcelle entière sauf essai (01.12.08) 39 kg N·ha <sup>-1</sup> appliqués
0-30 cm	3	2	9
30-60 cm	4	3	8
60-90 cm	5	8	7
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>24</b>

degré de signification  $\alpha = 5 \%$ ) entre les objets testés. Il est ressorti de ce test que les (faibles) différences d'APL observées entre les deux objets testés ne sont pas statistiquement significatives.

**Rendements.** Les rendements ainsi que les poids moyens par carotte obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 sont repris dans le **tableau 4**. Les rendements et les poids moyens par carotte obtenus sur cet essai sont proches entre les deux objets. L'analyse de la variance confirme qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative (avec un degré de signification  $\alpha = 5 \%$ ) entre les rendements obtenus pour les deux objets testés.

**Lien avec la qualité de l'eau de percolation.** L'eau récoltée en fin de saison de drainage 2008-2009 présentait des teneurs en nitrate élevées (213 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·l<sup>-1</sup> en moyenne entre mars et juin 2009). Ce niveau de concentration est entre autres causé par l'absence de CIPAN après la culture de froment qui

**Tableau 4.** Rendements et poids moyen par carotte obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 — *Yields and average weights by carot get on the Sole 4 experimental design.*

Paramètre	Fumure minimale	Fumure normale
Rendement (t·ha <sup>-1</sup> )	112,43	112,54
Poids moyen par carotte (g)	286	287

a précédé les carottes. La culture de carotte a donc pu récupérer une partie de l'azote présent en surface au semis, comme le montrent les APL faibles à la récolte, mais le faible enracinement de cette culture n'a pas permis de récupérer l'azote en profondeur ; cet azote a migré en profondeur et se retrouve *in fine* dans les eaux souterraines.

### 3.2. Parcelle PL3

La parcelle PL3 a été emblavée en betterave en 2008, faisant suite à une culture de froment suivie d'une CIPAN (phacélie) en 2007. Les betteraves ont été semées le 23 avril 2008.

Sur le parcellaire expérimental, 72 kg N·ha<sup>-1</sup> ont été appliqués sous forme minérale sur quatre sous-parcelles de l'essai (objet 1, fumure normale) et aucune fumure minérale n'a été appliquée sur cinq sous-parcelles, dont celle située à l'aplomb du lysimètre (objet 2, fumure minimale). Le conseil de fumure (72 kg N·ha<sup>-1</sup>) se base sur la mesure du reliquat azoté effectuée le 6 mai 2008 (**Tableau 5**). Les deux profils en azote réalisés à cette date sur les sous-parcelles de l'essai sont assez chargés, particulièrement dans l'horizon de surface. On peut y voir l'effet d'une minéralisation importante suite à des températures élevées et à l'application de matière organique à l'automne précédent (200 kg N·ha<sup>-1</sup> sous forme de fumier de bovin et de déchets de laine).

À titre de comparaison, 120 kg N·ha<sup>-1</sup> ont été appliqués par l'agriculteur sur l'ensemble de sa parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) sur base d'un conseil réalisé après un prélèvement d'échantillons de sol effectué le 7 février 2008 (**Tableau 5**). On peut voir que le profil est moins chargé en azote à cette date, en raison du fait que la minéralisation n'a pas encore repris à ce moment.

**Reliquat azoté post-récolte.** Les betteraves ont été récoltées le 22 septembre 2008. Un profil azoté a été établi le 9 octobre 2008 sur le parcellaire expérimental pour déterminer d'éventuelles différences de reliquat azoté entre les objets testés et le 29 octobre sur

l'ensemble de la parcelle à l'exception de l'essai (**Tableau 6**).

Les profils établis en octobre sont peu chargés en azote nitrique, surtout dans les horizons intermédiaire et profond, soulignant la bonne utilisation de l'azote par la betterave au cours de son cycle de croissance ; la quantité d'azote nitrique présente dans l'horizon de surface est partiellement influencée par le travail du sol et la minéralisation des feuilles qui ont eu lieu entre l'arrachage des betteraves et la prise d'échantillons de sol. L'APL mesuré sur l'ensemble de la parcelle à l'exception de l'essai se chiffre à près du double des valeurs mesurées sur le parcellaire expérimental.

Les reliquats azotés observés étant identiques pour les deux objets testés, il est évident qu'aucune différence statistiquement significative ne peut être mise en évidence entre ceux-ci.

**Rendements.** Les rendements « total » et « sucre » obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL3 sont repris dans le **tableau 7**. Le rendement total obtenu sur les sous-parcelles n'ayant pas reçu de fertilisation azotée est légèrement supérieur à celui obtenu sur celles ayant reçu une fertilisation normale. Les rendements en sucre obtenus sont très proches entre eux. L'analyse de la variance confirme qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative (avec un degré de signification  $\alpha = 5\%$ ) entre les rendements totaux ni entre les rendements en sucre obtenus pour les deux objets testés.

**Lien avec la qualité de l'eau de percolation.** L'eau récoltée en fin de saison de drainage 2008-2009 présentait des teneurs en nitrate faibles (~ 25 mg

**Tableau 5.** Reliquats azotés (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) mesurés dans le sol sur la parcelle PL3 pour établir le conseil de fumure — *Nitrogen remainders (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) in soil on the PL3 parcel to establish fertilization advice.*

Profondeur du sol	Essai fumure minimale (06.05.08)	Essai fumure normale (06.05.08)	Parcelle entière sauf essai (07.02.08)
0-30 cm	58	56	30
30-60 cm	45	43	20
60-90 cm	26	24	12
<b>Total</b>	<b>129</b>	<b>123</b>	<b>62</b>

**Tableau 6.** Azote Potentiellement Lessivable (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) mesuré dans le sol sur la parcelle PL3 — *Nitrogen remainders (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) in soil on the PL3 parcel.*

Profondeur du sol	Essai fumure minimale (09.10.08) 0 kg N·ha <sup>-1</sup> appliqué	Essai fumure normale (09.10.08) 72 kg N·ha <sup>-1</sup> appliqués	Parcelle entière sauf essai (29.10.08) 120 kg N·ha <sup>-1</sup> appliqués
0-30 cm	17	17	27
30-60 cm	5	5	9
60-90 cm	2	2	7
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>43</b>



**Tableau 7.** Rendements totaux et rendements en sucre obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL3 (betterave) — *Complete and sugar yields get on the PL3 (sugar beet) experimental design.*

Rendement	Fumure minimale	Fumure normale
total (t·ha <sup>-1</sup> )	90	87,22
sucre (t·ha <sup>-1</sup> )	15,25	15,29

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·l<sup>-1</sup>), confirmant ainsi les APL faibles mesurés à l'automne 2008. Ceci valide à nouveau l'intérêt d'une succession froment-CIPAN-betterave avec une fertilisation raisonnée pour la préservation de la qualité des eaux de percolation.

### 3.3. Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer

La parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer a été emblavée en fève des marais suivie de chou frisé en 2008, faisant suite à une culture de carotte suivie d'une CIPAN (moutarde) en 2007. Les fèves des marais ont été semées le 6 mai 2008.

Sur le parcellaire expérimental, 52 kg N·ha<sup>-1</sup> ont été appliqués sous forme minérale au semis des fèves sur quatre sous-parcelles de l'essai (objet 1, fumure normale) et aucune fumure minérale n'a été appliquée sur cinq sous-parcelles, dont celle située à l'aplomb du lysimètre (objet 2, fumure minimale). Le conseil de fumure (52 kg N·ha<sup>-1</sup>) se base sur la mesure du reliquat azoté effectuée le 7 mai 2008, après semis des fèves (**Tableau 8**).

**Reliquat azoté post-récolte.** Les fèves des marais ont été récoltées le 25 juillet 2008. Un profil azoté a été réalisé le 31 juillet 2008 sur le parcellaire expérimental pour déterminer d'éventuelles différences de reliquats post-récolte entre objets testés (**Tableau 9**). La culture de fève a permis de ramener la quantité d'azote nitrique dans des valeurs plus acceptables, avec un prélèvement d'azote principalement dans les horizons 0-30 cm et 30-60 cm en raison du faible enracinement de cette

**Tableau 8.** Reliquat azoté (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) mesuré dans le sol le 07.05.08 sur la parcelle Chemin de Fer pour établir le conseil de fumure en fève des marais — *Nitrogen remainder (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) in soil (07.05.08) on the Chemin de Fer parcel to establish fertilization advice for broad bean.*

Profondeur du sol	Fumure minimale	Fumure normale
0-30 cm	33	29
30-60 cm	33	28
60-90 cm	27	25
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>82</b>

**Tableau 9.** Reliquat post-récolte (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) mesuré dans le sol le 31.07.08 sur la parcelle Chemin de Fer après récolte des fèves des marais — *Nitrogen remainder (kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·ha<sup>-1</sup>) in soil (31.07.08) on the Chemin de Fer parcel after broad beans harvesting.*

Profondeur du sol	Fumure minimale	Fumure normale
0-30 cm	18	17
30-60 cm	19	22
60-90 cm	22	25
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>64</b>

culture. L'analyse de la variance nous enseigne que les différences de reliquats azotés post-récolte observées entre les objets testés ne sont pas statistiquement significatives.

**Rendements.** Les rendements obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle Chemin de Fer en fève des marais sont repris dans le **tableau 10**. Les rendements obtenus sont proches entre les deux niveaux de fumure, ce qui est confirmé par l'analyse de la variance qui nous enseigne qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative (avec un degré de signification  $\alpha = 5\%$ ) de rendement entre les deux objets testés.

### 3.4. Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer

Suite à la culture de fève des marais, des choux frisés ont été repiqués sur la parcelle Chemin de Fer le 1<sup>er</sup> aout 2008.

Sur le parcellaire expérimental, 80 kg N·ha<sup>-1</sup> ont été appliqués sous forme minérale plus d'un mois après le repiquage des choux frisés sur quatre sous-parcelles de l'essai (objet 1, fumure normale) et aucune fumure minérale n'a été appliquée sur les cinq sous-parcelles qui n'avaient déjà reçu aucune fumure minérale lors de la culture de fève des marais (objet 2, fumure minimale). Le conseil de fumure (80 kg N·ha<sup>-1</sup>) se base sur la mesure du reliquat azoté effectuée le 4 septembre 2008 (**Tableau 11**). L'intérêt d'apporter l'azote un mois après le repiquage des choux frisés est de pouvoir tenir compte de la minéralisation des résidus de fève des marais au cours de ce mois et d'ainsi fournir un conseil

**Tableau 10.** Rendements obtenus (en kg·ha<sup>-1</sup>) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Chemin de Fer (fève des marais) — *Yields (in kg·ha<sup>-1</sup>) get on the Chemin de Fer experimental design (broad bean).*

	Fumure minimale	Fumure normale
Rendement (kg·ha <sup>-1</sup> )	5246	5225

**Tableau 11.** Reliquat azoté ( $\text{kg N-NO}_3\text{-ha}^{-1}$ ) mesuré dans le sol le 04.09.08 sur la parcelle Chemin de Fer pour établir le conseil de fumure en chou frisé — *Nitrogen remainder ( $\text{kg N-NO}_3\text{-ha}^{-1}$ ) in soil (04.09.08) on the Chemin de Fer parcel to establish fertilization advice for cabbage.*

Profondeur du sol	Fumure minimale	Fumure normale
0-30 cm	56	61
30-60 cm	28	31
60-90 cm	-	-
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>92</b>

de fumure plus adapté à l'objectif de préservation de la qualité des eaux. Cette minéralisation des résidus se marque dans l'évolution des profils azotés réalisés après la récolte des fèves et après le repiquage des choux frisés (augmentation d'environ  $50 \text{ kg N-NO}_3\text{-ha}^{-1}$  en un mois dans la couche 0-60 cm).

**APL.** Les choux frisés ont été récoltés le 28 novembre 2008. Un profil azoté a été réalisé le 9 décembre 2008 sur le parcellaire expérimental pour déterminer d'éventuelles différences d'APL entre les objets testés (**Tableau 12**). Les APL mesurés après la culture de chou frisé sont faibles, soulignant une bonne utilisation de l'azote par cette culture au cours de l'essai.

L'analyse de la variance nous enseigne que les différences d'APL observées entre les deux niveaux de fertilisation ne sont pas statistiquement significatives (avec un degré de signification  $\alpha = 5 \%$ ).

**Rendements.** Les rendements et les poids moyens par chou obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle Chemin de Fer sont repris dans le **tableau 13**. Des différences de rendement sont observées en chou frisé entre les deux objets testés. L'analyse de la variance indique que ces différences sont hautement significatives ( $\alpha = 1 \%$ ), aussi bien pour le rendement que pour le poids moyen par chou.

**Tableau 12.** APL ( $\text{kg N-NO}_3\text{-ha}^{-1}$ ) mesuré dans le sol le 09.12.08 sur la parcelle Chemin de Fer après récolte des choux frisés — *Nitrogen remainder ( $\text{kg N-NO}_3\text{-ha}^{-1}$ ) in soil (09.12.08) on the Chemin de Fer parcel after cabbage harvesting.*

Profondeur du sol	Fumure minimale	Fumure normale
0-30 cm	8	9
30-60 cm	8	9
60-90 cm	7	9
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>27</b>

**Tableau 13.** Rendements obtenus sur le parcellaire expérimental de la parcelle Chemin de Fer (chou frisé) — *Yields get on the Chemin de Fer experimental design (cabbage).*

Paramètre	Fumure minimale	Fumure normale
Rendement ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	25,9**	30,2**
Poids moyen par chou (g)	840**	989**

\*\* : différences hautement significatives — *very significant differences.*

**Lien avec la qualité de l'eau de percolation.** L'eau récoltée en fin de saison de drainage 2008-2009 présentait des teneurs en nitrate élevées ( $340 \text{ mg NO}_3\text{-l}^{-1}$  en moyenne). Ceci est à mettre en relation avec un accident de fertilisation organique survenu à l'automne 2006 dont l'impact se marque encore près de trois années plus tard sur la qualité de l'eau de percolation.

#### 4. CONCLUSION

L'objectif de l'étude menée est d'évaluer et de proposer des modifications des pratiques en matière de fertilisation azotée. Pour cela, des dispositifs expérimentaux ont été mis en place dans plusieurs parcelles situées en Hesbaye, sur des sols limoneux profonds. Ces dispositifs permettent de tester l'impact d'une réduction de la fertilisation azotée sur les rendements obtenus et les APL observés après récolte. La lixiviation du nitrate au-delà de la zone racinaire est également suivie grâce à des lysimètres qui récoltent l'eau de percolation à 2 m de profondeur. Il est ainsi possible d'examiner la pertinence des normes et des valeurs d'APL de référence, ainsi que de vérifier l'adéquation entre ces valeurs de référence, les conseils de fumure et l'objectif de préservation de la qualité des eaux. Ce système lysimétrique constitue dès lors un outil « *in situ* » d'évaluation du PGDA à l'échelle parcellaire.

Au cours des essais menés durant l'année 2008, il est apparu qu'une réduction du niveau de la fertilisation azotée par rapport au conseil de fumure pour des cultures de carotte, betterave et fève des marais n'avait engendré ni perte de rendement, ni modification d'APL. Pour autant que le reliquat azoté soit suffisant au semis pour favoriser le développement initial des cultures, aucune fumure azotée n'est nécessaire. Par contre, l'essai mené en chou frisé en deuxième culture après fève des marais a montré une baisse significative des rendements sur les sous-parcelles n'ayant pas reçu d'azote au cours des deux cycles culturaux (fève des marais et chou frisé), sans différence d'APL. L'effet

d'une réduction dans la fumure azotée s'est donc fait sentir.

Un autre enseignement des essais menés sur les parcelles en Hesbaye est l'importance de la date du prélèvement de sol effectué en vue d'établir le conseil de fumure. Durant ces essais, les conseils de fumure ont été établis sur base de prélèvements effectués après le semis, afin de tenir compte d'une reprise de minéralisation parfois importante dans le cas d'un affinage conséquent du sol (cas des carottes par exemple), de températures importantes et/ou d'apport préalable de matières organiques. Il est ainsi possible d'apporter la fumure minérale au moment où la plante en a réellement besoin. Par contre, comme cela est observé sur deux parcelles au cours de l'essai, un conseil établi sur base d'un profil réalisé trop tôt dans la saison augmentera le risque de surestimation des quantités à apporter par sous-estimation de la minéralisation.

La relation entre APL et concentration en nitrate dans les eaux de percolation se marque avec un décalage se situant dans une fourchette de six à dix-huit mois selon les conditions culturales, climatiques, etc. (Fonder et al., 2007). L'impact de la réduction de fertilisation à l'aplomb des lysimètres sur la concentration en nitrate dans les eaux récoltées à l'exutoire du lysimètre commence donc à se marquer. Les observations dans les lysimètres confirment la bonne qualité de l'eau de percolation après une succession froment-CIPAN-betterave avec un raisonnement de la fertilisation azotée, tandis qu'une culture de carotte ne permettra pas de récupérer d'importantes quantités d'azote en profondeur, malgré une fertilisation raisonnée.

## Bibliographie

Deneufbourg M. et al., 2009. *Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive*

*Nitrates et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique. Rapport intermédiaire. Période du 1<sup>er</sup> janvier 2008 au 31 décembre 2008.* Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques, [http://www.fsagx.ac.be/gp/grenera/Doc1\\_fichiers/Rap\\_activites/Lysimetre/Rapport\\_intermediaire\\_2008.pdf](http://www.fsagx.ac.be/gp/grenera/Doc1_fichiers/Rap_activites/Lysimetre/Rapport_intermediaire_2008.pdf), (9.10.09).

Fonder N., Vandenberghe C., Xanthoulis D. & Marcoen J.M., 2005. *Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion de l'Azote en agriculture. Rapport final. Convention Région wallonne DGA n°3523/1. Période du 1<sup>er</sup> mars 2003 au 28 février 2005.* Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques, [http://www.fsagx.ac.be/gp/grenera/Doc1\\_fichiers/Rap\\_activites/Lysimetre/Rapport\\_final\\_2003\\_2005.pdf](http://www.fsagx.ac.be/gp/grenera/Doc1_fichiers/Rap_activites/Lysimetre/Rapport_final_2003_2005.pdf), (9.10.09).

Fonder N. et al., 2007. *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture. Rapport final. Convention Région wallonne DGA n°3523/2. Période du 1<sup>er</sup> mars 2005 au 31 mai 2007.* Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques, [http://www.fsagx.ac.be/gp/grenera/Doc1\\_fichiers/Rap\\_activites/Lysimetre/Rapport\\_final\\_2005\\_2007.pdf](http://www.fsagx.ac.be/gp/grenera/Doc1_fichiers/Rap_activites/Lysimetre/Rapport_final_2005_2007.pdf), (9.10.09).

Fonder N. et al., 2010. Suivi de la percolation des nitrates issus de terres agricoles en conditions réelles d'exploitation par la technique lysimétrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**(S1), 17-25.

Vandenberghe C. & Marcoen J.M., 2004. Transposition de la Directive Nitrate (CE) en Région wallonne : azote potentiellement lessivable de référence pour les sols cultivés en Région wallonne. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **8**(2), 111-118.

(5 réf.)