

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

RAPPORT INTERMEDIAIRE

Période 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2008



Ce document doit être mentionné comme suit :

Deneufbourg M.¹, Vandenberghe C., Fonder N.², Heens B.³, Bernaerdt R.³, Marcoen J.M.¹, (2009). Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrate et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique. Rapport intermédiaire, période du 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2008. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 83p.

Le Comité d'Accompagnement de cette convention financée par la DGRNE est composé de :

- un représentant du Ministre de l'Agriculture, de la ruralité, de l'Environnement et du tourisme ;
- un représentant de la Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement ;
- un représentant de l'asbl Nitrawal ;
- deux représentants de la cellule GRENeRA – laboratoire de géopédologie (FUSAGx);
- un représentant de l'asbl EPUVALEAU ;
- un représentant de l'asbl Centre Maraîcher de Hesbaye ;
- deux agriculteurs chez qui se déroule le projet.

¹ Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux – Laboratoire de Géopédologie – Groupe de Recherche Environnement et Ressources Azotées (GRENeRA)

² Epuvaleau ASBL

³ Services Agricoles de la province de Liège - Centre Maraîcher de Hesbaye ASBL

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	3
1 INTRODUCTION.....	6
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE	6
1.2 OBJECTIFS DE LA CONVENTION	8
1.3 TACHES SPECIFIQUES DE LA CONVENTION	9
2 HISTORIQUE DES PRECEDENTES SUBVENTIONS.....	10
2.1 PREMIERE SUBVENTION (PERIODE DU 1 ^{ER} MARS 2003 AU 28 FEVRIER 2005)	10
2.2 DEUXIEME SUBVENTION (PERIODE DU 1ER MARS 2005 AU 31 MAI 2007)	11
2.3 RECHERCHE COMPLEMENTAIRE : « UTILISATION DU TRACEUR ISOTOPIQUE ¹⁵ N POUR AFFINER LES BILANS AZOTES REALISES DANS LE CADRE DE LA SUBVENTION SUIVI LYSIMETRIQUE » (REF 2798/1) (PERIODE DU 1ER JANVIER 2006 AU 30 JUIN 2008)	13
3 MATERIEL ET METHODE.....	15
3.1 INSTALLATION DES LYSIMETRES	15
3.2 DESCRIPTION DES SITES RETENUS.....	15
3.2.1 <i>Critères de choix</i>	15
3.2.2 <i>Description des sites</i>	16
3.2.3 <i>Localisation et caractérisation pédologique</i>	16
3.3 METHODOLOGIE DES PRELEVEMENTS / ACQUISITION DES DONNEES.....	21
3.3.1 <i>Méthodologie des prélèvements</i>	21
3.3.2 <i>Opérateurs</i>	21
3.3.3 <i>Analyses</i>	22
3.4 DESCRIPTION DES ACTIVITES MENEES AU COURS DE CETTE PERIODE.....	23
3.5 DESCRIPTION DES ESSAIS MENES SUR LES SITES LYSIMETRIQUES	25
3.5.1 <i>Description du plan et du calendrier d'expérimentation par parcelle</i>	25
4 RESULTATS	30
4.1 CARACTERISATION CLIMATOLOGIQUE	30
4.2 RESULTATS PAR PARCELLES	35
4.2.1 <i>Sole 4</i>	35
4.2.2 <i>Grosse Pierre Chemin de fer</i>	41
4.2.3 <i>Gros Thier Bovenistier</i>	48
4.2.4 <i>Grosse Pierre Petit Pont</i>	50
4.2.5 <i>PL1</i>	56
4.2.6 <i>PL3</i>	59
4.2.7 <i>Lysimètres de Gembloux</i>	65
5 SYNTHÈSE ET DISCUSSION.....	70
5.1 GRAPHIQUES DE SYNTHÈSE PAR PARCELLE	70
6 CONCLUSION.....	81
7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	83

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET GRAPHIQUES

Tableau 1 : Données climatologiques de la station IRM de Uccle	32
Tableau 2. APL (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur Sole 4 – 2007.....	35
Tableau 3. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur Sole 4 – 2008.....	36
Tableau 4. Analyse de la variance sur la variable APL de l’essai mené sur la parcelle Sole 4.....	37
Tableau 5. Rendements et poids moyen par carotte obtenus sur la parcelle Sole 4.....	37
Tableau 6. Analyse de la variance sur la variable rendement de l’essai mené sur la parcelle Sole 4	38
Tableau 7. Analyse de la variance sur la variable poids moyen par carotte de l’essai mené sur la parcelle Sole 4	38
Tableau 8 : Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes d’eau récoltés et concentrations en nitrate	39
Tableau 9. APL (kg N-NO ₃ ⁻) sur Chemin de Fer - 2007	41
Tableau 10. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻) sur Chemin de Fer (fèves des marais) - 2008.....	42
Tableau 11. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻) sur Chemin de Fer (choux frisés) - 2008.....	42
Tableau 12. Analyse de la variance sur la variable APL après fèves des marais de l’essai mené sur la parcelle Chemin de Fer	43
Tableau 13. Analyse de la variance sur la variable APL après chou frisé de l’essai mené sur la parcelle Chemin de Fer	43
Tableau 14. Rendements et tendérométries obtenus sur la parcelle Chemin de fer (fèves des marais)	44
Tableau 15. Rendements et poids moyen des choux obtenus sur la parcelle Chemin de Fer (choux frisés).....	44
Tableau 16. Analyse de la variance sur la variable rendement en fèves des marais de l’essai mené sur la parcelle Chemin de Fer.....	45
Tableau 17. Analyse de la variance sur la variable tendérométrie en fèves des marais de l’essai mené sur la parcelle Chemin de Fer.....	45
Tableau 18. Analyse de la variance sur la variable rendement en choux frisés de l’essai mené sur la parcelle Chemin de Fer	45
Tableau 19. Analyse de la variance sur la variable poids moyen/chou en choux frisés de l’essai mené sur la parcelle Chemin de Fer.....	45
Tableau 20 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	46
Tableau 21. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻) sur Bovenistier –2007 et 2008	48
Tableau 22 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	49
Tableau 23. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻) sur Petit Pont – 2007 et 2008.....	50
Tableau 24. Rendements et poids moyens obtenus sur la parcelle Petit Pont (poireaux).....	52
Tableau 25. Analyse de la variance sur la variable rendement – parcelle Petit Pont (poireaux)	52
Tableau 26. Analyse de la variance sur la variable poids moyen/poireau – parcelle Petit Pont (poireaux)	52
Tableau 27 : Parcelle Grosse Pierre Petit Pont, observations mensuelles des volumes et concentration en nitrate.....	54
Tableau 28. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur PL1.....	57

Tableau 29 : Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	58
Tableau 30. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL3 -2007.....	60
Tableau 31. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL3 -2008.....	60
Tableau 32. Analyse de la variance sur la variable APL de l'essai PL3	61
Tableau 33. Rendement total et rendement sucre obtenus sur PL3 - betteraves.....	61
Tableau 34. Analyse de la variance sur la variable rendement total de l'essai PL3 - betteraves	61
Tableau 35. Analyse de la variance sur la variable rendement sucre de l'essai PL3 - betteraves	61
Tableau 36 : Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	63
Tableau 37. Reliquats azotés dans les deux lysimètres de Gembloux – 15 janvier 2009 .	65
Tableau 38 : Lysimètre 1, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	66
Tableau 39. Lysimètre 2, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	68

Figure 1. Localisation des 6 lysimètres dans la région de Waremme.....	12
Figure 2 : Localisation sur la carte des sols de Belgique des parcelles PL1 et PL3 et des lysimètres installés.....	17
Figure 3 : Localisation sur la carte des sols de Belgique de la parcelle Sole 4 et du lysimètre installé.....	18
Figure 4. Plan d'expérimentation de la parcelle PL3 – betteraves.....	26
Figure 5. Plan d'expérimentation de la parcelle Sole 4 – carottes.....	27
Figure 6. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer – fèves des marais / choux frisés.....	28
Figure 7. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont - poireaux.....	29
Figure 8. Températures moyennes mensuelles à Uccle : valeurs observées et normales.	33
Figure 9. Précipitations à Uccle : valeurs observées et normales	34
Figure 10. Précipitations (P), Evapotranspiration (ETP) et déficit hydrique (P-ETP) par mois, station IRM d'Uccle	34

Graphique 1. Synthèse des mesures et observations, parcelle Sole 4	74
Graphique 2. Synthèse des mesures et observations, parcelle Chemin de fer	75
Graphique 3. Synthèse des mesures et observations, parcelle Bovenistier	76
Graphique 4. Synthèse des mesures et observations, parcelle Petit Pont	77
Graphique 5. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3	78
Graphique 6. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1	79
Graphique 7. Synthèse des mesures et observations, lysimètres de Gembloux.....	80

1 Introduction

Ce rapport intermédiaire intervient au terme de la première année (période du 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2008) de l'étude réalisée dans le cadre de l'« **Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrate et la validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique** ». Cette subvention (réf. 3523/3) a été allouée par le Service Public de Wallonie (DGARNE) à la cellule GRENeRA (laboratoire de Géopédologie – Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux) en collaboration avec l'ASBL Epuvaleur et l'ASBL Centre Maraîcher de Hesbaye (CMH), pour une période de 2 ans (1^{er} janvier 2008 – 31 décembre 2009).

Cette subvention poursuit les travaux réalisés dans le cadre de 2 précédentes conventions ; celles-ci concernaient :

- pour la période 1^{er} mars 2003 – 28 février 2005 : la « **Mise en place d'un suivi lysimétrique afin de vérifier la pertinence des normes d'épandage et Azote Potentiellement Lessivable (APL) de référence du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en région wallonne** » (réf. 3523/1) allouée par le Ministère de la Région wallonne à l'ASBL Epuvaleur, en partenariat avec GRENeRA ;
- pour la période 1^{er} mars 2005 – 31 mai 2007 : le « **Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture** » (réf. 3523/2) allouée par le Ministère de la Région wallonne à l'ASBL Epuvaleur, en partenariat avec GRENeRA.

1.1 Contexte de l'étude

En décembre 1991, le Conseil de la Communauté Economique Européenne a émis une directive (91/676/CEE) dont l'objectif est de réduire la pollution des eaux provoquée ou induite par le nitrate d'origine agricole. Les états membres sont tenus par cette directive "Nitrate" d'évaluer la vulnérabilité de leurs eaux vis-à-vis de la pollution par le nitrate d'origine agricole et de désigner des zones vulnérables pour lesquelles un programme d'action doit être mis en œuvre.

La Région wallonne s'est mise en règle face à ces exigences par l'élaboration, suivie de l'application en 2002, du premier Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA), transposition de la directive Nitrate dans la législation belge. Ce premier programme d'actions quadriennal a fixé des normes en matière d'épandage d'azote minéral et organique ainsi qu'un code de bonnes pratiques agricoles. L'accompagnement des agriculteurs dans ces démarches est réalisé par l'ASBL Nitrawal, créée en 2000 à l'initiative des Ministres de l'Environnement et de l'Agriculture de la Région wallonne. Nitrawal est composé d'une quinzaine d'agents spécialistes de la gestion de l'azote, répartis dans 4 centres d'action régionaux et un centre de coordination situé à Gembloux, de 2 cellules d'appui scientifique (UCL et GRENeRA, Groupe de Recherche Environnement et Ressources Azotées de la FUSAGx) et de 2 partenaires qui assurent le relais auprès des secteurs d'activité de l'eau (AQUAWAL, Association Régionale Wallonne de l'Eau regroupant les principaux producteurs, distributeurs et épurateurs d'eau) et de l'agriculture (FWA, la Fédération wallonne de l'Agriculture).

La surveillance de la qualité des eaux est organisée au travers du « Survey Nitrate » qui est constitué de plusieurs centaines de points répartis dans les eaux de surface (rivières) et souterraines.

Fin 2005, comme d'autres Etats membres de l'Union européenne, la Région wallonne a été condamnée par la Commission européenne pour transcription incomplète de la directive Nitrate en droit régional c'est-à-dire dans le PGDA : tant la délimitation des zones vulnérables que les modalités de gestion des engrais de ferme ont été jugées insuffisantes. Depuis lors, sous l'autorité des Cabinets des Ministres compétents en la matière, un important travail de réécriture du PGDA a été entrepris par de nombreux acteurs wallons concernés par l'application de cette législation. L'arrêté concernant ce deuxième programme d'actions a été adopté par le gouvernement wallon le 15 février 2007 et est d'application rétroactivement à partir du 1er janvier 2007. Cette nouvelle législation est susceptible d'avoir un nouvel impact sur les modalités de gestion des exploitations agricoles wallonnes (Thirion, Mulders, 2006).

L'étendue jugée insuffisante des zones vulnérables déterminées pour les eaux souterraines et surtout le manque de prise en considération de l'eutrophisation de la Mer du Nord alimentées par les eaux des bassins de l'Escaut et de la Meuse constituaient deux aspects importants de la condamnation européenne. Les zones existantes ont donc dû être largement étendues. La nouvelle zone vulnérable comprend le Nord du Sillon de la Sambre et de la Meuse, le Pays de Herve et le Sud Namurois étendu dans sa partie nord. Environ 50% de la superficie agricole de la Région wallonne se retrouve dorénavant incluse en zone vulnérable.

Comme dans de nombreuses régions d'Europe, depuis plusieurs décennies, les teneurs en nitrate ne cessent d'augmenter dans les eaux souterraines. En Wallonie, 10% des prises d'eau souterraine échantillonnées en 2002-2003 dépassent la norme maximale de 50 milligrammes de nitrate par litre d'eau définie comme limite de potabilité définie par l'OMS. Les différents secteurs de la société (habitation, industriel, agricole) contribuent de manière plus ou moins importante à la pollution des eaux par le nitrate. Ces différents secteurs sont chacun soumis à des législations spécifiques en la matière. Le secteur industriel est ainsi soumis au décret instituant le principe du pollueur-payeur (décret wallon du 30 avril 1990) et déterminant une taxation sur les rejets. L'amélioration de la collecte et l'épuration des eaux usées ont réduit la quantité d'azote liée aux activités domestique et déversée en eau de surface ces dix dernières années.

Le rapport final de la convention « Programme Action Hesbaye » (Dautrebande, 1996) a clairement montré qu'à côté de l'agriculture, les secteurs industriel et domestique avaient également un impact sur la qualité des eaux souterraines. Des améliorations sont également en cours dans la gestion des eaux résiduaires issues de ces deux secteurs (traitement tertiaire). Le « Survey nitrate », tel qu'il est réalisé, présente une vue d'ensemble de l'état (en terme de concentration en nitrate) des eaux souterraines mais ne permet pas de distinguer l'impact d'une politique environnementale mise en place dans l'un ou l'autre secteur d'activité. De plus, le contexte géo-pédologique de certaines régions (en particulier la Hesbaye) est tel que les résultats du Programme de Gestion Durable de l'Azote ne seront mesurables que dans une dizaine d'années ou plus. Le transit des ions lixiviés dans la zone non saturée (entre sol superficiel et domaine des eaux souterraines proprement dites) constitue la véritable « inconnue » du système.

Les études précédentes (3523/1 et 3523/2) ont mis en place et exploité six lysimètres en système remanié et non remanié sur des terres agricoles dans la région de Hesbaye, principalement à vocation légumières. Ces lysimètres constituent un outil qui permet un suivi quantitatif de la percolation du nitrate au-delà de la zone racinaire. Cette quantification de la lixiviation de l'azote nitrique a le double but de fournir rapidement et de manière ciblée au secteur agricole une assurance quant à la pertinence des normes et des valeurs d'APL de référence 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.

1.2 Objectifs de la Convention

Il est ressorti des 2 études précédentes que le suivi des conseils de fertilisation ne suffit pas à rencontrer « l'objectif » de moins de 50 mg/l de nitrate dans l'eau de percolation pour toutes les cultures (Fonder *et al*, 2005 ; Fonder *et al*, 2007). Compte tenu de la part prépondérante de l'agriculture dans le paysage hesbignon, on ne peut compter sur un effet de dilution significatif grâce aux zones boisées. En conséquence, il faut évaluer l'impact d'une modification des pratiques agricoles. Ces modifications portent essentiellement sur 2 aspects : une diminution des marges de sécurité dans les conseils de fumure et une adaptation des successions culturales.

Les objectifs de la Convention sont donc :

- la mise en place de successions et pratiques plus adéquates en terme 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 terme de rendement, de reliquat azoté et de concentration en nitrate dans les lysimètres.

Le projet est articulé autour de 3 axes :

1. axe « expérimentation » : l'objectif des activités d'expérimentation consiste en la mise au point de successions culturales, incluant en moyenne au minimum une culture légumière sur 2 ans, qui permettent d'obtenir une teneur en nitrate dans les eaux souterraines la plus basse possible. Chacune des 6 parcelles où a été installé un lysimètre fait l'objet d'un essai. Ces essais s'étalent sur une durée de 2 ans. Un suivi APL permet de rendre compte chaque année du risque de lixiviation de l'azote lié à chacun des scénarios testés sur les différentes parcelles. Pour répondre aux attentes de la Commission européenne, les corrélations APL/azote lessivé sont également établies. Le scénario testé à l'aplomb du lysimètre est celui jugé potentiellement le plus favorable à l'objectif de réduction de la teneur en nitrate de l'eau percolée.
2. axe « analyse technico-économique » : l'objectif de cet axe est d'évaluer de manière chiffrée les impacts technico-économiques des modifications apportées aux pratiques culturales de l'agriculteur. En effet, le bénéfice environnemental des différents scénarios testés doit être mis en balance avec l'impact économique de ces mêmes scénarios, et ce afin d'en évaluer la possibilité de généralisation. L'étude technico-économique implique donc notamment la récolte séparée des différentes sous-parcelles, en vue de la quantification individuelle de leur rendement.

3. axe « vulgarisation » : les objectifs des activités de vulgarisation sont au nombre de trois.
 - Une information sur l'existence en Wallonie d'une plateforme d'essais mise en place grâce au soutien de la Région wallonne, permettant l'utilisation d'outils lysimétriques.
 - La sensibilisation des producteurs de légumes wallons, mais surtout du milieu de l'industrie légumière sur les enjeux de la politique nitrate et implication de ceux-ci dans l'élaboration d'itinéraires phytotechniques à faible impact environnemental.
 - La diffusion des résultats des expérimentations menées sur la mise au point d'itinéraires culturaux sur les parcelles où se situent les lysimètres.

1.3 Tâches spécifiques de la Convention

Les tâches spécifiques du projet reprennent les points suivants :

1. établir un plan de fertilisation et des successions culturales adaptées à l'objectif de qualité des eaux;
2. mettre en place les essais sur lesquels les scénarios culturaux sont testés;
3. suivre les percolats, essentiellement NO_3^- et volume.
Le suivi des percolats est réalisé par l'asbl EPUVALEAU qui est chargée :
 - d'en évaluer les volumes,
 - d'en effectuer les analyses d'eaux récoltées,
 - de commenter les résultats ;
4. collecter les données de rendement et de reliquat azoté obtenues sur les différentes parcelles suivies.

2 Historique des précédentes subventions

2.1 Première subvention (période du 1^{er} mars 2003 au 28 février 2005)

Nous renvoyons au rapport d'activités final de cette subvention pour l'ensemble des résultats, interprétations et conclusions (Fonder et al, 2003).

La première étape de cette subvention a été une étude bibliographique sur la lysimétrie en général, les principes de base et les différents systèmes utilisés.

Deux systèmes lysimétriques ont été retenus, un système en sol remanié et un système en sol non remanié. Il a été décidé que trois lysimètres seraient installés en système sol remanié, et les trois autres en système sol non remanié. Tous sont installés en plein champ, dits *in situ*, sous conditions agricoles réelles et sans gêne pour les agriculteurs.

La méthodologie d'échantillonnage a été mise en place au cours de cette subvention. Quelques problèmes techniques se sont présentés lors de son déroulement. Ceux-ci ont été des intrusions d'eau dans les chambres de visite, soit par le fond, soit par le haut de ces dernières, soit encore par débordement des bidons de récolte à l'intérieur de celles-ci. Des produits d'étanchéité ont été appliqués sur les fonds des chambres de visite présentant une porosité. Des ré-hausses ont été ajoutées aux chambres existantes lorsque le dénivelé du terrain induisait des entrées d'eau de ruissellement par le couvercle. Afin d'éviter le débordement des bidons de récolte, la fréquence des prélèvements a été augmentée (jusqu'à devenir quotidienne) et plusieurs bidons ont été placés en série dans la chambre de visite, reliés par un by-pass.

La quantité d'eau récoltée dans les bidons de deux sites étant supérieure aux capacités de drainage des sols de ces sites, mis en relation avec les données de pluviométrie, un réseau de piézomètres a été installé afin de suivre une éventuelle remontée temporaire de nappe. Il en est ressorti que 2 lysimètres, installés partiellement dans la nappe, captent celle-ci lors de fortes remontées hivernales. Lors de ces remontées, l'écoulement de ces 2 lysimètres est stoppé à l'aide de vannes pour éviter le drainage de la nappe. Le suivi hebdomadaire des piézomètres, localisés à proximité immédiate, permet de connaître en permanence la hauteur de la nappe et indique le moment idéal de la réouverture des exutoires.

Par ailleurs, un test sur la conservation des échantillons a été mené. L'objectif était d'observer une éventuelle évolution des teneurs en ion nitrate dans les bidons de récolte placés dans les chambres de visite au cours du temps. Ce test a permis de valider la fréquence hebdomadaire des relevés, prélèvements et mesures.

A la fin de la première saison de drainage (2003-2004), seuls 3 lysimètres sur les 6 installés ont permis la récolte d'eau à 2m de profondeur en raison des conditions de sécheresse exceptionnelle au cours de l'été 2003. Tous les sites entrent en phase de percolation pour le second hivernage (2004-2005), moyennant une mise à saturation par remontée capillaire pour deux d'entre eux. A l'exception des 2 lysimètres qui interceptent la nappe ou la frange capillaire, les lysimètres installés présentent des eaux de percolation avec des teneurs en nitrate déjà trop élevées par rapport à la norme de potabilité de l'eau (50 mg NO₃/l). Ces mesures correspondent à 2 années pour certains sites et une première année pour d'autres, de récolte d'eau de percolation par la technique lysimétrique.

Les premières observations obtenues par ce suivi lysimétrique in situ en conditions réelles d'exploitation, ont permis de dégager quelques grands points.

- Les rotations classiques betteraves – céréales donnent des eaux de percolation respectueuses de la norme.
- L'introduction d'une culture légumière dans cette rotation induit une augmentation des teneurs en nitrate migrant en profondeur. Une bonne gestion de la fertilisation et l'implantation de CIPAN permettent d'atténuer le phénomène dans des proportions acceptables.
- Par contre, malgré l'implantation de CIPAN et une bonne gestion de l'azote, les rotations légumières successives de cultures fortement exigeantes en azote alternées avec d'autres fixatrices d'azote laissent des reliquats azotés dans le sol, inacceptables d'un point de vue environnemental et préjudiciables dans les zones qualifiées de vulnérables en matière de protection des eaux souterraines.

En conclusion, les lysimètres ont rempli leur fonction d'outil de suivi, avec une utilisation à court terme ou sur de plus longues périodes. Les informations fournies par ce premier suivi lysimétrique confirment la fiabilité et la pertinence des APL de référence du PGDA.

2.2 Deuxième subvention (période du 1er mars 2005 au 31 mai 2007)

Nous renvoyons au rapport d'activités final de cette subvention pour l'ensemble des résultats, interprétations et conclusions (Fonder et al., 2005).

Les mesures, observations, prélèvements et récolte de données relatives aux parcelles se sont poursuivis au cours de cette période.

La troisième saison de percolation a démarré dès la fin de l'été 2005 mais s'est ensuite rapidement tarie, à l'exception de la parcelle « Chemin de Fer » (Figure 1). Cette dernière n'a malgré tout que faiblement percolé. La quatrième saison de drainage a débuté par un automne doux et sec, suivi par un hiver normalement pluvieux qui a permis de constater le bon fonctionnement de tous les lysimètres, témoignant de leur maturité progressive. L'un des 2 lysimètres qui capte une nappe à remontée temporaire et sa frange capillaire n'a pas dû être fermé durant ces troisième et quatrième saison de drainage.

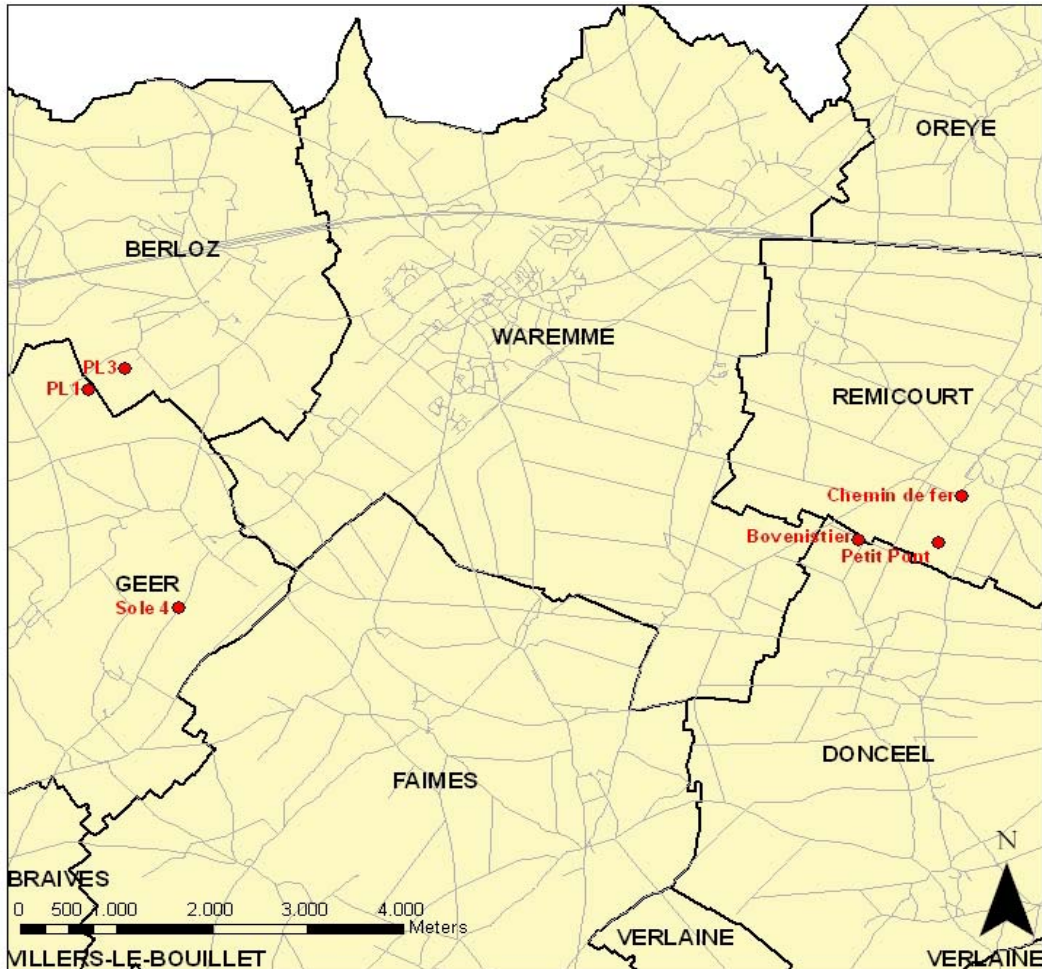


Figure 1. Localisation des 6 lysimètres dans la région de Waremme

Les sites lysimétriques non influencés par une remontée de nappe en surface percolent de quelques pourcent à 30% de la pluviométrie totale enregistrée lors de toutes les saisons. Cette gamme correspond au pourcentage de la pluviométrie totale qui s'infiltré (Rouxhet *et al.*, 1996). Cela témoigne du bon fonctionnement des lysimètres, étant de moins en moins sensibles aux perturbations dues à l'installation.

De nouveau, à l'exception des 2 lysimètres qui interceptent la nappe ou sa frange capillaire, les autres lysimètres installés présentent des eaux de percolation dont les teneurs en nitrate sont souvent supérieures à la norme de potabilité de l'eau. On a également pu observer durant cette période que, outre les bonnes pratiques de gestion comme le fractionnement azoté, l'implantation de CIPAN, une couverture hivernale du sol, etc., les rotations et successions culturales ont un impact prépondérant sur la qualité des eaux observées dans les lysimètres.

Au terme de ces années, il apparaît qu'il existe une correspondance entre le reliquat azoté mesuré dans le sol (exprimé en $\text{kg N-NO}_3/\text{ha}$) et la concentration en nitrate (exprimée en $\text{mg NO}_3/\text{l}$) de l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres. Le temps de réponse (reliquat – concentration) y est de l'ordre d'un an. En plus de sa qualité d'indicateur d'une bonne gestion de l'azote, il apparaît, grâce aux observations réalisées dans les lysimètres au cours de cette période, que l'APL est également un bon indicateur de la qualité de l'eau de percolation.

En conclusion, les lysimètres installés remplissent leur fonction d'outil de suivi. Ils récoltent la fraction de la pluviométrie qui migre vers les horizons profonds et permettent d'en faire un suivi qualitatif et quantitatif.

Les informations fournies par ces suivis lysimétriques confirment la fiabilité et la pertinence des APL de référence. Les valeurs mesurées en terme de lixiviation d'azote nitrique montrent la nécessité et la pertinence des normes d'épandage et du code de bonnes pratiques agricoles, mais ouvrent aussi un débat sur les rotations culturales elle-même, et plus spécifiquement dans le cas des rotations légumières.

2.3 Recherche complémentaire : « Utilisation du traceur isotopique ^{15}N pour affiner les bilans azotés réalisés dans le cadre de la subvention suivi lysimétrique » (Réf 2798/1) (période du 1er janvier 2006 au 30 juin 2008)

Nous renvoyons au rapport d'activités final de cette subvention pour l'ensemble des résultats, interprétations et conclusions.

Au 1er janvier 2006 a démarré une recherche annexe menée par le CRA-w, département Production Végétale pour un marquage isotopique de l'azote afin d'affiner le bilan azoté sur les sites lysimétriques.

La méthodologie d'étude retenue comporte l'utilisation du traceur isotopique ^{15}N dans le but de préciser :

- l'origine de l'azote qui contribue à l'enrichissement des nappes et
- la part de l'azote non-prélevé par une culture qui disparaît du profil cultural et sa vitesse de transfert hors de ce profil.

Trois types d'expérimentations ont été mis en place :

1. un suivi en conditions totalement contrôlées sur une succession culturale haricot / épinard / blé d'hiver d'une fertilisation avec azote marqué dans deux lysimètres installés depuis 25 ans sur le site de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux ;
2. la mesure de la vitesse de percolation dans le profil racinaire d'un reliquat automnal simulé (application d'une dose d'engrais marqué). Pour cela, un suivi du profil en azote minéral du sol dans deux placeaux de 2m² installés dans deux localisations dans le périmètre irrigué de Hesbaye (Remicourt : parcelle Chemin de Fer et Omal : parcelle Sole 4) a été réalisé ;
3. un suivi de la percolation d'un reliquat automnal simulé (application d'une dose d'engrais marqué) dans les 2 lysimètres installés dans le périmètre irrigué de Hesbaye (Remicourt et Omal).

L'expérimentation en conditions totalement contrôlées (lysimètres de Gembloux) a montré que la variabilité d'utilisation de l'azote de l'engrais par une succession épinard/haricot (mesuré par analyse de la récolte) pouvait être très élevée (40 à 60% de l'azote appliqué) probablement liée à une immobilisation plus ou moins importante de l'azote de l'engrais. On ne détecte pas dans l'eau de percolation la part d'azote provenant de l'engrais marqué.

Les évolutions des profils en azote minéral du sol en placeaux sur les parcelles de Waremme, où avait été appliquée à l'automne une fumure avec azote marqué, ont montré que celui-ci se distribuait rapidement dans le profil et se retrouvait déjà à 90cm et au-delà au printemps.

Les concentrations en nitrate des percolats issus des 2 lysimètres situés à Remicourt et Omal augmentent à la même période, soit plus d'un an après la simulation du reliquat. Comme à Gembloux, on ne détecte pas la part d'azote provenant de l'engrais marqué.

3 Matériel et méthode

3.1 *Installation des lysimètres*

L'analyse des avantages et inconvénients des systèmes lysimétriques a orienté le choix vers un système fermé. C'est le seul système qui répond à l'exigence fondamentale de la lysimétrie de mesurer simultanément le volume d'eau de drainage et sa concentration dans un volume parfaitement défini. Ce système permanent permet une étude aussi complète que possible et sert de référence pour un milieu pédo-climatique donné, à un niveau régional pertinent. Toutefois, il faut rappeler que le lysimètre ne représente que partiellement les conditions réelles de la parcelle prise dans sa globalité et les résultats obtenus doivent donc être interprétés avec précaution.

Après compilation des données de réalisations pratiques et des paramètres à respecter pour une lysimétrie de qualité selon la FAO (1986), trois lysimètres en système sol non remanié et trois en système sol remanié sont installés en plein champ dans des exploitations pilotes.

Les systèmes non remaniés ont été mis en place par enfoncement vertical du cylindre lysimétrique, à l'aide d'un bras de pelle hydraulique. La plaque de fond a ensuite été chassée horizontalement, l'étanchéité a été réalisée par des joints de soudure.

Les systèmes remaniés ont été installés en creusant une fosse dans laquelle la cuve lysimétrique préalablement soudée en atelier a été déposée. La cuve est remplie des couches successives de sol, soigneusement séparées lors du creusement, sur base des observations du profil pédologique. La cuve lysimétrique est circulaire, de 1 m² de section (1,13 m de diamètre), en inox de 5 mm d'épaisseur, pour une hauteur de 1,5 m. Elle est placée verticalement à 50 cm sous la surface du sol, pour être en condition réelle 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 en polyéthylène, placé dans une chambre de visite construite en bordure du champ.

Ils sont implantés dans la Région de Hesbaye, au sein de deux fermes faisant partie du « Survey Surfaces Agricoles » en partie dans un périmètre d'irrigation et sous cultures légumières industrielles en rotation avec les grandes cultures classiques.

3.2 *Description des sites retenus*

3.2.1 Critères de choix

Les six parcelles réparties dans deux exploitations agricoles ont été retenues pour l'implantation des lysimètres selon les critères décrits ci-après.

1. Faire partie des fermes de référence suivies par GRENeRA en Hesbaye.
2. Les sites doivent également être suivis par le CMH, au travers d'une convention. Ce dernier permet l'obtention de données supplémentaires, ainsi qu'un appui logistique et technique. Le CMH contribue, notamment, à la gestion du périmètre irrigué utilisant les eaux usées de l'usine de congélation de légumes Hesbaye Frost, et conseille aussi les fermiers ayant leur propre réseau d'irrigation avec des eaux de pompage ou de

bassin de récolte. Les sites font partie de réseaux d'irrigation (avec des eaux claires ou usées) gérés par le CMH.

3. Les sites doivent être représentatifs de la région, d'un point de vue pédologique. Les parcelles potentielles ont été reportées sur la carte des sols de la Belgique ; une visite de terrain a été organisée en 2003 avec un pédologue de la FUSAGx afin d'en vérifier la correspondance in situ.
4. Enfin, *last but not least*, avoir l'accord des fermiers pour la réalisation de telles installations, et leur suivi, sur leurs terres.

3.2.2 Description des sites

Les six parcelles sur lesquelles les lysimètres ont été implantés font partie des fermes de référence suivies par GRENeRA (Figure 1). Afin d'éviter tous malentendus lors de prises d'informations et de renseignements par les différents intervenants, il a été convenu de nommer les sites selon les noms des parcelles utilisés par les agriculteurs et le CMH, soit PL1, PL3, Sole 4, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Petit Pont et Grosse Pierre Chemin de Fer.

3.2.3 Localisation et caractérisation pédologique

Afin de déterminer les positions exactes des lysimètres dans les parcelles et de poursuivre la caractérisation des sites, une visite de terrain a été organisée en 2003 en présence de Gilles Colinet (FUSAGx, Laboratoire de géopédologie). Ce dernier a caractérisé les sites d'un point de vue pédologique par sondage à la tarière, jusqu'à la profondeur de 2m. Ce diagnostic est confronté aux indications de la carte des sols de Belgique.

L'emplacement de chacun des sites a été relevé au GPS (de marque Leica) et positionné sur les cartes pédologiques et topographiques. Cependant, ces premiers relevés GPS se sont révélés peu à très peu précis. C'est pourquoi une relocalisation systématique des lysimètres a été entreprise au cours de la précédente convention, en creusant jusque ceux-ci. Les points ont été repris au GPS, dédoublé d'un repérage au théodolite.

La caractérisation pédologique complète des parcelles équipées d'un lysimètre est à trouver dans Fonder *et al.*, 2005.

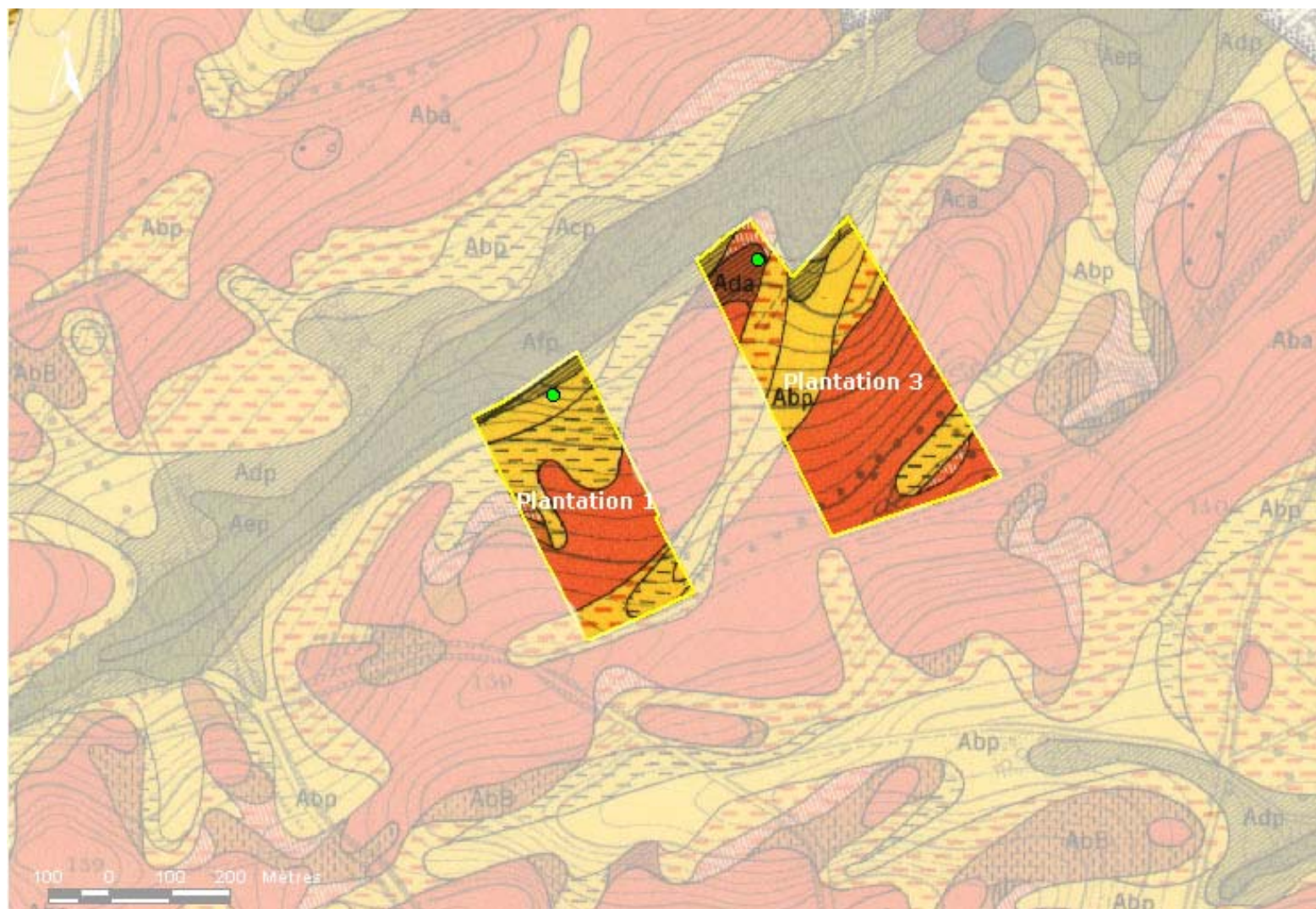


Figure 2 : Localisation sur la carte des sols de Belgique des parcelles PL1 et PL3 et des lysimètres installés

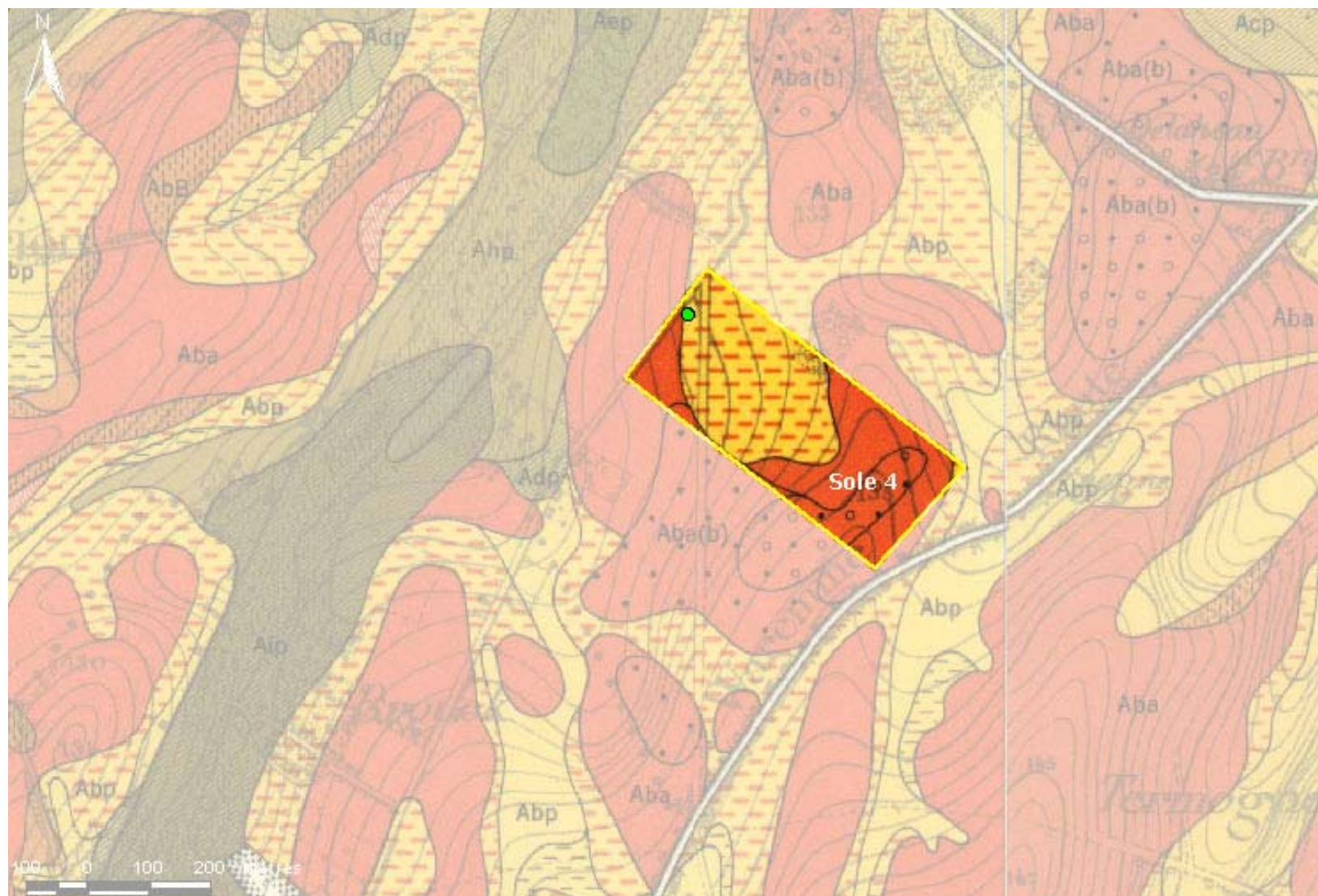


Figure 3 : Localisation sur la carte des sols de Belgique de la parcelle Sole 4 et du lysimètre installé

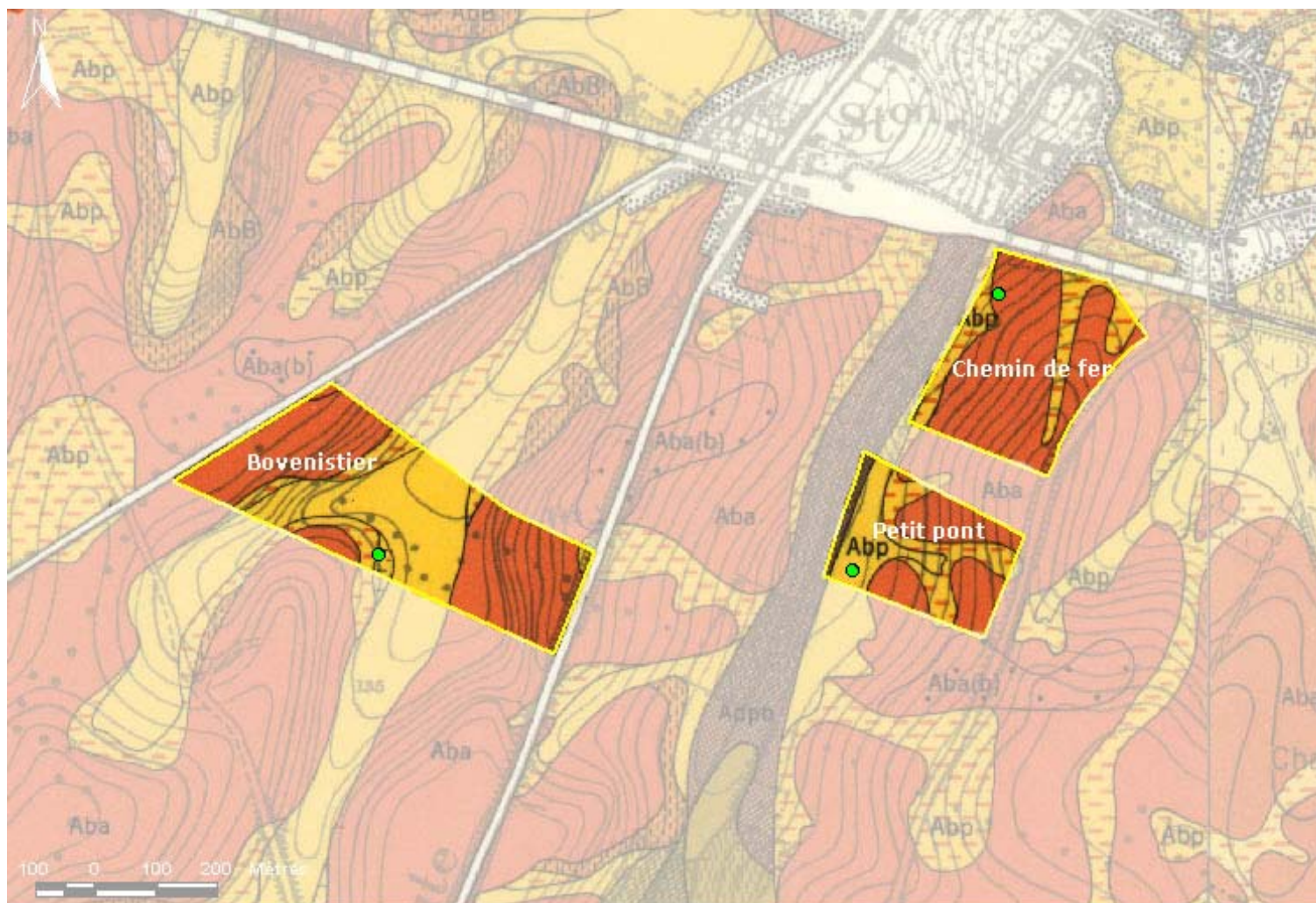








Figure 4: Localisation sur la carte des sols de Belgique des parcelles Bovenistier, Petit Pont et Chemin de Fer et des lysimètres installés .

Légende de la carte des sols de Belgique

Sols des plateaux et des pentes












Sols limoneux

Sols limoneux profonds

	Sols limoneux à horizon B textural
	Sols limoneux à horizon B textural tacheté.
	Sols limoneux faiblement gleyifiés à horizon B textural.
	Sols limoneux modérément gleyifiés à horizon B textural.
	Phase à horizon A épais.
	Phase à horizon A mince.

Sols des vallées et des dépressions

Sols sur matériaux limoneux

	Sols sur limon.		Sols fortement gleyifiés à horizon réduit sur matériaux limoneux.
	Sols faiblement gleyifiés sur limon.		Sols très fortement gleyifiés à horizon réduit sur matériaux limoneux.
	Sols modérément gleyifiés sur limon.		Sols réduits sur matériaux limoneux.
	Sols fortement gleyifiés sur matériaux limoneux.		Phase profonde.
	Sols très fortement gleyifiés sur matériaux limoneux.		Phase à horizon B textural enfoui à profondeur moyenne.
			Phase à horizon B textural enfoui à faible profondeur.

3.3 Méthodologie des prélèvements / Acquisition des données

3.3.1 Méthodologie des prélèvements

La méthodologie d'acquisition des données se fait pour chaque passage sur les sites, en remplissant une fiche reprenant les renseignements suivants :

- la localisation de la parcelle, le type de culture en place et le stade de développement ;
- un relevé du pluviomètre : un pluviomètre est placé à proximité de la parcelle Bovenistier. L'emplacement a été choisi selon une exposition minimale aux dommages et dégradations extérieures, sans gêne pour le fermier, hors des zones d'influence de grands arbres et proche des sites lysimétriques ;
- les hauteurs piézométriques pour les parcelles où un réseau de piézomètres est installé ;
- les températures extrêmes atteintes dans les chambres de visite ;
- le volume d'eau récoltée dans les bidons ;
- le pH, la conductivité électrique (CE) et la teneur en nitrate de l'eau présente dans les bidons de récolte.

Le technicien prélève les quantités d'eau nécessaires aux analyses de laboratoire et les place dans un frigo maintenu à 4°C durant le transport. Enfin, il assure l'entretien des sites (nettoyage, fauche, entretien des cadenas et peintures, etc.).

La fiche est remplie lors de chaque visite. Une fiche est remplie par site lysimétrique, même si tous les paramètres n'y sont pas mesurés, même si elle est dès lors incomplètement remplie. Chaque passage sur chaque site est de la sorte répertorié et conservé.

Dès l'ouverture de la chambre de visite, la température minimale et maximale est relevée. Le bidon de récolte est sorti de la chambre de visite et le contenu est versé dans une colonne à pied afin de mesurer la quantité d'eau percolée. Deux fioles sont prélevées ; l'une est étiquetée, indiquant la date et la parcelle, et immédiatement placée dans le frigo-box (connecté en permanence à l'allume-cigare du véhicule de service) ; la seconde sert à mesurer sur site le pH, CE et teneur en nitrate avec des appareillages de terrain. Cette dernière est ensuite également mise dans le frigo box.

Si la parcelle suivie fait l'objet du suivi par le marqueur isotopique ^{15}N en collaboration avec le CRA, une fiole supplémentaire est prélevée, directement placée dans le frigo box et acheminée au laboratoire du CRA dès le retour à Gembloux.

Les sites sont suivis hebdomadairement depuis leur installation pour assurer le relevé pluviométrique, piézométrique et l'échantillonnage des lysimètres.

3.3.2 Opérateurs

La récolte des échantillons et les mesures de paramètres physiques sont entièrement assurées par le personnel cadre, technique et ouvrier d'Epuvaleur.

Les analyses de terrain sont réalisées par ce même personnel.

Les analyses de laboratoire sont réalisées par le laboratoire d'Epuvaleur.

3.3.3 Analyses

Les méthodes de mesures et d'analyses réalisées au laboratoire Epuvaleur sont décrites ci-après.

- Le pluviomètre est du type «Hellmann», posé à 1m de hauteur, hors de zones d'influence d'arbres.
- Les piézomètres ont été creusés jusque 2m de profondeur, à la tarière et gainés par des tuyaux en PVC incisés tous les 10 cm. Les niveaux sont relevés à l'aide d'un flotteur à ruban gradué. Un relevé topographique des sites a été réalisé.
- Les kits de terrain mesurent le pH et la conductivité électrique.
- Le kit de terrain, système « Nitracheck », mesure la teneur en nitrate par méthode colorimétrique.

pHmètre et conductimètre

Le pHmètre et conductimètre de terrain utilisé est l'appareil de mesure multiparamètres portables « Sension 156 » de la société Hach. La mesure est électrochimique.

Un témoin signale la nécessité de calibrer l'appareil. Le calibrage est effectué par le laboratoire Epuvaleur.

L'appareil résiste à des températures comprises entre -10°C et 110°C .

La plage de mesure du pH est de 2.0 à 14. La température est automatiquement prise en compte lors de l'affichage de la mesure.

La conductivité est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$, la plage de mesures déterminée est de 0 à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La cellule est calibrée avec des solutions étalons de NaCl.

Nitracheck

Le Nitracheck 404 est un boîtier de lecture mis au point par la société française « Challenge Agriculture ». Une bandelette réactive « Nitra-test » de la société Merck est introduite dans le boîtier Nitracheck avant toute mesure, afin de calibrer l'appareil en fonction du lot des bandelettes et de la température. Le mode opératoire doit respecter un timing très strict. La bandelette réactive est trempée 3 secondes dans la solution à analyser. Elle est égouttée pendant 5 secondes et laissée au repos pendant une minute. Durant les 10 dernières secondes, elle doit être introduite dans la fente de lecture du boîtier Nitracheck. La mesure de la concentration est donnée en $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$. Trois mesures consécutives sont répétées pour chaque solution à analyser. Si un écart supérieur à 10% est observé entre les mesures obtenues, le mode opératoire est recommencé. Les bandelettes réactives comprennent 2 zones réactives : l'une sert à déterminer la teneur de la solution à analyser en NO_3^- et la seconde signale des interférences, dues à la présence de nitrite par exemple, en changeant de coloration. Dans le cas où la seconde zone réactive réagit, la mesure donnée par le Nitracheck n'est pas valide et la solution doit être analysée au laboratoire.

Le Nitracheck a une gamme de lecture de 5 à 500 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$.

Mesure au laboratoire

La mesure de la concentration en nitrate d'une solution est réalisée par le laboratoire Epuvaleur par la méthode « Test N tube Vials » de la société Hach. La gamme de lecture est de 0.2 à 30.0 mg N-NO₃⁻/l. La mesure préalable au Nitratecheck permet de déterminer si une dilution est nécessaire.

Les ions nitrate réagissent au 2,6-diméthylphénol dans une solution contenant de l'acide sulfurique et phosphorique en 4-nitro-2,6-diméthylphénol. Les mesures sont prises par méthode colorimétrique dans les 5 minutes à 370 nm. Un blanco est mesuré en parallèle.

3.4 Description des activités menées au cours de cette période

Tout au long de la période (année 2008), une série d'activités a été menée. Celles-ci sont décrites succinctement ci-après.

– Mise en place et suivi des essais

Quatre des six parcelles de la région de Hesbaye ont fait l'objet d'un essai. Les autres parcelles étant emblavées en froment cette année, et vu la relativement bonne maîtrise de la fertilisation de cette culture, des essais de fumure n'y étaient pas justifiés et notre attention s'est portée cette année sur les autres parcelles équipées d'un lysimètre. Chaque essai est constitué de huit sous-parcelle, en plus de la sous-parcelle située à l'aplomb du lysimètre. Après semis de la parcelle par l'agriculteur, les essais ont été piquetés. Des mesures individuelles de reliquat azoté ont été effectuées dans chaque sous-parcelle. A partir de ces reliquats azotés, un conseil de fumure a pu être établi, qui a été appliqué sur quatre sous-parcelles de chaque essai. Les différentes sous-parcelles sont récoltées séparément en vue de la quantification individuelle de leur rendement. Les APL dans le sol après récolte de la culture sont également mesurés individuellement dans chaque sous-parcelle.

– Récolte et analyse des percolats

Tout au long de cette période, les percolats issus des six lysimètres de la région de Waremme ont été récoltés avec une fréquence dépendant de la pluviométrie. Lors de la récolte de ces percolats, une série de paramètres ont été relevés (température dans la chambre de visite, volumes d'eau, conductivité électrique, pH,...) suivant une procédure bien établie (cf § 3.3). Les percolats à l'exutoire de deux lysimètre situés à Gembloux sont aussi récoltés et analysés selon la procédure établie.

– Entretien des lysimètres

Tout au long de cette année, un entretien régulier des lysimètres a été mis en place. C'est ainsi qu'il a été nécessaire de nettoyer une chambre de visite (Photo 1) suite à des coulées de boue survenues sur la parcelle Petit Pont. Le pompage de l'eau inondant certaines chambres de visite s'est également révélé nécessaire au cours de cette période (Photo 2). Enfin, un sous-solage a été effectué à l'aplomb d'un lysimètre dont le fonctionnement hydrologique est perturbé et qui ne permet pas la récolte d'eau à son exutoire.

Photo 1. Nettoyage et vidange d'une chambre de visite



Photo 2. Vidange d'une chambre de visite



– Repositionnement d'un lysimètre au GPS

Il est apparu au cours de cette période que le positionnement GPS d'un lysimètre dans une parcelle était erroné. Il a donc été décidé de sonder cette parcelle en creusant des tranchées et en recherchant le lysimètre à l'aide d'un détecteur de métaux (Photo 3). Une fois le lysimètre retrouvé, son positionnement exact a été repris au GPS (de marque Leica), doublé d'un relevé au théodolite.

Photo 3. Recherche du lysimètre (tranchées + détecteur de métaux)



3.5 Description des essais menés sur les sites lysimétriques

Etant donné les objectifs de la convention (cf § 1.2), 4 des 6 parcelles équipées d'un lysimètre ont fait l'objet d'un essai au cours de l'année 2008. Les 2 autres parcelles suivies (Gros Thier Bovenistier et PL1) étant emblavées en froment, il a été décidé de ne pas y implanter de dispositif expérimental cette année (cf § 3.4).

Deux scénarios par parcelle ont été testés, avec 4 répétitions par scénario. Les différentes sous-parcelles sont récoltées séparément en vue de la quantification individuelle de leur rendement. Les APL sont également mesurés individuellement sur chacune des sous-parcelles.

Les deux scénarios testés diffèrent par la dose d'engrais azoté apporté sur ces sous-parcelles. Le premier scénario testé correspond à un apport 0 UN. Ce scénario, potentiellement le plus favorable à la réduction de la teneur en nitrate de l'eau percolée, se retrouve également à l'aplomb du lysimètre. Le second scénario suit un schéma de fertilisation raisonnée et correspond à un conseil de fumure établi sur base d'un profil azoté réalisé par le CMH au printemps sur ces sous-parcelles. L'apport d'azote sur la terre est réalisé par l'agriculteur sur base des conseils de fumure du laboratoire provincial compétent ou du CMH. Ces conseils sont réalisés sur base de profils azotés effectués dans la parcelle plus tôt dans la saison que sur le parcellaire expérimental. .

3.5.1 Description du plan et du calendrier d'expérimentation par parcelle

Parcelle PL3 (betteraves)

La parcelle PL3 a été emblavée en betteraves en 2008.

Le semis des betteraves s'est effectué le 23 avril. L'essai a été piqueté le 5 mai et le profil azoté en vue du conseil de fumure s'est effectué le 6 mai.

Un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 4) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 72 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 9 mai. Les sous-parcelles sont de dimension 5x8m et sont séparées par des rangées d'une largeur de 1m.

Les betteraves ont été récoltées le 22 septembre et le prélèvement de sol pour déterminer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 9 octobre. Pour chaque sous-parcelle, le rendement total et le rendement sucre des betteraves ont été quantifiés individuellement.

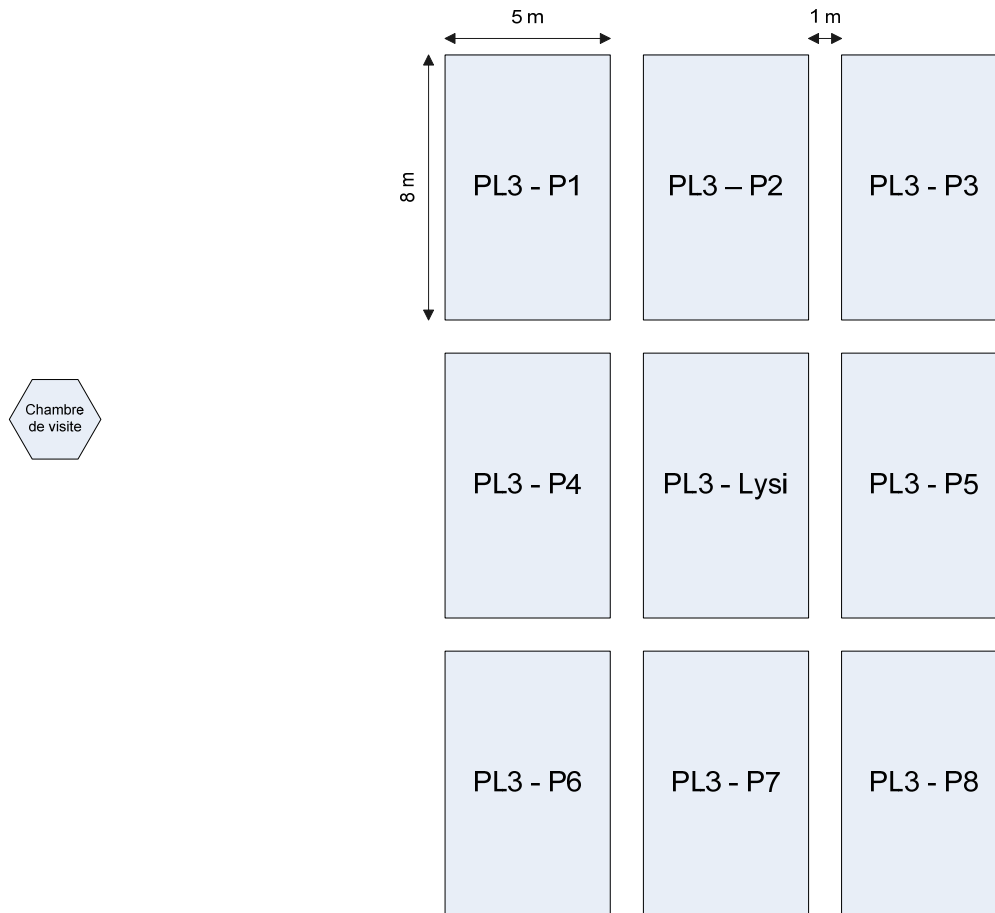


Figure 4. Plan d'expérimentation de la parcelle PL3 – betteraves
 P1, P3, P6, P8 et lysimètre : 0 UN appliquée
 P2, P4, P5, P7 : 72 UN appliquées

Parcelle Sole 4 (carottes)

La parcelle Sole 4 a été emblavée en carottes en 2008.

Le semis des carottes s'est effectué le 6 mai. L'essai a été piqueté le 13 mai et le profil azoté en vue du conseil de fumure s'est effectué le 14 mai.

Un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 5) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 20 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 20 mai. Les sous-parcelles sont de dimension 5x8m et sont séparées par des rangées d'une largeur de 1m.

Les carottes ont été récoltées le 5 novembre et le prélèvement de sol pour déterminer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 10 décembre. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le poids moyen par carotte ont été quantifiés individuellement.

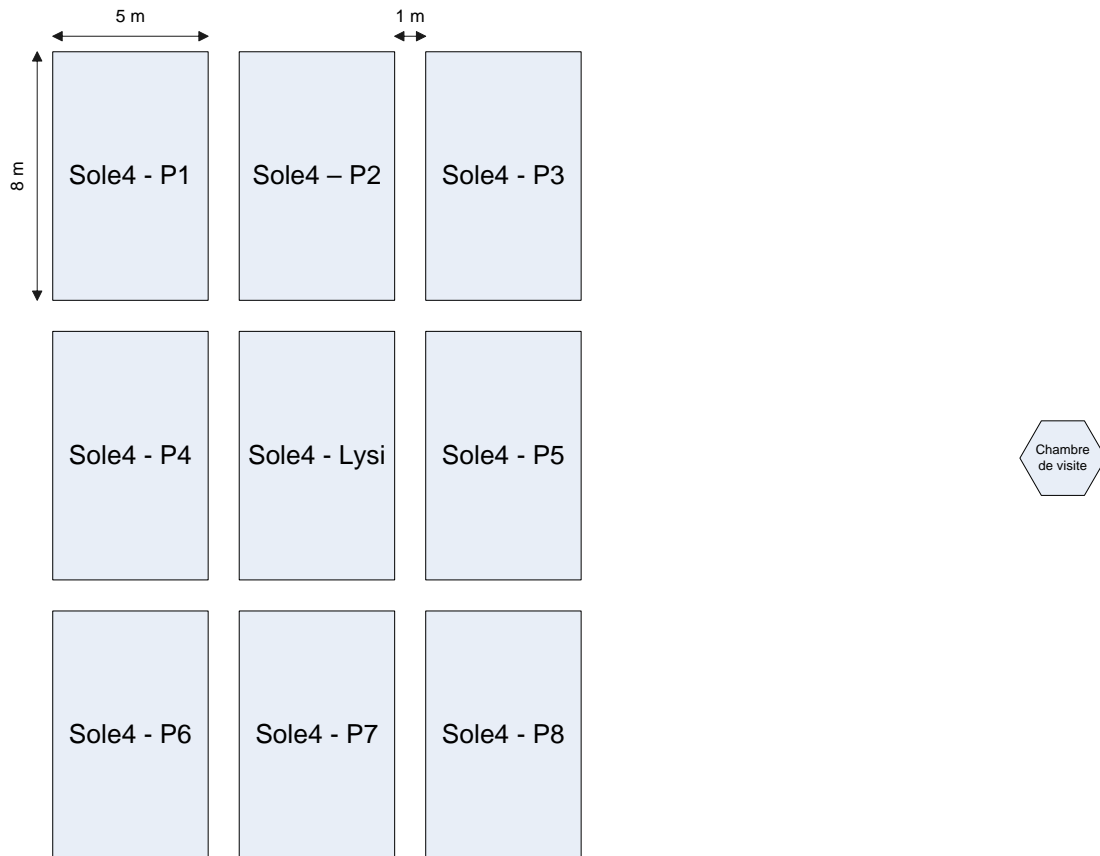


Figure 5. Plan d'expérimentation de la parcelle Sole 4 – carottes
 P1, P3, P6, P8 et lysis : 0 UN appliquée
 P2, P4, P5, P7 : 20 UN appliquées

Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fèves des marais / choux frisés)

La parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer a été emblavée en fèves des marais suivies de choux frisés en 2008.

Le semis des fèves des marais s'est effectué le 6 mai. L'essai a été piqueté le 7 mai et le profil azoté en vue du conseil de fumure s'est également effectué le 7 mai.

Un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 6) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 52 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 9 mai. Les sous-parcelles sont de dimension 6x5m et sont séparées par des rangées d'une largeur de 0,5m.

Les fèves des marais ont été récoltées le 25 juillet et le prélèvement de sol pour déterminer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 31 juillet. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et la tendérométrie ont été quantifiés individuellement.

Les choux frisés ont été repiqués le 1 août. Le piquetage sur choux frisés s'est effectué le 6 août et le profil azoté en vue du conseil de fumure s'est effectué le 4 septembre.

80 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 9 septembre. Les choux frisés ont été récoltés le 28 novembre et le prélèvement de sol pour déterminer le

reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 9 décembre. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et poids moyen par chou ont été quantifiés individuellement.



Figure 6. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer – fèves des marais / choux frisés

P1, P3, P6, P8 et lysis : 0 UN appliquée
P2, P4, P5, P7 : 52 UN + 80 UN appliquées

Parcelle Grosse Pierre Petit Pont (poireaux)

La parcelle Grosse Pierre Petit Pont a été emblavée en poireaux en 2008.

Le repiquage des poireaux s'est effectué le 10 juin. L'essai a été piqueté le 27 juin et le profil azoté en vue du conseil de fumure s'est effectué le 6 août.

Suite à une erreur de fertilisation de l'agriculteur sur les sous-parcelles, le scénario 0 UN initialement prévu sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 7) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre a été remplacé par une application de 100 UN minéral sur l'ensemble des sous-parcelles le 9 mai. Le profil réalisé le 6 août a montré des reliquats azotés élevés ; en

conséquence, aucune application d'azote supplémentaire n'a été réalisée en cours de croissance des poireaux sur le parcellaire. Les sous-parcelles sont de dimension 6x5m et sont séparées par des rangées d'une largeur de 0,5m.

Les poireaux ont été récoltés le 14 octobre et le prélèvement de sol pour déterminer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 4 novembre. Quatre mesures de rendement et de poids moyen par poireau ont été effectuées sur le parcellaire expérimental, ainsi que sur la terre où le niveau de fumure est supérieur.

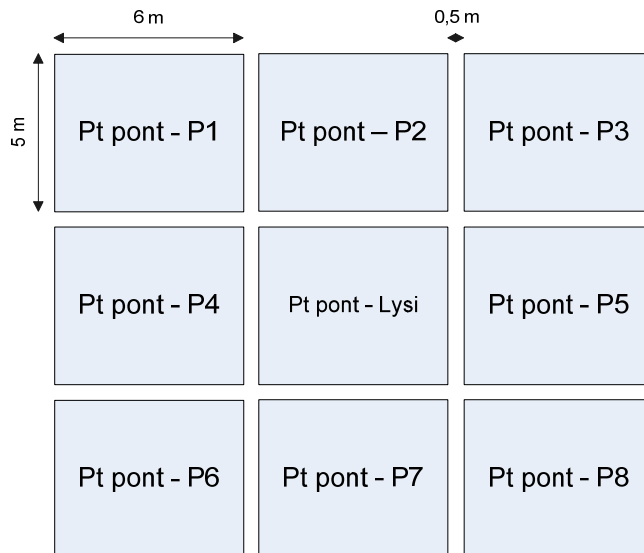


Figure 7. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont - poireaux
100 UN appliquées sur tout le parcellaire

4 Résultats

4.1 Caractérisation climatologique

Les données climatologiques observées à la station IRM de Uccle-Bruxelles sont reprises dans le Tableau 1 pour les années 2007 et 2008. Ces données climatologiques sont caractérisées par :

- la température moyenne (°C)
- les précipitations (l/m²)
- le nombre de jour de précipitations (j)
- la durée d'insolation (h)

L'hiver 2006-2007 a été caractérisé par un excès très exceptionnel⁴ de la température, un excès très anormal des précipitations et un déficit très anormal de la durée d'insolation.

Le printemps 2007 a été caractérisé par un excès très exceptionnel de la température et un excès très anormal de la durée d'ensoleillement. Les précipitations et la fréquence de celles-ci sont restées dans des valeurs normales.

L'été 2007 a été marqué par un excès anormal du total des précipitations. Les autres paramètres climatologiques sont restés dans une gamme de valeurs qualifiées de normales.

L'automne 2007 est caractérisé par des valeurs normales pour l'ensemble des paramètres climatologiques.

L'hiver 2007-2008 a été marqué par un excès très anormal des températures et un excès très exceptionnel de la durée d'insolation. Les précipitations et la fréquence de celles-ci sont restées dans des valeurs normales.

Le printemps 2008 a été particulièrement chaud et humide. Il a ainsi été marqué par un excès très anormal des températures et du total des précipitations. La fréquence des précipitations et l'ensoleillement sont restés dans des valeurs normales.

L'été 2008 présente des caractéristiques climatologiques qui se ne se démarquent pas par rapport aux valeurs normales, malgré la fréquence et le total des précipitations quelque peu excédentaires.

⁴ anormal = phénomène égalé ou dépassé en moyenne au moins une fois tous les 6 ans,
très anormal = phénomène égalé ou dépassé en moyenne au moins une fois tous les 10 ans,
exceptionnel = phénomène égalé ou dépassé en moyenne au moins une fois tous les 30 ans,
très exceptionnel = phénomène égalé ou dépassé en moyenne au moins une fois tous les 100 ans

L'automne 2008 présente des valeurs des paramètres climatologiques qui peuvent être qualifiés de normaux.

En résumé (Figure 8 et Figure 9), en 2007, la température moyenne annuelle fut remarquable. Cette température moyenne a atteint une valeur de 11,5°C à Uccle, battant le record de 11,4°C observé l'année précédente, en 2006. Des records thermométriques mensuels (janvier, avril) et saisonniers (hiver, printemps) furent également largement battus en 2007. Le mois d'avril fut aussi un mois particulièrement exceptionnel: pas de précipitations et records de températures, d'excès d'ensoleillement et de déficit de vent. C'est la première fois qu'au cours d'un mois calendrier, on ne recueille pas une seule goutte d'eau dans le pluviomètre. Au cœur du printemps, le record de la plus longue période sans précipitations a également été battu à cette occasion.

En 2008, la température moyenne fut supérieure à la normale, tout en n'atteignant pas les valeurs observées en 2007. L'hiver et le printemps 2008 se caractérisent par des températures particulièrement clémentes, principalement dues aux mois de janvier et de mai. Le printemps 2008 a également été particulièrement arrosé, suite au mois de mars fort pluvieux.

La Figure 10 présente les précipitations mensuelles, les températures mensuelles et les déficit hydriques mensuels pour la station IRM d'Uccle-Bruxelles.

Tableau 1 : Données climatologiques de la station IRM de Uccle

	Température (°C)	Précipitations (l/m ²)	Jours de précipitations	Insolation (heures)
Hiver 2006-2007				
DECEMBRE 2006	5,9	93,0	18	40
JANVIER 2007	7,2	82,3	26	35
FEVRIER 2007	6,8	95,4	18	49
Hiver 2006-2007	6,6	270,7	62	124
Caractéristiques	te	ta	n	ta
Normales	3,1	186,8	55	168
Printemps 2007				
MARS 2007	8,8	61,9	20	145
AVRIL 2007	14,3	0	0	284
MAI 2007	14,6	103,4	21	164
Printemps 2007	12,3	165,3	41	593
Caractéristiques	te	n	n	ta
Normales	9,5	196,2	53	451
Eté 2007				
JUIN 2007	17,5	99,2	19	130
JUILLET 2007	17,2	96,7	18	178
AOUT 2007	17,1	56,9	13	151
Eté 2007	17,3	252,8	50	459
Caractéristiques	n	a	n	n
Normales	17	210,4	46	568
Automne 2007				
SEPTEMBRE 2007	14,1	57,6	16	103
OCTOBRE 2007	10,4	65,2	11	111
NOVEMBRE 2007	6,8	71,7	22	51
Automne 2007	10,4	194,5	49	265
Caractéristiques	n	n	n	n
Normales	10,4	210,5	53	317
Hiver 2007-2008				
DECEMBRE 2007	4,1	89,2	19	70
JANVIER 2008	6,5	70,7	23	42
FEVRIER 2008	6,1	35,4	11	125
Hiver 2007-2008	5,6	195,3	53	237
Caractéristiques	ta	n	n	te
Normales	3,5	202,1	55	170
Printemps 2008				
MARS 2008	6,3	140,5	24	68
AVRIL 2008	9,3	45,8	14	135
MAI 2008	16,4	53,9	11	231
Printemps 2008	10,7	240,4	49	434
Caractéristiques	ta	ta	n	n
Normales	9,5	196,2	53	450
Eté 2008				
JUIN 2008	16,1	69,9	17	184
JUILLET 2008	18	101,9	20	181
AOUT 2008	17,6	89,3	19	138

	Température (°C)	Précipitations (l/m ²)	Jours de précipitations	Insolation (heures)
Eté 2008	17,2	261,1	56	504
Caractéristiques Normales	n 17	n 210,4	n 46,4	n 568
Automne 2008				
SEPTEMBRE 2008	14	70,8	12	157
OCTOBRE 2008	10,5	72,4	19	122
NOVEMBRE 2008	6,9	67,6	26	39
Automne 2008	10,5	210,8	57	319
Caractéristiques Normales	n 10,4	n 210,5	n 52,7	n 317,4
Hiver 2008-2009				
DECEMBRE 2008	2,8	43,3	13	59

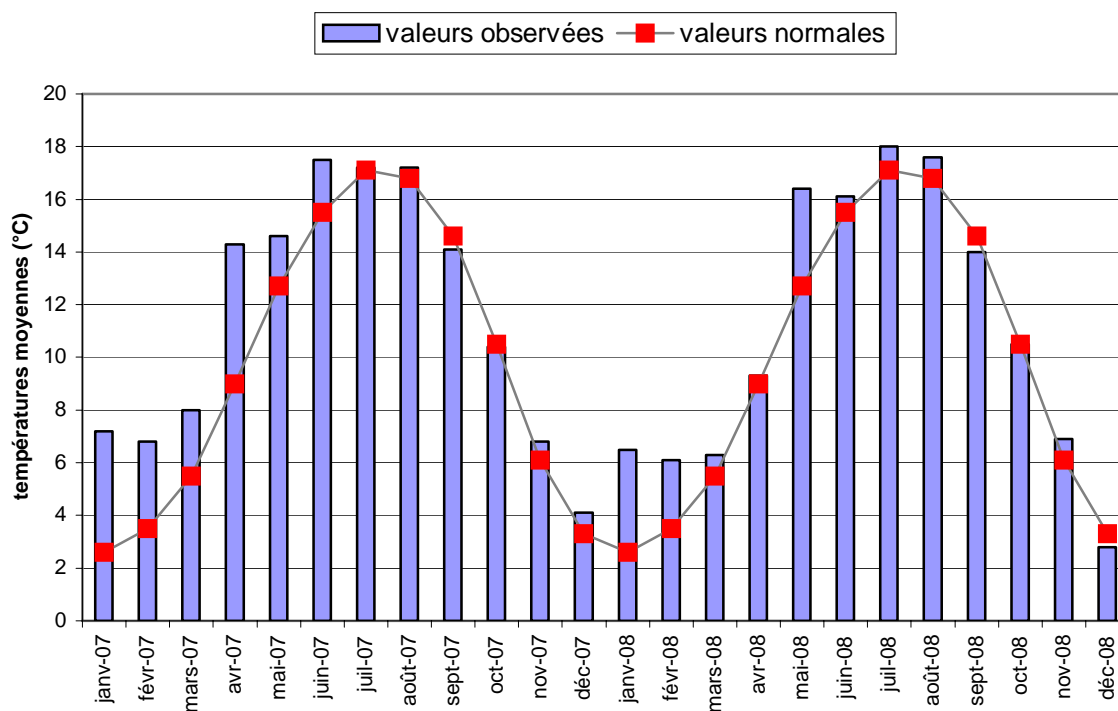


Figure 8. Températures moyennes mensuelles à Uccle : valeurs observées et normales

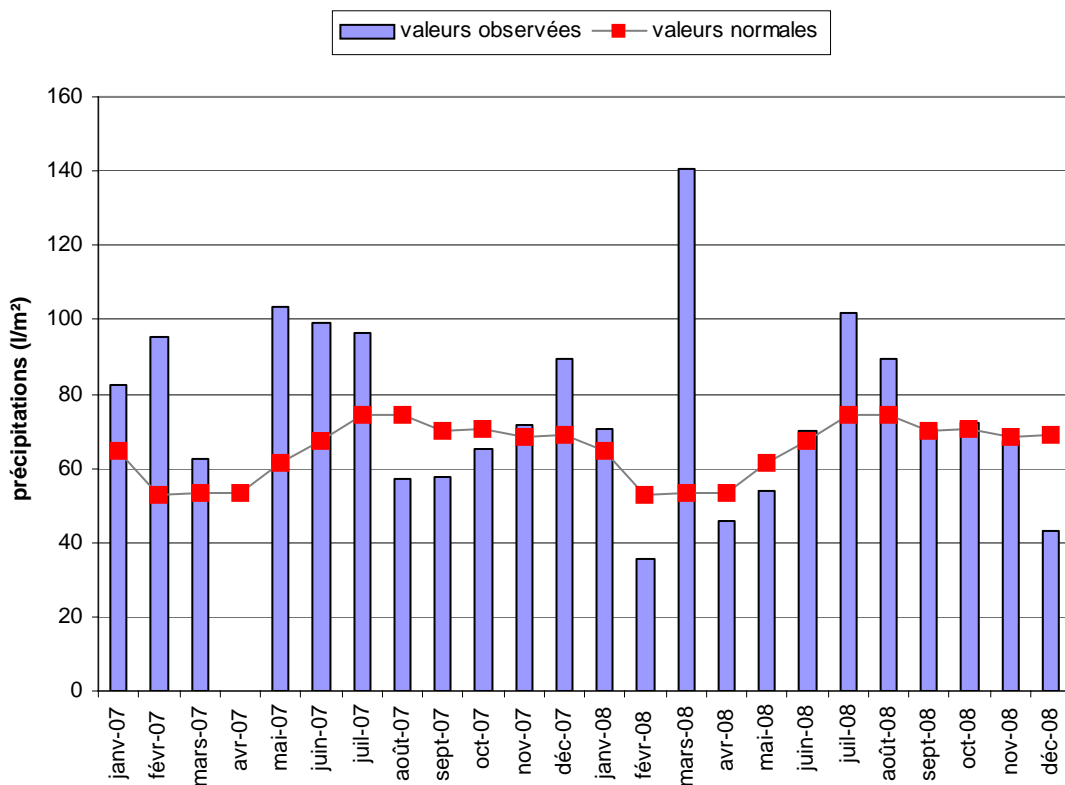


Figure 9. Précipitations à Uccle : valeurs observées et normales

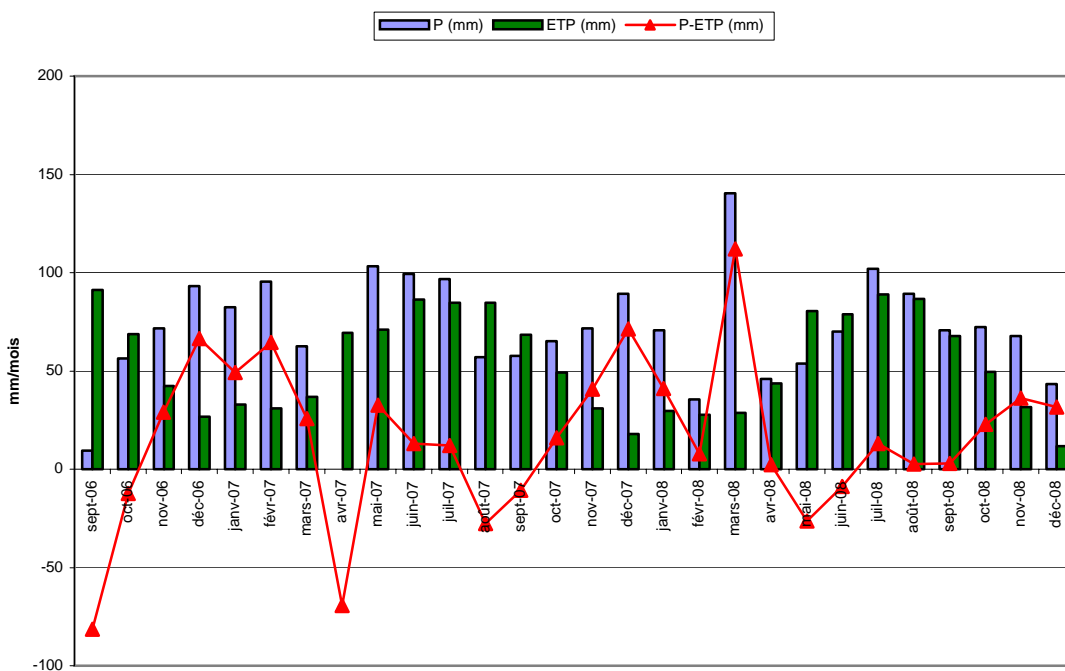


Figure 10. Précipitations (P), Evapotranspiration (ETP) et déficit hydrique (P-ETP) par mois, station IRM d'Uccle

4.2 Résultats par parcelles

4.2.1 Sole 4

La parcelle est localisée sur la planchette 119E de la carte des sols de Belgique.

Le lysimètre est de type remanié, installé en date du 8 août 2003. Un froment a été semé à l'automne 2006, qui a été récolté à l'été 2007. Des carottes ont été semées en mai 2008 et récoltées en novembre 2008. Des haricots sont prévus pour 2009.

Sur la période qui nous occupe, le lysimètre a repris sa première saison de percolation en janvier 2008 pour se tarir mi-avril. La deuxième saison de percolation s'est étalée de juin 2008 à fin août 2008. Le lysimètre ne donne actuellement plus d'eau de percolation.

4.2.1.1 Calendrier cultural

2007 Froment

Fin octobre 2006 : semis du froment

Apports azotés : 19 avril : 66 UN minéral

7 mai : 97 UN minéral

Août : récolte du froment

2008 Carottes

6 mai : semis des carottes

Apports azotés : sur la terre : 5 mai : 39 UN minéral

sur 4 sous-parcelles de l'essai : 20 mai : 20 UN minéral

sur 5 sous-parcelles de l'essai : 0 UN

5 novembre : récolte des carottes

2009 Haricots

4.2.1.2 Résultats APL en 2007 et sur les essais 2008

La récolte de la culture de froment en 2007 a été suivie par la réalisation de profils azotés les 15 octobre, 8 novembre et 29 novembre. Les APL 2007 sur la parcelle Sole 4 sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. APL (kg N-NO₃⁻/ha) sur Sole 4 – 2007

	Froment		
	15/10/2007	8/11/2007	29/11/2007
0-30cm	43	31	23
30-60cm	47	67	64
60-90cm	18	30	40
total	108	128	127

En 2008, un premier profil azoté a été réalisé sur l'ensemble de la parcelle le 7 mars. Ensuite, un profil a été réalisé dans les sous-parcelles le 14 mai en vue du conseil de fumure. Un profil

azoté a été réalisé en date du 10 décembre sur le parcellaire, afin d'évaluer l'azote potentiellement lessivable présent dans le profil après la culture de carottes (Tableau 3).

Tableau 3. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur Sole 4 – 2008

Carottes						
	7/3/2008	14/5/2008		10/12/2008		1/12/2008
	parcelle (39 UN)	0 UN à appliquer	20 UN à appliquer	0 UN appliqués	20 UN appliqués	parcelle (39 UN)
0-30cm	30	55	57	3	2	9
30-60cm	44	48	48	4	3	8
60-90cm	49	43	42	5	8	7
total	123	146	147	12	13	24

On peut voir dans le Tableau 2 que le profil après culture de froment en 2007 est assez chargé en azote, explicable par un retravail du sol favorisant la minéralisation. L'absence de CIPAN après froment se marque par une augmentation de la quantité d'azote dans le profil entre octobre et novembre 2007. Une stabilisation de la quantité d'azote dans le profil s'observe ensuite au cours du mois de novembre. L'observation des profils d'automne 2007 montre également une migration en profondeur de l'azote nitrique qui se retrouvera dans les eaux de percolation recueillies à l'exutoire du lysimètre au cours de l'année 2008 (cf Tableau 8).

Le profil réalisé en mai 2008 (Tableau 3) en vue du conseil de fumure est chargé en azote et montre une augmentation de la quantité d'azote nitrique présente dans le sol par rapport au profil réalisé le 8 mars. Ceci justifie donc le prélèvement d'azote plus tard dans la saison en vue de réaliser un conseil de fumure plus adapté. Les températures élevées de la première quinzaine de mai ont permis une reprise de la minéralisation assez tôt dans la saison, qui se marque par un horizon 0-30cm fort chargé en azote avant la culture de carottes. De plus, ce profil a été réalisé après le semis des carottes sur buttes, c'est-à-dire un travail en profondeur et un affinage du sol important qui favorisent également la minéralisation. Sur base de ce profil de printemps, 20 UN minéral ont été appliquées sur 4 sous-parcelles, les autres sous-parcelles ne recevant pas de fumure azotée. Pour rappel, l'agriculteur a appliqué 39 UN minéral sur l'ensemble de sa terre, à l'exception du parcellaire expérimental.

Les profils réalisés sur les sous-parcelles en décembre 2008 sont peu chargés en azote en raison de l'exportation lors de la récolte des carottes. Les carottes laissent donc des APL faibles après récolte, pour autant que la fumure appliquée ne soit pas trop élevée. (ex : §4.2.2.2 : reliquats azotés élevés sur la parcelle Chemin de Fer après carottes en raison d'un excès de fumure azotée). L'APL sur l'ensemble de la parcelle, avec application d'une fumure azotée double de celle du parcellaire, est plus élevé que celui du parcellaire expérimental, tout en restant faible.

Tests statistiques sur l'essai Sole 4

Un test de Grubbs a été appliqué sur les résultats APL des différentes sous-parcelles. Ce test statistique préliminaire permet de déterminer d'éventuelles valeurs aberrantes dans une série de données à un niveau de probabilité donné. Le principe de ce test est de comparer des valeurs d'écart réduits à des valeurs théoriques maximum admissibles que l'on trouve dans des tables. Le test de Grubbs a été appliqué dans notre cas avec un niveau de probabilité de

5%. Le test de Grubbs appliqué sur les sous-parcelles de l'essai Sole 4 pour la variable APL ne désigne pas de valeur pouvant être considérée comme anormales.

Par ailleurs, une analyse de la variance a été menée sur les résultats APL obtenus. Les statistiques de l'essai sont reprises dans le Tableau 4.

Tableau 4. Analyse de la variance sur la variable APL de l'essai mené sur la parcelle Sole 4

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	6,125	6,125	0,439	NS
Différences entre observations	6	83,75	13,958		
Totaux	7	89,875			

rem : DDL = degrés de libertés
 SCE = somme des carrés des écarts
 Carrés moyens = SCE/DDL
 Fobs = CM_a/CM_b

Le but de cette analyse statistique est de déterminer ou non l'existence d'une différence statistiquement significative entre les résultats APL obtenus pour les 2 objets considérés (fumure 0 UN et fumure raisonnée). La dernière colonne du tableau 4 nous renseigne que la différence est non-significative entre les 2 objets testés sur la parcelle Sole 4 en ce qui concerne la variable APL (mention "NS" pour un niveau de probabilité $\alpha = 5\%$). Les APL obtenus en décembre après culture de carottes dans les sous-parcelles "fumure 0 UN" ne sont donc pas significativement différents des APL obtenus dans les sous-parcelles "fumure raisonnée".

4.2.1.3 Rendements obtenus sur les essais 2008

Les rendements obtenus en carottes sur la parcelle Sole 4 sont repris dans le Tableau 5, ainsi que le poids moyen par carotte.

Tableau 5. Rendements et poids moyen par carotte obtenus sur la parcelle Sole 4

Fumure appliquée (kg N/ha)	Carottes	
	Rendement (T/ha)	Poids moyen/carotte (g)
0	112,43	286
20	112,54	287

On remarque directement que les rendements obtenus pour les deux objets sont très proches l'un de l'autre, tout comme le poids moyen par carotte. Un test de Grubbs appliqué sur les rendements obtenus a indiqué l'absence de valeurs aberrantes pour cette variable.

Une analyse de la variance a été effectuée sur les rendements et sur les poids moyen par carotte obtenus. Les statistiques de l'essai sur ces variables sont reprises dans les Tableau 6 et Tableau 7.

Tableau 6. Analyse de la variance sur la variable rendement de l'essai mené sur la parcelle Sole 4

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	0,02	0,02	0,003	NS
Différences entre observations	6	56,44	9,41		
Totaux	7	56,46			

Tableau 7. Analyse de la variance sur la variable poids moyen par carotte de l'essai mené sur la parcelle Sole 4

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	2,05	2,05	0,004	NS
Différences entre observations	6	3373,86	562,31		
Totaux	7	3375,91			

Les résultats donnés par l'analyse de la variance sur ces deux sous-parcelles confirment le premier examen visuel des données, à savoir qu'il n'existe pas de différences significatives entre les rendements moyens obtenus ni entre les poids moyens par carotte obtenus sur les sous-parcelles correspondant aux deux objets testés.

Conclusion

Dans les conditions 2008 (climatiques, d'implantation de la culture,...) et sur la parcelle Sole 4, le conseil de fumure était excessif d'au moins 20 UN. L'application de 20 UN n'a en effet pas engendré de gain de rendement ni d'augmentation d'APL.

4.2.1.4 Pluviométrie et percolats

Tableau 8 : Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes d'eau récoltés et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié
			(mg NO ₃ ⁻ /l)	(mg)	Kg N-NO ₃ ⁻ /ha
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Juin 2007	99,2	0	-	-	-
Juillet	96,7	0	-	-	-
Août	56,9	0	-	-	-
Septembre	57,6	0	-	-	-
Octobre	65,2	0	-	-	-
Novembre	71,7	0	-	-	-
Décembre	89,2	0	-	-	-
Janvier 2008	70,2	34,9	23	798	2
Février	35,4	22,6	143	3226	7
Mars	140,5	43,5	132	5745	13
Avril	45,8	29,6	129	3807	9
DRAINAGE I	828,4	130,6	104	13577	31
Mai	53,9	0	-	-	-
Juin	69,9	20,6	173	3566	8
Juillet	101,9	8,9	147	1305	3
Août	89,3	0,9	176	158	0
Septembre	70,8	0	-	-	-
Octobre	72,4	0	-	-	-
DRAINAGE II	458,2	30,4	165	5029	11

Les données de pluviométrie (1) sont celles données par la station IRM d'Uccle. En effet, les données pour la station IRM de Waremme sont actuellement indisponibles. Les volumes récoltés sont les quantités d'eau récoltées dans le bidon dans la chambre de visite, à l'exutoire du lysimètre. Les concentrations en nitrate sont données par l'analyse du laboratoire Epuvaleur. La moyenne mensuelle des concentrations (3) est calculée par le passage en flux (quantité mensuelle d'ions nitrate lixiviés divisée par le volume récolté mensuel (2)). Les quantités de nitrate (4) sont le cumul mensuel des concentrations mesurées multipliées par les volumes récoltés. La conversion en unités d'azote nitrique à l'hectare (5) se fait par multiplication du facteur 0.2258 (rapport des poids moléculaires), ensuite multiplication par 10 000 pour passer du m² à l'ha, et division par 1 000 000 pour passer de mg en Kg.

Au cours de la saison de drainage 2007-2008 (I), le lysimètre a commencé à donner de l'eau à son exutoire en janvier 2008, soit assez tardivement compte tenu de l'absence de couvert automnal. Cependant, le printemps sec et chaud ainsi que le bon développement du froment en été avaient laissé le sol dans un état de relative sécheresse fin de l'été, que n'a pas permis de recharger un automne relativement peu pluvieux. La percolation s'est poursuivie pendant 4 mois pour se tarir au cours du mois d'avril. La teneur en nitrate dans l'eau de percolation est élevée et dépasse les 100 mg NO₃⁻/l.

La deuxième saison de drainage (II) commence début juin. La percolation continue jusqu'à août, mois durant lequel le lysimètre se tarit. Les besoins en eau élevés de la carotte ont laissé un profil hydrique asséché au cours du cycle de cette culture. Actuellement, le lysimètre ne donne pas d'eau. Les concentrations en nitrate dans l'eau de percolation recueillie au cours de

cette saison de drainage sont élevées et dépassent les 150 mg NO₃⁻/l, à mettre en relation avec l'APL élevé après froment en 2007.

En conclusion, l'année qui suit une récolte de froment non suivie d'une CIPAN, la concentration en nitrate de l'eau à l'exutoire du lysimètre est élevée (de l'ordre de 150 mg NO₃⁻/l) et du même ordre de grandeur que le reliquat azoté mesuré en début de période de lixiviation après récolte du froment (150 kg N-NO₃⁻/ha).

4.2.2 Grosse Pierre Chemin de fer

La parcelle est localisée sur la planchette 120W de la carte des sols de Belgique.

Le lysimètre de type remanié a été installé le 4 juillet 2003. Une culture de carottes a été semée fin avril 2007. Celle-ci a été récoltée à l'automne 2007 et a été suivie d'une CIPAN (moutarde). En mai 2008, des fèves des marais ont été implantées. Elles ont été récoltées fin juillet, suivi par le repiquage de choux frisés début août. Les choux frisés ont été récoltés fin novembre. Une culture de poireaux est prévue pour 2009.

La saison de drainage 2007-2008 a débuté en juin 2007. De l'eau a été régulièrement récoltée à l'exutoire du lysimètre tout au long de la saison de drainage. La deuxième saison de drainage a débuté en mai 2008, sans véritable interruption avec la saison de drainage précédente. De l'eau a été récoltée jusqu'en juillet, mois au cours duquel le lysimètre s'est tari.

4.2.2.1 *Calendrier cultural*

2007 Carottes

23 avril : semis des carottes

25 avril: apport de 20 UN minéral

2 septembre : récolte des carottes

11 septembre : semis d'une moutarde

2008 Fèves des marais – Choux frisés

6 mai: semis des fèves

Apport azoté : sur la terre : 40 UN minéral le 8 avril

sur 4 sous-parcelles de l'essai : 52 UN minéral le 9 mai

sur 5 sous-parcelles de l'essai : 0 UN

25 juillet : récolte des fèves des marais

1 août : repiquage des choux frisés

Apport azoté : sur 4 sous-parcelles de l'essai : 80 UN minéral le 9 septembre

sur 5 sous-parcelles de l'essai : 0 UN

28 novembre : récolte des choux frisés

2009 Poireaux

4.2.2.2 *Résultats APL en 2007 et sur les essais 2008*

La culture de carottes en 2007 a été suivie par la réalisation de profils APL les 8 et 29 novembre. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9. APL (kg N-NO₃⁻) sur Chemin de Fer - 2007

	Carottes + moutardes	
	8/11/2007	29/11/2007
0-30cm	27	28
30-60cm	38	25
60-90cm	47	43
total	112	96

En 2008, un premier profil azoté a été réalisé sur l'ensemble de la parcelle le 8 mars, suivi le 7 mai d'un profil en vue du conseil de fumure. Un profil azoté a été réalisé en date du 31 juillet, afin d'évaluer le reliquat azoté présent dans le profil après la culture de fèves des marais (Tableau 10). Un nouveau profil a été réalisé après repiquage des choux frisés le 4 septembre, en vue du conseil de fumure. Enfin, un profil azoté a été réalisé le 9 décembre pour évaluer l'APL après choux frisés (Tableau 11).

Tableau 10. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻) sur Chemin de Fer (fèves des marais) - 2008

	Fèves des marais				
	8/3/2008	7/5/2008		31/7/2008	
	parcelle 40 UN	0 UN à appliquer	52 UN à appliquer	0 UN appliqués	52 UN appliqués
0-30cm	33	33	29	18	17
30-60cm	39	33	28	19	22
60-90cm	33	27	25	22	25
total	105	93	82	59	64

Tableau 11. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻) sur Chemin de Fer (choux frisés) - 2008

	Choux frisés				
	4/9/2008		9/12/2008		9/12/2008
	0 UN à appliquer	80 UN à appliquer	0 UN appliqués	80 UN appliqués	parcelle 0 UN appliqués
0-30cm	56	61	8	9	9
30-60cm	28	31	8	9	8
60-90cm	-	-	7	9	11
total	84	92	23	27	28

Les APL mesurés en novembre 2007 après les carottes sont élevés (Tableau 9). Ceci peut s'expliquer par le profil fort chargé en azote avant le semis des carottes, en raison d'un accident dans l'apport de matière organique en automne 2006 (apport d'un compost beaucoup plus riche en azote que prévu). La culture de carotte, pourtant bonne consommatrice d'azote, n'a pas permis de récupérer ce profil extrêmement chargé et laisse une quantité d'azote nitrique dans le sol excessive d'un point de vue environnemental plus d'un an après l'accident de fertilisation. L'intérêt de la CIPAN après carotte se marque dans la diminution de la quantité d'azote nitrique dans le profil entre début et fin novembre. Une migration en profondeur de l'azote nitrique se marque également sur cette période.

Le profil réalisé en mai 2008 avant fèves des marais (Tableau 10) est relativement chargé en azote, malgré une diminution de la quantité d'azote nitrique dans le sol par rapport au 8 mars. Cette différence de reliquat azoté entre le mars et le 7 mai permet d'expliquer la différence dans le conseil de fumure entre le parcellaire expérimental et la parcelle prise dans sa globalité. La culture de fèves 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 et 30-60cm en raison du faible enracinement de cette culture.

Le profil azoté en vue du conseil de fumure pour les choux frisés a été réalisé le 4 septembre (Tableau 11), soit un mois après le repiquage des choux frisés. Les besoins en azote de la culture étant faibles durant cette période, il a ainsi été possible de tenir compte de la minéralisation des résidus de la culture de fèves des marais au cours du mois d'août et d'ajuster au mieux le conseil pour les choux frisés. Cette minéralisation se marque dans le profil dans les deux premiers horizons, avec un enrichissement important de ces horizons en azote nitrique. La quantité importante d'azote nitrique dans le profil 0-60cm est ainsi directement disponible pour la culture et un conseil mieux adapté à l'objectif de préservation de l'eau a ainsi pu être fourni.

Les choux frisés laissent un profil pauvre en azote après récolte, ce qui souligne une bonne utilisation de l'azote par cette culture au cours de l'essai.

Tests statistiques sur l'essai Chemin de Fer

Un test de Grubbs a été appliqué sur les résultats APL des différentes sous-parcelles. Ce test statistique permet de déterminer d'éventuelles valeurs aberrantes dans une série de données à un niveau de probabilité donné. Ce test n'a pas permis de détecter de valeur aberrante d'APL après fèves des marais dans les répétitions de l'essai. En revanche, le test de Grubbs a permis de détecter une valeur d'APL anormalement élevée dans une des sous-parcelles de l'essai après récolte des choux frisés. Cette valeur a donc été recalculée avant d'être utilisée dans l'analyse de la variance.

L'analyse de la variance réalisée sur les résultats APL après fèves des marais est présentée dans le Tableau 12; celle réalisée sur les résultats APL après choux frisés est présentée dans le Tableau 13.

Tableau 12. Analyse de la variance sur la variable APL après fèves des marais de l'essai mené sur la parcelle Chemin de Fer

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	50	50	3,681	NS
Différences entre observations	6	81,5	13,583		
Totaux	7	131,5			

Tableau 13. Analyse de la variance sur la variable APL après chou frisé de l'essai mené sur la parcelle Chemin de Fer

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	40,5	40,5	1,174	NS
Différences entre observations	6	207	34,500		
Totaux	7	247,5			

Le tableau 12 nous enseigne qu'il n'existe pas de différence significative entre les APL mesurés après la récolte des fèves des marais (mention "NS" dans la dernière colonne, avec un risque de première espèce $\alpha = 5\%$). L'application d'une fertilisation raisonnée n'a donc pas engendré de reliquat azoté après récolte des fèves significativement différent de celui obtenu sur des parcelles n'ayant pas reçu de fertilisation azotée.

L'analyse de la variance sur les APL après choux frisés nous apprend qu'il n'existe pas non plus de différence significative entre les deux objets testés. Le scénario fertilisation 0UN

donne des APL après choux frisés non significativement différents de ceux obtenus suite au scénario fertilisation raisonnée.

4.2.2.3 Rendements obtenus sur les essais 2008

Les rendements obtenus sur les sous-parcelles de l'essai mené sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer sont repris dans les Tableau 14 et Tableau 15. On y retrouve les rendements et les tendérométries pour les fèves des marais et les rendements et les poids moyens pour les choux frisés.

Tableau 14. Rendements et tendérométries obtenus sur la parcelle Chemin de fer (fèves des marais)

Fumure appliquée (kg N/ha)	Fèves des marais	
	Rendement (kg/ha)	Tendérométrie
0	5246	102,8
52	5225	102,5
40 (sur parcelle)	7347	/

Tableau 15. Rendements et poids moyen des choux obtenus sur la parcelle Chemin de Fer (choux frisés)

Fumure appliquée (kg N/ha)	Choux frisés	
	Rendement (T/ha)	Poids moyen/chou (g)
0	25,9	840
80	30,2	989
0 (sur parcelle)	27,2	/

Les tests de Grubbs appliqués aux différents résultats présentés dans ces tableaux n'ont pas permis de détecter de valeurs anormales dans les différentes sous-parcelles.

En première approche, les résultats de rendement et de tendérométrie obtenus pour les fèves des marais sur le parcellaire expérimental semblent assez proches pour les deux objets testés (fertilisation 0 UN et fertilisation raisonnée). En revanche, le rendement obtenu sur la parcelle en fèves des marais est nettement plus élevé.

Sur les choux frisés, certaines différences semblent se marquer dans les résultats obtenus. Le rendement obtenu sur la parcelle prise dans sa globalité est intermédiaire par rapport aux rendements observés sur le parcellaire expérimental.

Afin de confirmer ces tendances, des analyses de la variances ont été réalisées sur les variables rendement et tendérométrie pour les fèves des marais (Tableau 16 et Tableau 17) et sur les variables rendement et poids moyen par chou pour les choux frisés (Tableau 18 et Tableau 19).

Tableau 16. Analyse de la variance sur la variable rendement en fèves des marais de l'essai mené sur la parcelle Chemin de Fer

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	887,45	887,45	0,007	NS
Différences entre observations	6	711199,52	118533,25		
Totaux	7	712086,98			

Tableau 17. Analyse de la variance sur la variable tendérométrie en fèves des marais de l'essai mené sur la parcelle Chemin de Fer

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	0,13	0,13	0,020	NS
Différences entre observations	6	37,75	6,29		
Totaux	7	37,88			

Ces deux tableaux nous apprennent que, ni pour les rendements ni pour les tendérométries, les résultats obtenus ne sont significativement différents entre les deux objets testés ($\alpha = 5\%$). L'application de 52 UN minéral n'a donc pas induit de différence de rendement ni de tendérométrie par rapport à la fumure 0 UN en fèves des marais au cours de cet essai.

Tableau 18. Analyse de la variance sur la variable rendement en choux frisés de l'essai mené sur la parcelle Chemin de Fer

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%	Significatif 1%
Différences entre fumures	1	35,88	35,88	29,261	S	S
Différences entre observations	6	7,36	1,23			
Totaux	7	43,24				

Tableau 19. Analyse de la variance sur la variable poids moyen/chou en choux frisés de l'essai mené sur la parcelle Chemin de Fer

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%	Significatif 1%
Différences entre fumures	1	44733	44732,60	23,935	S	S
Différences entre observations	6	11214	1868,96			
Totaux	7	55947				

Contrairement aux fèves des marais, les choux frisés présentent des différences significatives ($\alpha = 5\%$) et même hautement significatives ($\alpha = 1\%$) de rendement et de poids moyen par chou selon la quantité d'azote appliquée. On peut donc dire que les choux récoltés sur les sous-parcelles ayant reçu un apport de 80 UN minéral en cours de culture présentent des rendements et des poids moyens par chou qui sont significativement plus élevés que ceux des choux récoltés sur les sous-parcelles n'ayant pas reçu d'apport d'azote en cours de culture.

Conclusion

Dans les conditions 2008 et sur la parcelle Chemin de Fer, le conseil de fumure en fèves des marais sur le parcellaire expérimental était excessif d'au moins 50 UN. L'application de 50 UN n'a en effet pas engendré de gain de rendement ni d'augmentation d'APL.

En revanche, le conseil de 80 UN en choux frisés était justifié, permettant d'obtenir un gain de rendement sans augmentation d'APL.

4.2.2.4 Pluviométrie et percolats

Tableau 20 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié
			(mg NO ₃ /l)	(mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Juin 2007	99,2	13,4	65	870	2
Juillet	96,7	0	-	-	-
Août	56,9	19,8	64	1267	3
Septembre	57,6	22,5	63	1418	3
Octobre	65,2	21,3	74	1571	4
Novembre	71,7	36,5	85	3113	7
Décembre	89,2	27	88	2376	5
Janvier 2008	70,2	36,5	268	9776	22
Février	35,4	23,1	283	6535	15
Mars	140,5	74,7	323	24137	55
Avril	45,8	30,3	307	9315	21
DRAINAGE I	828,4	305,1	198	60376	136
Mai	53,9	8,5	323	2749	6
Juin	69,9	45,5	407	18558	42
Juillet	101,9	3,2	220	704	2
Août	89,3	0	-	-	-
Septembre	70,8	0	-	-	-
Octobre	72,4	0	-	-	-
DRAINAGE II	458,2	57,1	385	22011	50

La saison de drainage 2007-2008 (I), qui s'est amorcée en juin 2007, a réellement débuté en août. Ce lysimètre a régulièrement donné de l'eau de percolation tout au long de cette saison de drainage, indiquant ainsi son bon fonctionnement hydrologique. Le mois de mars exceptionnellement pluvieux engendre une récolte d'eau à l'exutoire du lysimètre particulièrement importante durant ce mois. Les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation sont élevées dès le début de cette saison de drainage et dépassent les 50 mg NO₃⁻/l, dans la continuité des valeurs obtenues lors de la précédente saison de drainage. Une augmentation de cette concentration s'amorce fin 2007 ; cette tendance se confirme et s'amplifie en 2008, avec la récolte d'eau de percolation présentant des teneurs en nitrate particulièrement élevées (plus de 300 mg NO₃⁻/l en moyenne sur les mois de janvier à avril !). Ces concentrations sont bien sûr à mettre en relation avec l'accident de fertilisation survenu en octobre 2006, avec l'application de 640 UN organique. Le front d'avancement du nitrate a ainsi mis 15 mois pour atteindre le fond de la cuve lysimétrique, sur une période plus pluvieuse que la normale. La vitesse du front d'avancement peut ainsi être estimée à 1,6 m par an pour cette période et sur ce site lysimétrique.

La seconde saison de drainage (II) a commencé en mai 2008, sans réelle interruption avec la précédente. De l'eau de percolation a été récoltée jusque début juillet. A partir de ce moment, le lysimètre s'est tari, ne donnant plus d'eau de percolation pour cette saison de drainage. La percolation n'a pas encore repris actuellement (novembre 2008). Les concentrations en nitrate au cours de cette période restent extrêmement élevées (près de 400 mg NO₃⁻/l en moyenne) et ne montrent pas de signe de fléchissement. L'eau de percolation récoltée lors de cette période a donc continué à lessiver le profil particulièrement chargé en azote suite à un événement ponctuel survenu plus d'un an et demi auparavant. Au total, sur l'année 2008, ce sont 163 kg

N-NO₃⁻/ha, non récupérables par les cultures en surface, qui ont migré en profondeur vers les eaux souterraines, représentant ainsi une pression considérable sur celles-ci. Au total, au cours de l'année 2008, ce sont plus de 1500 kg N-NO₃⁻ pour l'ensemble de la parcelle qui ont migré sous les 2m de profondeur et qui rejoindront vraisemblablement la nappe à terme.

4.2.3 Gros Thier Bovenistier

La parcelle est localisée sur la planchette 120W de la carte des sols de Belgique.

Le lysimètre de type non remanié a été le dernier installé, le 14 août 2003. Suite à la culture de pommes de terre en 2006, une betterave a été installée en mars 2007 et récoltée en novembre 2007. Un froment a été semé fin 2007. Une moutarde a été implantée à l'automne 2008 suite à la culture de froment. Pour 2009, des fèves des marais sont prévues.

La première saison de drainage s'est amorcée en juin et août 2007 pour connaître un creux en septembre et octobre. Le mois de novembre a vu la récolte d'un volume important d'eau à l'exutoire du lysimètre. Cette récolte d'eau de percolation s'est poursuivie jusque mai 2008 avec un tarissement du lysimètre à la fin de ce mois. La deuxième saison de percolation a repris en juillet 2008 et a permis la récolte d'eau jusque fin octobre.

4.2.3.1 *Calendrier cultural*

2007 Betteraves

début avril : semis des betteraves
29 mars : apport de 91 UN minéral
Fin novembre : récolte des betteraves

2008 Froment

Fin novembre 2007: semis du froment
Apports azotés : 3 avril : 62 UN minéral
7 mai : 60 UN minéral
21 mai : 73 UN minéral
20 août : récolte du froment
Début septembre : semis d'une moutarde

2009 Fèves des marais

4.2.3.2 *Résultats APL en 2007 et 2008*

Tableau 21. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻) sur Bovenistier –2007 et 2008

	Betteraves		Froment + moutardes		
	14/3/2007	29/11/2007	26/8/2008	24/10/2008	1/12/2008
0-30cm	22	6	22	14	8
30-60cm	32	9	16	20	5
60-90cm	40	8	3	20	5
total	94	23	41	54	18

Le profil réalisé en mars avant betteraves est relativement chargé en azote ; l'azote nitrique est en cours de migration vers la profondeur. L'APL réalisé le 29 novembre montre la bonne utilisation de l'azote par la betterave, qui laisse un reliquat azoté à la récolte faible.

Le profil post-récolte du froment en 2008 montre un début de minéralisation de l'humus du sol. L'APL d'octobre montre une migration vers la profondeur de l'azote nitrique, qui ne sera plus disponible pour les cultures. L'APL réalisé le 1^{er} décembre prouve l'efficacité de la moutarde qui a récupéré une partie de la quantité d'azote présente dans le sol à la récolte de froment. De manière générale, on peut à nouveau observer l'intérêt d'une rotation betteraves/céréale en association avec une CIPAN dans l'optique de la préservation des eaux souterraines, comme l'attestent les reliquats azotés très faibles, particulièrement dans le fond du profil.

4.2.3.3 Pluviométrie et percolats

Tableau 22 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié Kg N-NO ₃ /ha
			(mg NO ₃ /l)	(mg)	
Juin 2007	99,2	14,7	91	1342	3
Juillet	96,7	0	-	-	-
Août	56,9	5	96	480	1
Septembre	57,6	0	-	-	-
Octobre	65,2	0	-	-	-
Novembre	71,7	56,5	13	717	2
Décembre	89,2	0	-	-	-
Janvier	70,2	24,7	82	2024	5
Février	35,4	14,2	15	213	0,5
Mars	140,5	58,5	16	923	2
Avril	45,8	18	17	298	1
Mai	53,9	2,9	19	56	0
DRAINAGE I	882,3	194,2	31	6053	14,5
Juin	69,9	0	-	-	-
Juillet	101,9	0,55	82	45	0
Août	89,3	12,7	40	502	1
Septembre	70,8	5,9	15	87	0
Octobre	72,4	10,2	18	183	0,5
DRAINAGE II	404,3	29,4	28	816	1,5

La saison de drainage (I) s'est amorcée au cours du mois de juin 2007. Au cours des mois de septembre et d'octobre, les betteraves bien en place ont récupéré la pluviométrie et n'ont pas permis de récolter d'eau de percolation. La récolte d'eau n'a réellement commencé qu'en novembre et s'est poursuivie jusque fin mai 2008, mois au cours duquel le lysimètre s'est tari. Le mois de mars 2008, particulièrement pluvieux, a permis la récolte du volume mensuel d'eau de percolation le plus élevé au cours de cette saison. Les teneurs en nitrate dans l'eau récoltée sont élevées jusque janvier 2008, signe de la migration de l'azote sous les 2m de profondeur suite à la culture de pommes de terre en 2006. Dès février 2008, les concentrations chutent à des valeurs beaucoup plus faibles et sous les 50 mg NO₃/l.

Juillet 2008 marque le début modéré de la saison de drainage (II). Celle-ci se poursuivra jusque fin octobre. Un pic dans les concentrations en nitrate dans l'eau s'observe à la reprise de la percolation en juillet et août. Celui-ci pourrait correspondre à des transferts très rapides de nitrate liés aux premiers écoulements cheminant dans la porosité fissurale grossière. Par la suite, ces teneurs redescendent à des valeurs plus faibles et plus attendues au vu de la succession culturale en place.

4.2.4 **Grosse Pierre Petit Pont**

La parcelle est localisée sur la planchette 120 W de la carte des sols de Belgique.

Le lysimètre de type remanié a été installé le 27 mai 2003. Une succession fèves des marais / choux frisés a été mise en place en 2007. En 2008, des poireaux ont été repiqués en bande sur cette parcelle, en alternance avec un froment. On y retrouvait une bande de poireaux à l'aplomb du lysimètre. Un pois est prévu en 2009.

Aucune eau de percolation n'a été récoltée durant l'hiver 2007-2008. Dès lors, et au vu des antécédents au niveau du fonctionnement de ce lysimètre, un sous-solage a été entrepris à l'aplomb du lysimètre au printemps 2008 avant le repiquage des poireaux (cf § 4.2.4.4). Quelques faibles volumes d'eau ont alors pu être récoltés de mai jusque juillet au cours de cette période de drainage.

4.2.4.1 *Calendrier cultural*

2007 Fèves des marais / choux frisés

- 13 avril : semis des fèves
- 18 avril : apport de 40 UN minéral
- 15 juillet : récolte des fèves
- 17 juillet : apport de 80 UN minéral
- 19 juillet : repiquage des choux frisés
- 13 septembre : apport de 62 UN minéral
- du 21 au 26 novembre : récolte des choux frisés

2008 Poireaux

- 9 mai : apport de 100 UN minéral sur la terre et le lysimètre
- 10 juin: repiquage des poireaux
- 9 août : apport de 135 UN minéral sur la terre
- 14 octobre : récolte des poireaux

2009 Pois

4.2.4.2 *Résultats APL en 2007 et sur les essais 2008*

Le reliquat azoté post-récolte a été mesuré après la récolte des choux frisés en novembre 2007. Des profils azotés ont été réalisés les 6 août et 9 octobre 2008 (jusque 60 cm) sur poireaux. Enfin, les reliquats azotés post-récolte après la culture de poireau ont été mesurés le 4 novembre 2008 sur les sous-parcelles de l'essai ainsi que sur la terre (Tableau 23).

Tableau 23. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻) sur Petit Pont – 2007 et 2008

	Fèves / choux	Poireaux			
	29/11/2007	6/8/2008	9/10/2008	4/11/2008	4/11/2008
	terre	lysimètre (100 UN)			terre (235 UN)
0-30cm	31	57	24	19	19
30-60cm	18	82	65	40	71
60-90cm	24	49	-	40	50
total	73	188	89	99	140

La rotation fèves des marais / choux frisés en 2007 utilise relativement bien l'azote. Une partie de l'azote nitrique du sol a peut-être déjà migré sous le profil 0-90 cm. Une minéralisation des résidus de récolte se marque également dans l'horizon de surface.

Le reliquat azoté réalisé le 6 août sur les sous-parcelles de l'essai est fort chargé. Un apport de 100 UN minéral avait été appliqué par l'agriculteur en mai sur l'ensemble des sous-parcelles, ce qui peut expliquer la quantité importante d'azote nitrique dans le sol à ce moment. Suite à ce profil, il a été décidé de ne plus appliquer d'azote sur aucune des sous-parcelles de l'essai et de considérer l'ensemble de celles-ci comme un objet unique (fertilisation = 100 UN minéral). Un second profil jusque 60 cm a été réalisé le 9 octobre sur l'ensemble des sous-parcelles. Ce profil montre un appauvrissement des horizons 0-30 et 30-60 cm associé au prélèvement de l'azote nitrique par la culture, à moins qu'une migration en profondeur ne soit en cours. Les reliquats post-récolte réalisés sur les sous-parcelles et sur la terre en novembre montrent des quantités d'azote nitrique particulièrement importantes dans les horizons profonds (30-60 et 60-90 cm). Cet azote en cours de migration n'a pas pu être utilisé par la culture au cours de son développement et on peut raisonnablement s'attendre à le retrouver dans l'eau de percolation au cours de l'année 2009. L'APL mesuré sur la terre dans l'horizon 30-90 cm présente 41 kg N-NO₃⁻/ha de plus que celui mesuré dans les sous-parcelles. Ceci marque l'effet des 135 UN minéral appliquées en plus par l'agriculteur sur sa terre en août 2008 et qui n'ont pu être qu'en partie valorisées par la culture. Cet azote se retrouvera à terme dans les eaux souterraines.

Tests statistiques sur la parcelle Petit Pont

Un test de grubbs a été appliqué sur les reliquats azotés obtenus après récolte des poireaux sur les sous-parcelles de l'essai. Aucune valeur anormale n'a pu être mise en évidence.

Les reliquats azotés post-récolte ont également été soumis au test de Dunnett. Celui-ci est un test statistique qui permet de comparer des moyennes par rapport à un témoin. Dans notre cas, la moyenne correspond à la moyenne des observations sur les 8 sous-parcelles de l'essai tandis que le témoin correspond à la valeur observée sur la terre. Il est ressorti de ce test que pour être significativement différente de l'APL obtenu sur la terre, la moyenne des APL obtenus sur les 8 sous-parcelles de l'essai devrait s'en éloigner de 67 kg N-NO₃⁻. Or la différence s'élève à 41 kg N-NO₃⁻. Malgré cette différence, la moyenne des reliquats azotés de l'essai ne peut donc pas être considérée comme significativement différente (au sens statistique) des reliquats obtenus sur la parcelle.

4.2.4.3 Rendements obtenus sur les essais 2008

La fumure azotée étant la même sur tout le parcellaire expérimental, 4 mesures de rendement ont été effectuées sur ce même parcellaire et 4 mesures dans la terre où le niveau de fumure est plus élevé. Ces mesures sont reprises dans le Tableau 24.

Tableau 24. Rendements et poids moyens obtenus sur la parcelle Petit Pont (poireaux)

	Poireaux	
	Rendement (T/ha)	Poids moyen/poireau (g)
lysimètre (100 UN min)	80,6	405
terre (235 UN min)	88,3	443

Le rendement obtenu sur la terre est supérieur de 7,7 t/ha par rapport à celui obtenu sur l'essai et la différence s'élève à 38 g/poireau en ce qui concerne le poids moyen. Une analyse statistique a donc été réalisée sur ces résultats pour déterminer si ces différences sont statistiquement significatives ou non.

Un test de Grubbs appliqué aux variables rendement et poids moyen par poireau a tout d'abord été effectué et n'a pas décelé de valeurs aberrantes dans les répétitions. Une analyse de la variance a ensuite été effectuée sur ces mêmes variables afin de déterminer l'existence éventuelle de différences statistiques entre elles. Ces analyses sont reprises dans les Tableau 25 et Tableau 26.

Tableau 25. Analyse de la variance sur la variable rendement – parcelle Petit Pont (poireaux)

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	117,56	117,56	2,732	NS
Différences entre observations	6	258,19	43,03		
Totaux	7	375,75			

Tableau 26. Analyse de la variance sur la variable poids moyen/poireau – parcelle Petit Pont (poireaux)

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%	Significatif 1%
Différences entre fumures	1	2928,5	2928,45	6,931	S	NS
Différences entre observations	6	2535	422,52			
Totaux	7	5463,5				

On peut voir que les différences entre les rendements obtenus sur la terre et sur le parcellaire expérimental sont significatives (mention NS dans la dernière colonne avec un risque de première espèce $\alpha = 5\%$). On peut justifier ce constat par la forte variabilité observée entre les mesures de rendement.

Les poids moyens par poireau obtenus sur la terre et sur le parcellaire sont significativement différents ($\alpha = 5\%$), avec des densités moyennes de plantation identiques. Cette différence n'est plus mise en évidence avec un $\alpha = 1\%$. Les différences de poids moyen par poireau sont donc significatives mais non hautement significatives. En résumé, l'application d'un surplus de 135 UN minéral sur la parcelle par rapport au parcellaire expérimental a mis en évidence une différence significative au niveau du poids moyen par poireau mais pas au niveau du rendement.

Conclusion

Dans les conditions 2008 et sur la parcelle Petit Pont, l'application de 135 UN supplémentaires sur la parcelle prise dans sa globalité a permis d'obtenir un gain de rendement, à mettre cependant en relation avec une augmentation des APL après récolte.

4.2.4.4 Pluviométrie et percolats

Tableau 27 : Parcelle Grosse Pierre Petit Pont, observations mensuelles des volumes et concentration en nitrate.

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié
			(mg NO ₃ ⁻ /l)	(mg)	Kg N-NO ₃ ⁻ /ha
Juin 2007	99,2	0	-	-	-
Juillet	96,7	0	-	-	-
Août	56,9	0	-	-	-
Septembre	57,6	0	-	-	-
Octobre	65,2	0	-	-	-
Novembre	71,7	0	-	-	-
Décembre	89,2	0	-	-	-
Janvier 2008	70,2	0	-	-	-
Février	35,4	0	-	-	-
Mars	140,5	0	-	-	-
Avril	45,8	0	-	-	-
DRAINAGE I	828,4	0	0	0	0
Mai	53,9	0,1	-	-	-
Juin	69,9	0,1	122	3	0
Juillet	101,9	0,5	116	52	0
Août	89,3	0	-	-	-
Septembre	70,8	0	-	-	-
Octobre	72,4	0	-	-	-
DRAINAGE II	458,2	0,7	117	55	0

Les deux saisons de drainage 2005-2006 et 2006-2007 n'avaient pas permis la récolte d'eau de percolation régulière. L'hypothèse était que la topographie du champ non plane à l'emplacement du lysimètre et un tassement de sous surface (type semelle de labour) favorisaient les écoulements hypodermiques de sous surface latéraux à l'aplomb du lysimètre. Suite à ce constat, il a été décidé de casser manuellement à la bêche la semelle de labour au-dessus du lysimètre afin de favoriser l'infiltration verticale. Ces travaux ont été réalisés au mois de mars 2007. Or la saison de drainage 2007-2008 n'a toujours pas permis la récolte d'eau de percolation.

Il a dès lors été décidé d'effectuer un sous-solage mécanique à l'aplomb du système lysimétrique début mai 2008. Suite à celui-ci, de faibles volumes d'eau ont été récupérés dans le bidon de la chambre de visite en mai, juin et juillet. Les teneurs en nitrate observées étaient de l'ordre de 120 mg NO₃⁻/l, toutefois difficiles à interpréter pour de si faibles volumes. La récolte d'eau n'a plus été possible par après et le lysimètre ne débite toujours pas d'eau actuellement.

Le fonctionnement hydrologique de ce lysimètre reste donc fortement perturbé malgré les travaux menés sur celui-ci. Des investigations seront menées dans la suite de cette période de recherche afin de déterminer les causes du mauvais fonctionnement de ce lysimètre. C'est ainsi qu'au regard de la topographie de la parcelle à l'emplacement du lysimètre et de son contexte pédologique (sol sur colluvions limoneuses représentatif des sols de dépressions sèches), un profil à la tarière sera réalisé autour du lysimètre afin de vérifier l'état d'humidité du sol à cet endroit et éventuellement corriger le problème.

4.2.4.5 Actions menées sur le lysimètre de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont depuis le début du projet pour obtenir de l'eau de percolation

Le lysimètre de la parcelle Petit Pont présente un fonctionnement perturbé depuis le début du projet. Afin d'en déterminer les causes et de solutionner le problème, un certain nombre d'actions ont été menées sur celui-ci. Elles sont reprises ci-après :

Novembre 2004

- cause : interruption de la récolte d'eau de percolation en novembre 2004
- hypothèse : tassement du sol suite au passage de camions lors de la récolte de carottes
- action : mise à saturation du lysimètre par remontée capillaire. 500l d'eau claire ont été apportés par l'exutoire
- effet : percolation observée dès le mois de décembre

Mars 2007

- cause : pas de récolte d'eau de percolation au cours des hivernages 2005-2006 et 2006-2007
- hypothèse : écoulements hypodermiques de sous surfaces latéraux favorisés par la topographie du champ non plane au niveau du lysimètre combinée à un tassement de sous surface
- action : casser manuellement à la bêche la semelle de labour au-dessus du lysimètre
- effet : néant

Mai 2008

- cause : pas de récolte d'eau de percolation au cours de la saison de drainage 2007-2008
- hypothèse : écoulements hypodermiques de sous surfaces latéraux favorisés par la topographie du champ non plane au niveau du lysimètre combiné à un tassement de sous surface
- action : sous-solage mécanique à l'aplomb du lysimètre
- effet : récolte de faibles volumes d'eau à l'exutoire entre mai et juillet

Mars 2009 ?

- cause : volumes d'eau récoltés anormalement faibles depuis le début du projet
- hypothèse : contexte topographique et pédologique défavorable : sol de fond de vallée, extrêmement sec
- action : carottage autour du lysimètre

4.2.5 PL1

La parcelle est localisée sur la planchette 119E de la carte des sols de Belgique. La position exacte a été reprise au GPS au cours de cette convention en date du 18 septembre 2008.

Ce système a été le premier lysimètre installé. Les conditions étaient très humides, la fosse creusée pour l'installation coupait la nappe temporaire de surface et était inondée. Plusieurs drains, avec un bon débit, ont été sectionnés (et réparés) lors du creusement de la tranchée qui relie le lysimètre à la chambre de visite. Le fond de la chambre de visite était également inondé suite à la pression de la nappe et la porosité du béton posé dans le fond. Différents types de produits ont été utilisés pour finalement arriver à une étanchéité satisfaisante. Une ré-hausse a été ajoutée afin d'éviter les infiltrations d'eau par le couvercle.

Une culture de haricots a été implantée au cours de l'année 2007. Un froment a été semé à l'automne 2007, suivi d'une phacélie comme CIPAN à l'automne 2008. Des fèves des marais sont prévues en 2009.

La nappe ou sa frange capillaire passe au dessus du bord supérieur du lysimètre lors de la remontée de nappe en hiver, comme l'a confirmé l'installation d'un réseau de piézomètres en février 2004. Le comportement du lysimètre peut alors être considéré comme un drain. Afin de ne garder que des mesures reflétant au mieux la quantité réelle d'ions nitrate qui migre sous les 2m de profondeur, l'exutoire du lysimètre est fermé à l'aide d'une vanne dès que les piézomètres indiquent une remontée de la nappe telle que la frange capillaire est captée (cf Tableau 29).

Au cours de l'automne 2007-2008, la chambre de visite a été régulièrement inondée et il a été décidé de fermer la vanne du 5 octobre 2007 au 31 mars 2008. La saison de drainage suivante a repris en mai 2008. Sur base des indications piézométriques de remontée de nappe, l'exutoire du lysimètre a été fermé du 8 septembre 2008 jusqu'à ce jour.

4.2.5.1 Calendrier cultural

2007 Haricots

13 juin : semis des haricots
21 juillet : apport de 30 UN minéral
29 août : récolte des haricots

2008 Froment

Octobre 2007 : semis du froment
9 octobre 2007 : application de 58 UN minéral
9 avril : application de 80 UN minéral
12 mai : application de 90 UN minéral
Début août : récolte du froment
Début septembre: semis d'une phacélie

2009 : fèves des marais

4.2.5.2 Résultats APL en 2007 et 2008

Tableau 28. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL1

	Haricots			Froment + phacélies		
	23/5/2007	8/11/2007	29/11/2007	11/8/2008	29/10/2008	11/12/2008
0-30cm	96	50	11	20	8	6
30-60cm	81	11	14	8	8	5
60-90cm	26	13	6	3	7	3
total	203	74	31	31	23	14

Le profil réalisé en mai 2007 montre un reliquat azoté étonnamment élevé, principalement dans les deux premiers horizons. Le printemps particulièrement doux impliquant une minéralisation importante pourrait expliquer en partie ce reliquat élevé, tout comme l'apport de 43 UN avec l'eau d'irrigation en septembre et octobre 2006. Le haricot implanté en 2007 a utilisé une partie de cet azote. La mesure réalisée en novembre montre un profil peu riche en azote nitrique, avec une minéralisation des résidus de culture dans l'horizon de surface. Le profil en reliquats azotés réalisé fin novembre est faible et indique une utilisation de l'azote présent dans l'horizon de surface par la culture de froment installée fin octobre 2007.

La culture de froment en 2008 laisse un profil de sol pauvre en reliquats azotés. La phacélie a joué son rôle de CIPAN en prélevant l'azote restant dans le sol après récolte du froment, comme le montre la diminution de la quantité d'azote nitrique dans le profil au cours de l'automne.

4.2.5.3 Pluviométrie et percolats

Tableau 29 : Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (litres)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié
			Concentration (mg NO ₃ /l)	Quantité (mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Juin 2007	99,2	0	-	-	-
Juillet	96,7	0	-	-	-
Août	56,9	1300	-	-	-
Septembre	57,6	700	-	-	-
Octobre	65,2	fermé	-	-	-
Novembre	71,7	fermé	-	-	-
Décembre	89,2	fermé	-	-	-
Janvier 2008	70,2	fermé	-	-	-
Février	35,4	fermé	-	-	-
Mars	140,5	fermé	-	-	-
Avril	45,8	0	-	-	-
DRAINAGE I	828,4	2000	-	-	-
Mai	53,9	61,2	176,8	10819	24
Juin	69,9	199	112,1	22311	50
Juillet	101,9	48,5	111,4	5403	12
Août	89,3	465	109	50685	114
Septembre	70,8	fermé	-	-	-
Octobre	72,4	fermé	-	-	-
DRAINAGE II	458,2	773,7	115	89218	201

Au cours de la saison de drainage 2007-2008 (I), la chambre de visite du lysimètre a été retrouvée inondée à plusieurs reprises en août et septembre. Ce constat, ajouté aux mesures dans les piézomètres installés à proximité, indique que le bord supérieur du lysimètre capte la nappe ou sa frange capillaire et il a dès lors été décidé de fermer la vanne à l'exutoire du lysimètre début octobre. La vanne est restée fermée jusque fin mars 2008. Il n'a dès lors malheureusement pas été possible de mesurer les concentrations en nitrate des eaux de percolation au cours de cette saison.

Après réouverture de la vanne en mars 2008, le lysimètre a recommencé à débiter au mois de mai, entamant ainsi une nouvelle saison de drainage (II). De l'eau de percolation a régulièrement été récoltée dans la chambre de visite jusqu'au mois d'août. Au cours de ce mois, le volume d'eau capté étant largement supérieur à la pluviométrie, couplé aux mesures dans les piézomètres, indique l'entrée du lysimètre dans une dynamique de drainage associée à la percolation et la vanne à l'exutoire a été fermée début septembre 2008. Celle-ci est toujours actuellement fermée. Les teneurs en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre durant les mois de mai à août sont élevées (moyenne = 115 mg NO₃/l). Cependant, un fléchissement dans ces teneurs s'observe en fin de saison.

4.2.6 **PL3**

La parcelle est localisée sur la planchette 119E de la carte des sols de Belgique. La position exacte est prise au GPS.

Le lysimètre est de type non remanié, installé en date du 8 août 2003. Une culture de froment a été mise en place au cours de l'année 2007. Après récolte du froment, une phacélie a été installée. En 2008, une culture de betteraves a été installée fin avril. Celle-ci est restée en place jusque fin septembre. Un froment a été semé en octobre 2008.

Comme pour le lysimètre installé sur la parcelle PL1, le bord supérieur de ce lysimètre capte la nappe ou sa frange capillaire lors de la remontée de nappe en hiver, comme l'a confirmé l'installation d'un réseau de piézomètres en février 2004. Afin de ne garder que des mesures reflétant au mieux la quantité réelle d'ions nitrate qui migrent sous les 2m de profondeur, l'exutoire du lysimètre est fermé à l'aide d'une vanne dès que les piézomètres indiquent une remontée de la nappe telle que la frange capillaire est captée (Tableau 36).

La récolte d'eau de percolation a eu lieu au cours des mois d'octobre, novembre et décembre 2007. Malgré le fait que les volumes récoltés étaient supérieurs à la pluviométrie, signe de l'interception de la frange capillaire de la nappe, l'exutoire du lysimètre est resté ouvert au cours de ces mois afin de pouvoir mesurer les concentrations en nitrates charriées avec l'eau de nappe et sa frange. Ce lysimètre a malgré tout été fermé dans le courant du mois de janvier, vu les volumes d'eau importants inondant la chambre de visite. Après réouverture du lysimètre, la récolte d'eau dans les bidons de la chambre de visite a repris en mai 2008. Elle s'est poursuivie régulièrement pour se tarir lentement au mois de septembre.

4.2.6.1 Calendrier cultural

2007 Froment

14 octobre 2006 : semis du froment
 12 mars : apport de 39 UN minéral
 19 avril : apport de 54 UN minéral
 9 mai : apport de 85 UN minéral
 15 août : récolte du froment
 20 août : apport de 200 UN organique (fumier de bovin + déchets de laine)
 27 août : apport de 20 UN minéral
 début septembre : semis d'une phacélie

2008 Betterave

23 avril : semis des betteraves
 apports azotés : 10 avril : 120 UN minéral sur la terre
 9 mai : 72 UN minéral sur 4 sous-parcelles de l'essai
 0 UN sur 5 sous-parcelles de l'essai
 22 septembre : récolte des betteraves

2009 Froment

4.2.6.2 Résultats APL en 2007 et sur les essais 2008

Les APL mesurés en novembre 2007 sont présentés dans le Tableau 30. En 2008, un profil de reliquats azotés a été réalisé en mai en vue du conseil de fumure. Un profil azoté a également été réalisé en novembre afin de mesurer l'APL dans les différentes sous-parcelles de l'essai. Ces résultats sont repris dans le Tableau 31.

Tableau 30. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL3 -2007

	Froment + phacélies	
	8/11/2007	29/11/2007
0-30cm	30	31
30-60cm	15	12
60-90cm	24	11
total	69	54

Tableau 31. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL3 -2008

	Betteraves					
	7/2/2008	6/5/2008		9/11/2008		29/10/2008
	parcelle (120 UN)	0 UN à appliquer	72 UN à appliquer	0 UN appliqués	72 UN appliqués	Parcelle (120 UN)
0-30cm	30	58	56	17	17	27
30-60cm	20	45	43	5	5	9
60-90cm	12	26	24	2	2	7
total	62	129	123	24	24	43

En 2007, le profil réalisé début novembre montre des quantités d'azote nitrique relativement importantes compte tenu de la présence d'une CIPAN. Ceci est à mettre en relation avec un apport de 200 UN organique sous forme de fumier et de déchets de laine fin août, après froment, ainsi que de 20 UN minéral comme engrais starter pour la phacélie. De plus, 11 UN ont été apportées avec l'eau d'irrigation fin octobre 2007. Il est probable que la phacélie ait déjà récupéré une partie de cet azote durant le mois d'octobre. L'évolution du profil au cours du mois de novembre indique une diminution de la quantité d'azote nitrique dans la couche 60-90 cm, à mettre en relation avec une migration vers les couches plus profondes, cet azote n'étant plus récupérable par la CIPAN.

Les profils azotés réalisés en mai 2008 sur les sous-parcelles de l'essai sont assez chargés, particulièrement dans la couche de surface. On peut y voir là un effet d'une minéralisation importante suite à l'application de matière organique à l'automne précédent. Une augmentation de la quantité d'azote nitrique dans le profil s'observe entre février et mai, justifiant ainsi la date du prélèvement (6 mai) en vue d'un conseil tenant mieux compte des quantités d'azote réellement disponibles pour la culture. Les profils du 9 novembre sont peu chargés en azote nitrique, surtout dans les horizons intermédiaires et profonds, soulignant là une bonne utilisation de l'azote par les betteraves au cours de leur cycle de culture. Le profil réalisé après récolte des betteraves dans la parcelle présente une vingtaine d'unités d'azote de plus que ceux réalisés sur le parcellaire expérimental.

Tests statistiques sur l'essai PL3

Le test de Grubbs a été mené sur les résultats APL de l'essai mené sur la parcelle PL3, qui n'a pas permis de déceler de valeurs aberrantes dans les différentes répétitions de l'essai.

Les quantités d'azote nitrique présentes dans les différents horizons du profil étant similaires pour les deux objets testés (24 kg N-NO₃⁻/ha), il est évident qu'aucune différence significative ne pourrait être mise en évidence entre les deux valeurs d'APL obtenues sur l'essai. Ceci est confirmé dans le Tableau 32 (mention NS de la dernière colonne).

Tableau 32. Analyse de la variance sur la variable APL de l'essai PL3

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	0,125	0,125	0,004	NS
Différences entre observations	6	167,75	27,958		
Totaux	7	167,875			

4.2.6.3 Rendements obtenus sur les essais 2008

Les rendements totaux ainsi que les rendements sucre ont été mesurés individuellement sur les différentes sous-parcelles de l'essai. Les moyennes de ces rendements sont présentés pour les deux objets testés dans le Tableau 33.

Tableau 33. Rendement total et rendement sucre obtenus sur PL3 - betteraves

Fumure appliquée (kg N/ha)	Betteraves	
	Rendement (T/ha)	Rendement sucre (T/ha)
0	90,00	15,25
72	87,22	15,29
120 (parcelle)	73,8	12,82

Le rendement moyen obtenu en betteraves sur les sous-parcelles n'ayant pas reçu de fertilisation azotée est légèrement supérieur à celui obtenu sur les sous-parcelles ayant reçu une fertilisation raisonnée. En revanche, la richesse en sucre étant quelque peu supérieure sur les sous-parcelles « 72 UN », le rendement sucre obtenu sur ces sous-parcelles est légèrement supérieur au rendement sucre obtenu sur les sous-parcelles « 0 UN ». Afin de vérifier si ces différences sont statistiquement significatives, une analyse de la variance sur ces deux variables a été réalisée. Celle-ci se trouve dans les Tableau 34 et Tableau 35.

Tableau 34. Analyse de la variance sur la variable rendement total de l'essai PL3 - betteraves

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	15,48	15,48	0,509	NS
Différences entre observations	6	182,43	30,41		
Totaux	7	197,92			

Tableau 35. Analyse de la variance sur la variable rendement sucre de l'essai PL3 - betteraves

Sources de variation	DDL	SCE	Carrés moyens	Fobs	Significatif 5%
Différences entre fumures	1	15,48	15,48	0,509	NS
Différences entre observations	6	182,43	30,41		
Totaux	7	197,92			

Il ressort de ces deux tableaux que l'application de 72 UN minéral sur quatre sous-parcelles de l'essai n'a entraîné ni gain ni perte significatif de rendement ou rendement sucre par rapport aux quatre sous-parcelles n'ayant pas reçu de fertilisation azotée.

Conclusion

Dans les conditions 2008 et sur la parcelle PL3, le conseil de fumure de 72 UN rédigé sur le parcellaire expérimental n'a pas permis d'obtenir de différence de rendement ni d'APL. De plus, le conseil de fumure de 120 UN rédigé en février sur la parcelle a entraîné un rendement brut et un rendement sucre inférieurs à ceux observés sur le parcellaire expérimental, avec un reliquat azoté supérieur. Ce conseil ne s'est donc pas révélé optimum à posteriori.

4.2.6.4 Pluviométrie et percolats

Tableau 36 : Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié
			Concentration (mg NO ₃ ⁻ /l)	Quantité (mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Juin 2007	99,2	0,3	191	57	0
Juillet	96,7	0	-	-	-
Août	56,9	0	-	-	-
Septembre	57,6	0	-	-	-
Octobre	65,2	98,5	55	5392	12
Novembre	71,7	145,5	88	12865	29
Décembre	89,2	125	92	11500	26
Janvier 2008	70,2	fermé	-	-	-
Février	35,4	fermé	-	-	-
Mars	140,5	fermé	-	-	-
Avril	45,8	fermé	-	-	-
DRAINAGE I	828,4	369,3	81	29814	67
Mai	53,9	88,8	59	1918	4
Juin	69,9	272,7	102	24613	56
Juillet	101,9	27,1	100	2710	6
Août	89,3	2,1	108	227	0,5
Septembre	70,8	0,6	41	25	0
Octobre	72,4	0	-	-	-
DRAINAGE II	458,2	391	97	29492	66,5

La première saison de drainage (I) reprend au mois d'octobre 2007. La percolation se poursuit au cours des mois de novembre et de décembre. Cependant, les volumes récoltés étant plus importants que la pluviométrie, il a été décidé de fermer la vanne située à l'exutoire du lysimètre au début du mois de janvier 2008. Le bord supérieur du lysimètre captait en effet la nappe ou sa frange capillaire à ce moment-là, comme l'a confirmé l'observation du niveau de la nappe dans les piézomètres. La teneur moyenne en nitrate dans l'eau récoltée durant cette période s'élève à 81 mg NO₃⁻/l et est donc déjà supérieure aux 50 mg NO₃⁻/l.

Après réouverture de la vanne située à l'exutoire du lysimètre, la deuxième saison de drainage a repris dans le courant du mois de mai 2008. Au cours des mois de mai et de juin, les volumes d'eau récoltés dans les bidons de la chambre de visite dépassaient la pluviométrie, avec débordement fréquent de ces bidons, signes de l'interception de la nappe. Il a cependant été décidé de maintenir les lysimètres ouverts au cours de ces mois afin de pouvoir mesurer les teneurs en nitrate entraînées avec l'eau de la nappe et sa frange capillaire. Par la suite, le lysimètre a donné régulièrement de l'eau à son exutoire, pour se tarir en septembre. La concentration moyenne en nitrate dans l'eau de percolation au cours de cette saison s'élève à 97 mg NO₃⁻/l. On observe donc une augmentation de la teneur en nitrate dans l'eau de percolation par rapport à la période précédente.

La mauvaise qualité de l'eau observée en 2007 et 2008 est sans doute en partie due au reliquat azoté élevé observé en octobre 2006 après récolte des haricots (183 kg N-NO₃⁻/ha). Le froment

semé après le haricot n'a pas permis de réduire complètement l'impact de la culture de haricot malgré son enracinement profond. Par ailleurs, l'impact de l'apport de 200 UN organique sur la parcelle à l'automne 2007 se marque déjà dans la qualité de l'eau en 2008.

4.2.7 Lysimètres de Gembloux

Parallèlement aux parcelles suivies *in situ* dans la région de Waremme, deux lysimètres en sols remaniés à l'origine ont été suivis à Gembloux. Ces lysimètres en système fermés ont été installés depuis 25 ans sur le site de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Ces lysimètres ont une superficie de 2m² et présentent une profondeur de 2m.

En 2006, une succession épinards – haricots avait été installée sur ces deux lysimètres. En 2007, une culture de froment d'hiver y a été mise en place suivie en 2008 de maïs. Une culture de betteraves est prévue en 2009.

Ces lysimètres ont fait l'objet d'un suivi à l'azote marqué ¹⁵N dans le cadre d'une convention annexe avec le CRAw (convention 2798/1). Dans cette optique, 200 kg ¹⁵N/ha ont été appliquées avant la succession épinards/haricots le 3 mai 2006 afin d'en préciser le devenir au cours de la succession. Les enseignements et conclusions quant à ce suivi de l'azote isotopique se trouvent dans le rapport final de cette convention.

Le suivi de la percolation dans ces lysimètres est assuré depuis novembre 2006. La première saison de percolation s'est étalée jusque début avril 2007 pour les deux lysimètres. Le premier lysimètre a recommencé à débiter de l'eau début août 2007 tandis que la deuxième saison de drainage a repris début novembre sur le deuxième lysimètre. Cette deuxième période de drainage s'est poursuivie jusque août 2008, les deux lysimètres se tarissant à la fin de ce mois.

4.2.7.1 *Calendrier cultural*

2006 Epinards – haricots

3 mai 2006 : application de 200 U¹⁵N

2007 Froment d'hiver

2008 Maïs

6 mai 2008 : semis du maïs, application de 130 UN minéral

10 octobre 2008 : récolte du maïs

2009 Betteraves

4.2.7.2 *Profil de concentration en azote nitrrique*

Afin de déterminer d'éventuelles différences entre les deux lysimètres, un profil azoté a été réalisé le 15 janvier 2009 après culture de maïs sur ceux-ci (Tableau 37).

Tableau 37. Reliquats azotés dans les deux lysimètres de Gembloux – 15 janvier 2009

	15/1/2009	
	lysimètre 1	lysimètre 2
0-30cm	5	6
30-60cm	5	6
60-90cm	5	7
total	15	19

On peut voir dans ce tableau que les profils après maïs sont lessivés dans les deux lysimètres. Une migration hivernale de l'azote nitrique présent dans le sol à la récolte du maïs vers les horizons profonds s'est produite et l'on peut s'attendre à retrouver prochainement cet azote dans les eaux de percolation. Par ailleurs, on n'observe pas de différence dans les quantités d'azote nitrique mesurées dans les deux lysimètres.

4.2.7.3 Pluviométrie et percolats

Tableau 38 : Lysimètre 1, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate lixiviés		Azote nitrique lixivié
			Concentration (mg NO ₃ -/l)	Quantité (mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Novembre 2006	6	74,6	4	274	0,3
Décembre	75	54,2	6	309	0,3
Janvier 2007	80	97,5	6	579	0,7
Février	96	42,1	4	171	0,2
Mars	120	131,2	9	1162	1,3
Avril	0	10,2	7	71	0,1
Mai	90	0	-	-	-
Juin	8	0	-	-	-
Juillet	16	0	-	-	-
DRAINAGE I	491	409,8	6	2565	2,9
Août	80	72,9	37	2719	3,1
Septembre	20	29,1	42	1219	1,4
Octobre	44	10,5	69	725	0,8
Novembre	48	24	90	2160	2,4
Décembre	30	50	108	5375	6,1
Janvier 2008	100	114,7	126	14457	16,3
Février	68	94,8	111	10545	11,9
Mars	200	208,5	118	24603	27,8
Avril	32	36,6	110	4016	4,5
Mai	22	5,1	106	539	0,6
Juin	152	8,9	125	1109	1,3
Juillet	106	6,9	83	571	0,6
Août	89	0,2	120	18	0
Septembre	71	0	-	-	-
Octobre	72	0	-	-	-
DRAINAGE II	1134	659,8	103	68055	76,8

La pluviométrie mensuelle prise en compte est celle donnée par des pluviomètres installés à proximité des lysimètres.

La première saison de drainage sur ce lysimètre a permis de récolter 80% de la pluviométrie. Elle s'est étalée des mois de novembre 2006 à avril 2007. Ce lysimètre s'est tari au cours d'un mois d'avril sans précipitations. La teneur en nitrate dans les eaux de percolation au cours de cette saison de drainage est faible et de l'ordre de 6 mg NO₃⁻/l en moyenne. Ce lysimètre était en friche avant la rotation épinard/haricot de 2006 et colonisé par des espèces ligneuses. La

faible concentration en nitrate de l'eau de percolation résulterait dès lors d'un important processus d'immobilisation microbienne de l'azote dans ce lysimètre suite à l'incorporation des résidus de ces espèces ligneuses.

La deuxième saison de drainage reprend en août 2007. Les concentrations en nitrate observées augmentent rapidement au cours des mois qui suivent et se stabilisent aux environs des 100/120 mg NO_3^-/l . On peut donc supposer que l'azote immobilisé au cours des mois précédents est maintenant disponible et n'a pu être prélevé en raison de l'absence CIPAN après froment en 2007 ; il est donc relargué dans les eaux de percolation. Au cours de cette saison de drainage, 60% des précipitations se retrouvent à l'exutoire du lysimètre. Au total, 77 kg $\text{N-NO}_3^-/\text{ha}$ ont été lixiviés à deux mètres de profondeur au cours de cette saison de drainage contre 3 kg $\text{N-NO}_3^-/\text{ha}$ durant la première.

Tableau 39. Lysimètre 2, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			Concentration (mg NO ₃ -/l)	Quantité (mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Novembre 2006	6	61,6	231	14205	16
Décembre	75	89,6	384	34446	38,9
Janvier 2007	80	175,4	446	78153	88,2
Février	96	82,2	463	38025	42,9
Mars	120	159,3	454	72372	81,7
Avril	0	13,6	348	5567	6,3
Mai	90	0	-	-	-
Juin	8	0	-	-	-
Juillet	16	0	-	-	-
Août	80	0	-	-	-
Septembre	20	0	-	-	-
Octobre	44	0	-	-	-
DRAINAGE I	635	581,6	417	242767	274,1
Novembre	48	22,2	355	7892	8,9
Décembre	30	50	251	12525	14,1
Janvier 2008	100	118,1	259	30637	34,6
Février	68	97,5	229	22365	25,3
Mars	200	211,1	220	46508	52,5
Avril	32	83,2	198	16441	18,6
Mai	22	23	184	4230	4,8
Juin	152	58,3	209	12203	13,8
Juillet	106	22,2	184	4092	4,6
Août	89	0,025	200	5	0
Septembre	71	0	-	-	-
Octobre	72	0	-	-	-
DRAINAGE II	990	682,2	230	156899	177,1

La première saison de drainage s'étale de novembre 2006 à avril 2007. Au cours de cette saison de drainage, 90% des précipitations sont récupérées à l'exutoire du lysimètre. La deuxième saison de drainage s'initie dans le courant du mois de novembre 2007 et se poursuit jusque août 2008 au cours duquel le lysimètre se tarit. 70% des précipitations sont récupérées durant cette seconde période.

Ce second lysimètre présente des teneurs en nitrate totalement différentes du premier. En effet, si les eaux récoltées dans le premier lysimètre étaient très peu chargées en nitrate au cours de la première période, les eaux récoltées dans le second sont extrêmement chargées avec une teneur moyenne de 417 mg NO₃⁻/l et un pic à 463 mg NO₃⁻/l au mois de février. Cette teneur diminue régulièrement au cours de la seconde période de drainage, pour se fixer aux environs de 200 mg NO₃⁻/l en fin de période. Au total, 274 kg N-NO₃⁻/ha ont été lixiviés durant la première saison de drainage contre 177 kg N-NO₃⁻/ha au cours de la seconde. Ces valeurs sont sensiblement plus élevées pour ce lysimètre que pour le premier.

Avant les cultures installées en 2006, ce lysimètre avait été laissé en friche pendant plusieurs années. Le travail du sol pour implanter ces cultures a dès lors induit un pic de minéralisation

dans le lysimètre, avec pour conséquence des teneurs en nitrate très élevées dans les eaux de percolation la première année. Cette tendance extrême semble se résorber au cours de la seconde année, mais avec des valeurs de concentrations malgré tout toujours très importantes, de l'ordre de 200 mg NO₃⁻/l.

En conclusion, les observations réalisées au cours des deux années 2007 et 2008 doivent être interprétées avec précaution. Etant donné que ces lysimètres sont restés plus de 15 ans en friche, la remise en culture effectuée en 2006 peut être assimilée au labour d'une prairie "extensive". Dès lors, la piètre qualité de l'eau est partiellement causée par la pratique. Il faudra donc attendre avant que ce lysimètre soit le reflet des conditions de plein champ comme attendu.

5 Synthèse et discussion

5.1 Graphiques de synthèse par parcelle

Les pages suivantes présentent un graphique de synthèse par parcelle. Les graphiques reprennent, du mois de septembre 2006 à novembre 2008, les volumes d'eau percolée et récoltée (données cumulées) dans les lysimètres en parallèle avec le drainage potentiel cumulé (= pluie – évapotranspiration potentielle); les teneurs en nitrate mesurées dans cette eau de percolation ainsi que les mesures de reliquats azoté dans le sol en post-récolte. Les saisons culturales et les apports azotés sont repris sous le graphique. Les valeurs APL mesurées dans les parcelles suivies sont également données. On peut noter que, dans ces graphiques, les apports azotés et les reliquats azotés dans le sol au cours de l'année 2008 représentent les mesures effectuées à l'aplomb du lysimètre.

Le Graphique 1 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Sole 4. Les reliquats azotés après froment en 2007 sont élevés suite au travail du sol en surface favorisant la minéralisation de l'humus. L'absence de CIPAN en automne ne permet pas de récupérer ces reliquats élevés. L'évolution du profil en automne montre une migration de l'azote nitrique vers les horizons profonds, où il ne sera plus disponible pour la culture suivante. Les teneurs en nitrate mesurées dans l'eau de percolation dès janvier 2008 sont élevées et continuent d'augmenter au cours de la saison de drainage, confirmant ainsi la tendance observée au cours de l'hiver précédent. Ces concentrations sont du même ordre de grandeur que les APL d'automne 2007. La valeur repère de 50 mg NO₃⁻/l est allègrement dépassée. On peut donc dire que la culture de céréales menée en 2007 et non suivie d'une CIPAN n'a pas permis d'atteindre une teneur en nitrate dans l'eau de percolation récoltée l'année suivante (165 mg NO₃⁻/l en moyenne) respectueuse de l'environnement. La culture de carottes implantée en 2008 a permis de récupérer le reliquat azoté important présent dans le sol en début de culture. Le reliquat post-récolte est faible et permet d'espérer une baisse de la teneur en nitrate dans les eaux de percolation au cours de la saison à venir. D'un point de vue statistique, l'essai mené sur cette parcelle en 2008 a permis de mettre en relation les APL et les rendements obtenus suite à l'application de 20 UN minéral par rapport à un apport azoté nul. Les APL, les rendements et les poids moyens par carotte obtenus pour ces deux objets sont très proches et ne peuvent pas être considérés comme statistiquement différents. Il faut cependant remarquer que le profil réalisé en début de culture était chargé en azote nitrique dans les horizons de surface, permettant ainsi un bon développement des carottes, même en l'absence d'apport azoté.

Le Graphique 2 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Chemin de Fer. Il met en évidence l'impact d'une erreur de fertilisation survenue à l'automne 2006 sur les concentrations en nitrate dans l'eau de percolation récoltée au cours de l'année 2008. En effet, 640 UN organique avaient été apportées à cette époque sous forme de compost trop riche en azote. Les APL de l'automne 2006, ont été extrêmement élevés (entre 200 et 250 kg N-NO₃⁻/ha). La culture de carottes suivie de moutarde en 2007 n'a pas permis de récupérer cette importante quantité d'azote nitrique présente dans le sol. Ce surplus d'azote s'est retrouvé dans les eaux de percolation récoltées à 2m de profondeur dès janvier 2008. La teneur en nitrate dans les eaux récoltées en 2008 est supérieure à 300 mg NO₃⁻/l et a continué à s'amplifier au cours de la saison de drainage. L'azote nitrique appliqué à l'automne 2006 a donc mis 15 mois pour atteindre les 2m de profondeur du fond du lysimètre et se retrouver

dans les eaux de percolation à son exutoire. Le lysimètre a arrêté de débiter de l'eau en juin 2008. L'APL mesuré après la succession fèves des marais / choux frisés est faible et indique une bonne gestion de l'azote au cours de cette succession. Les choux frisés ont pu valoriser l'importante quantité d'azote nitrique présente dans la couche de surface suite à la minéralisation des résidus de récolte des fèves des marais. D'un point de vue statistique, les scénarios testés en 2008 étaient une fertilisation raisonnée (72 UN sur fèves des marais et 80 UN sur choux frisés) et une fertilisation 0 UN. Les APL mesurés après les deux cultures ne sont pas considérés comme différents. Les rendements obtenus en fèves des marais ne sont pas non plus significativement différents. En revanche, l'application de 80 UN en choux frisés en deuxième culture a permis d'obtenir des rendements et des poids moyens par chou significativement plus élevés sur ces sous-parcelles que sur les sous-parcelles « 0 UN ». L'effet de l'absence d'apport azoté dans une double culture légumière se marque donc dans les rendements de la deuxième culture.

Le Graphique 3 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Bovenistier. Ce graphique souligne l'intérêt d'une succession betteraves – céréale – CIPAN pour obtenir des eaux de percolation présentant des concentrations inférieures aux 50 mg NO_3^-/l . La première saison de drainage s'est initiée en juin 2007 mais n'a véritablement débuté qu'en novembre. Les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation récoltée à l'été 2007 sont élevées (~100 mg NO_3^-/l) et du même ordre de grandeur que les APL 2006 après pommes de terre (~100 kg N- NO_3^-/ha). Le lysimètre récupère l'azote nitrique qui a migré sous le profil 0-90cm au cours de l'hiver 2006. Les betteraves implantées en 2007 ont bien utilisé l'azote nitrique présent dans le profil en début de culture et laissent un APL de fin novembre faiblement chargé (23 kg N- NO_3^-/ha). Les concentrations en nitrate dans les eaux récoltées à l'exutoire du lysimètre en 2008 sont du même ordre de grandeur que cette mesure APL (30 mg NO_3^-/l) et se situent sous les 50 mg NO_3^-/l . Les APL après froment sont acceptables (40 kg N- NO_3^-/ha) et la moutarde implantée après froment joue son rôle de CIPAN en prélevant une partie de l'azote nitrique présent dans le profil et en empêchant ainsi sa migration vers les couches profondes. Etant donné cette succession culturale respectueuse de l'environnement ainsi que des apports azotés raisonnés au cours de cette succession, on peut logiquement s'attendre à récolter des eaux de percolation avec des concentrations inférieures aux 50 mg NO_3^-/l en 2009.

Le Graphique 4 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Petit Pont. On voit immédiatement, au regard de ce graphique, que le fonctionnement de ce lysimètre est perturbé. Diverses actions (mise à saturation, destruction manuelle à la bêche d'une semelle de labour, sous-solage) ont déjà été menées sur ce lysimètre afin d'obtenir une récolte régulière d'eau de percolation, sans résultat probant. Un sondage sera effectué prochainement autour du lysimètre. Le sous-solage effectué en 2008 a malgré tout permis d'obtenir un peu d'eau de percolation, en quantité trop faible cependant que pour permettre une interprétation valide. On voit que les poireaux ont pu utiliser une partie de l'importante quantité d'azote présente dans le profil en début de culture (188 kg N- NO_3^-/ha en août) mais laissent malgré tout un profil assez chargé en azote en post-récolte (100 kg N- NO_3^-/ha). Les poireaux présents sur la terre ont reçu un apport azoté supérieur de 135 UN par rapport aux poireaux situés dans les sous-parcelles de l'essai. L'APL mesuré sur la terre début novembre 2008 présente une quarantaine de kg N- NO_3^- de plus (140 kg N- NO_3^-/ha) que la moyenne des APL mesurés à l'aplomb du lysimètre, sans toutefois que cette différence ne soit considérée comme significativement différente. La différence entre les rendements obtenus sur la terre et dans le

parcellaire de l'essai (7,7 t/ha) n'est pas non plus considérée comme significative. Par contre, la différence de poids moyens par poireau entre la parcelle et l'essai est significative mais non hautement significative.

Le Graphique 5 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle PL3. La première saison de drainage s'est étalée d'octobre à décembre 2007. Par la suite, étant donné que le bord supérieur du lysimètre captait la nappe ou sa frange capillaire, il a été décidé de fermer la vanne à l'exutoire de celui-ci. Les eaux captées à cette période présentent des concentrations en nitrate élevées (80 mg NO₃⁻/l) et supérieures à la norme de potabilité. Une diminution par rapport aux teneurs de l'eau captée en cours d'hiver et de printemps 2007 est quand même observée. La phacélie implantée après froment en 2007 permet de récupérer une partie de l'azote nitrique présent dans le sol à la récolte (70 kg N-NO₃⁻/ha). Le profil réalisé en avril 2008 avant betteraves est chargé en azote nitrique (~125 kg N-NO₃⁻/ha), conséquence d'une reprise de minéralisation hâtive en raison d'un mois d'avril particulièrement chaud et de l'apport de 200 UN organique à l'automne 2007. La betterave, culture propre, a utilisé cet azote au cours de son cycle de culture, comme le prouve le reliquat azoté post-récolte faible (24 kg N-NO₃⁻/ha). Les teneurs en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre en 2008 dépassent le seuil de potabilité et sont de l'ordre de 100 mg NO₃⁻/l, confirmant ainsi le profil réalisé fin avril. On peut donc dire que la rotation céréale – CIPAN – betteraves avec introduction de matière organique après céréale n'a pas permis de récupérer des teneurs en nitrate dans les eaux de percolation inférieures à 50 mg NO₃⁻/l au cours de la deuxième année de la succession. Cependant, étant donné la bonne utilisation de l'azote du sol par la betterave en 2008, on peut s'attendre à une diminution de la concentration en nitrate dans l'eau récoltée dans ce lysimètre en 2009. Au niveau des essais menés en betteraves sur cette parcelle en 2008, quatre sous-parcelles ont reçu une fertilisation raisonnée de 72 UN minéral en début de culture. On n'y observe cependant pas de différence significative d'APL ou de rendement par rapport aux sous-parcelles n'ayant pas reçu d'apport azoté. Il faut cependant remarquer que le développement des betteraves sur les sous-parcelles sans apport azoté a été favorisé par un reliquat important dans les horizons de surface au printemps. L'apport de 120 UN sur la parcelle (suivant le conseil de fumure) a provoqué une perte de rendement brut et de rendement sucre, ainsi qu'une augmentation des reliquats azotés post-récolte par rapport aux sous-parcelles de l'essai. Une réflexion quant à la procédure d'établissement des conseils de fumure sera donc menée au cours de la suite de ce projet.

Le Graphique 6 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle PL1. Au cours de la première saison de drainage, la chambre de visite de ce lysimètre a régulièrement été inondée durant les mois d'août et septembre. Ce constat associé aux mesures dans les piézomètres indique une interception de la nappe. Il a dès lors été décidé de fermer la vanne à l'exutoire du lysimètre début octobre. La vanne est restée fermée jusque fin mars 2008. Il n'a dès lors pas été possible de mesurer les concentrations en nitrate des eaux de percolation au cours de cette saison. La culture de haricots implantée en 2007 a permis de récupérer le profil azoté particulièrement élevé en mai, à moins qu'une migration vers les horizons profonds ait eu lieu. Les APL d'automne 2007 montrent un prélèvement par le froment d'hiver de l'azote nitrique présent dans la couche de surface suite à la restitution au sol des résidus de récolte des haricots et à l'application de 58 UN minéral en début de culture. Le début de la seconde saison de percolation présente des teneurs en nitrate élevées des eaux de drainage, avec une diminution et une stabilisation de ces teneurs par la suite dans des gammes de 110 mg NO₃⁻/l. La culture de froment en 2008 suivie d'une CIPAN permet d'obtenir des APL faibles et tout à

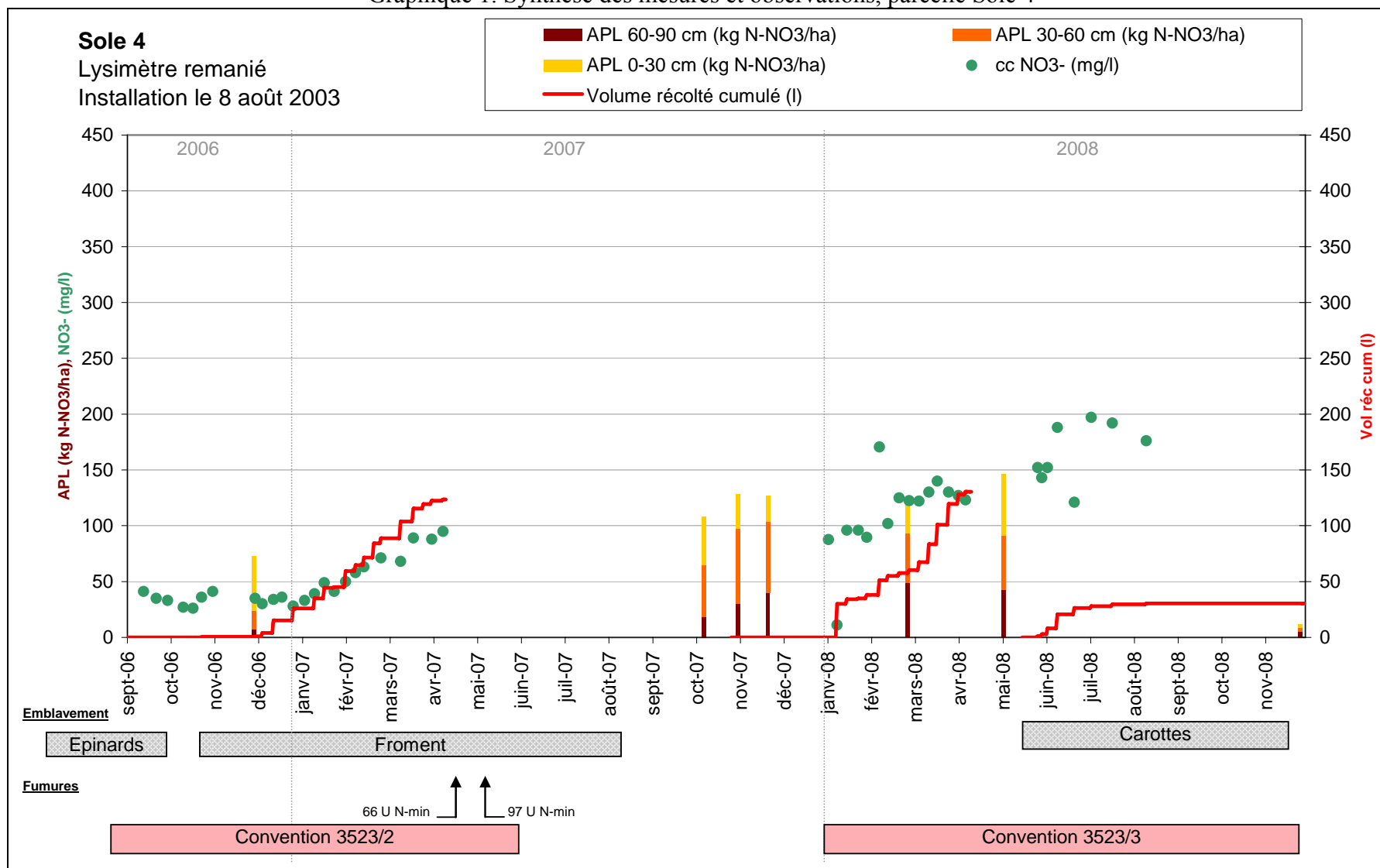
fait acceptables (14 kg N-NO₃⁻/ha le 11 décembre). Compte tenu de la diminution de la concentration en nitrate dans l'eau de percolation au cours de cette année et du profil en reliquats azotés resté faible durant l'automne, on peut raisonnablement espérer une diminution des teneurs en NO₃⁻ dans les eaux récoltées dans ce lysimètre en 2009.

Enfin, le Graphique 7 présente une synthèse des mesures et observations pour les lysimètres de Gembloux. Ce graphique illustre bien la différence de comportement entre les deux lysimètres. La première saison de drainage s'est déroulée de novembre 2006 à mars 2007, avec des volumes récoltés dans le lysimètre 1 plus faibles que dans le lysimètre 2.

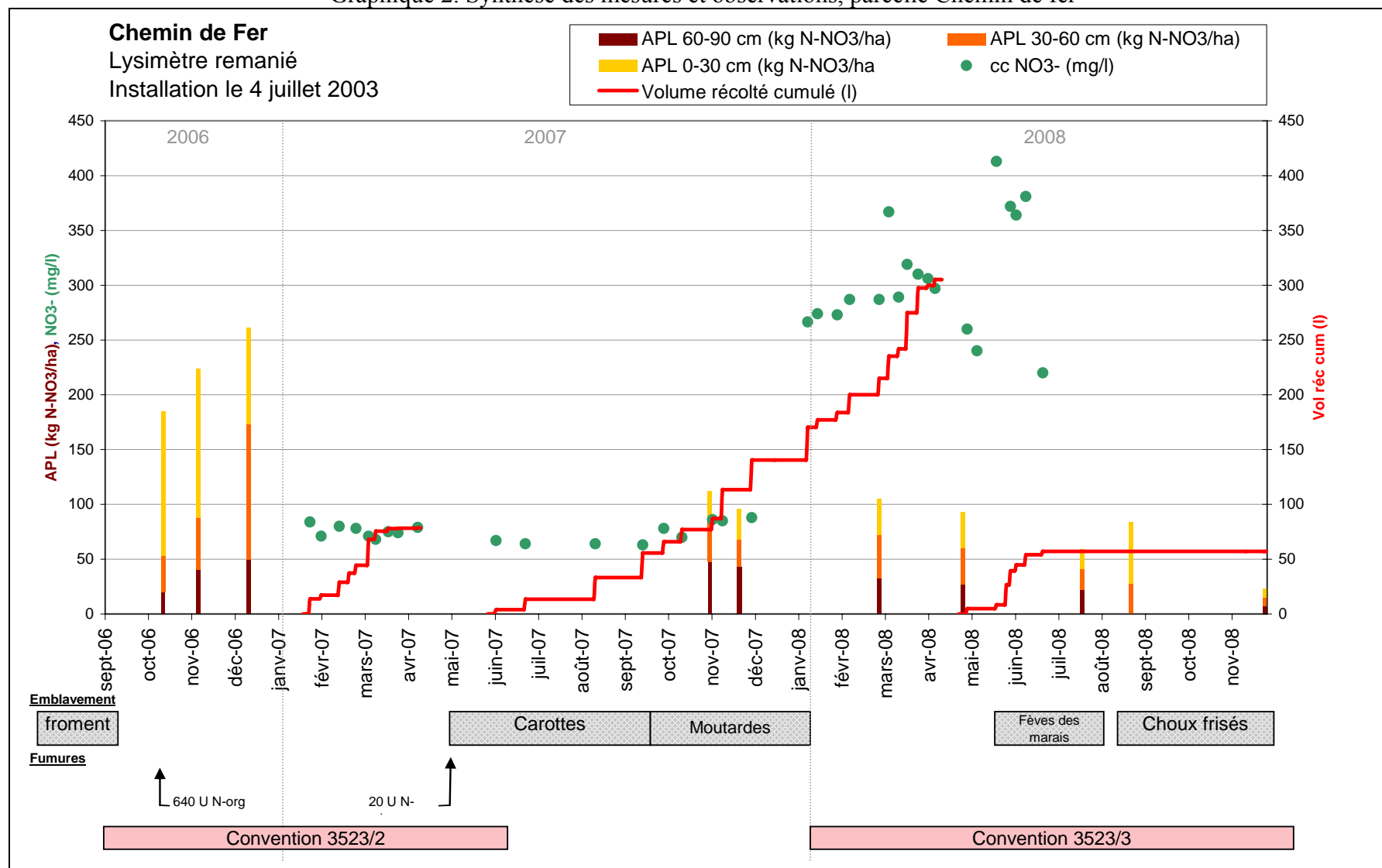
Les teneurs en nitrate observées dans le lysimètre 1 sont extrêmement faibles (~5 mg NO₃⁻/l) tandis que celles observées dans le lysimètre 2 sont extrêmement élevées (~420 mg NO₃⁻/l). L'explication se situerait dans le travail du sol dans ces lysimètres laissés en friche pendant plusieurs années auparavant. Si un important pic de minéralisation est observé dans le lysimètre 2, celui-ci ne l'est pas dans le lysimètre 1 suite au développement d'espèces ligneuses induisant un processus d'immobilisation microbienne. La deuxième saison de drainage a repris plus tôt sur le lysimètre 1 que sur le lysimètre 2. Au cours de cette saison de drainage, la teneur en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre 2 diminue régulièrement (~230 mg NO₃⁻/l), tout en restant au dessus des valeurs observées dans le lysimètre 1 (~100 mg NO₃⁻/l). Cette diminution peut être mise en relation avec une baisse de l'intensité du pic de minéralisation observé au cours de la première année. En revanche, les teneurs en nitrate dans les eaux du lysimètre 1 augmentent au cours de cette saison, signe d'une restitution de l'azote immobilisé au cours de l'année précédente.

Des profils azotés réalisés dans ces deux lysimètres début janvier 2009 ne montrent pas de différence de reliquat entre ceux-ci.

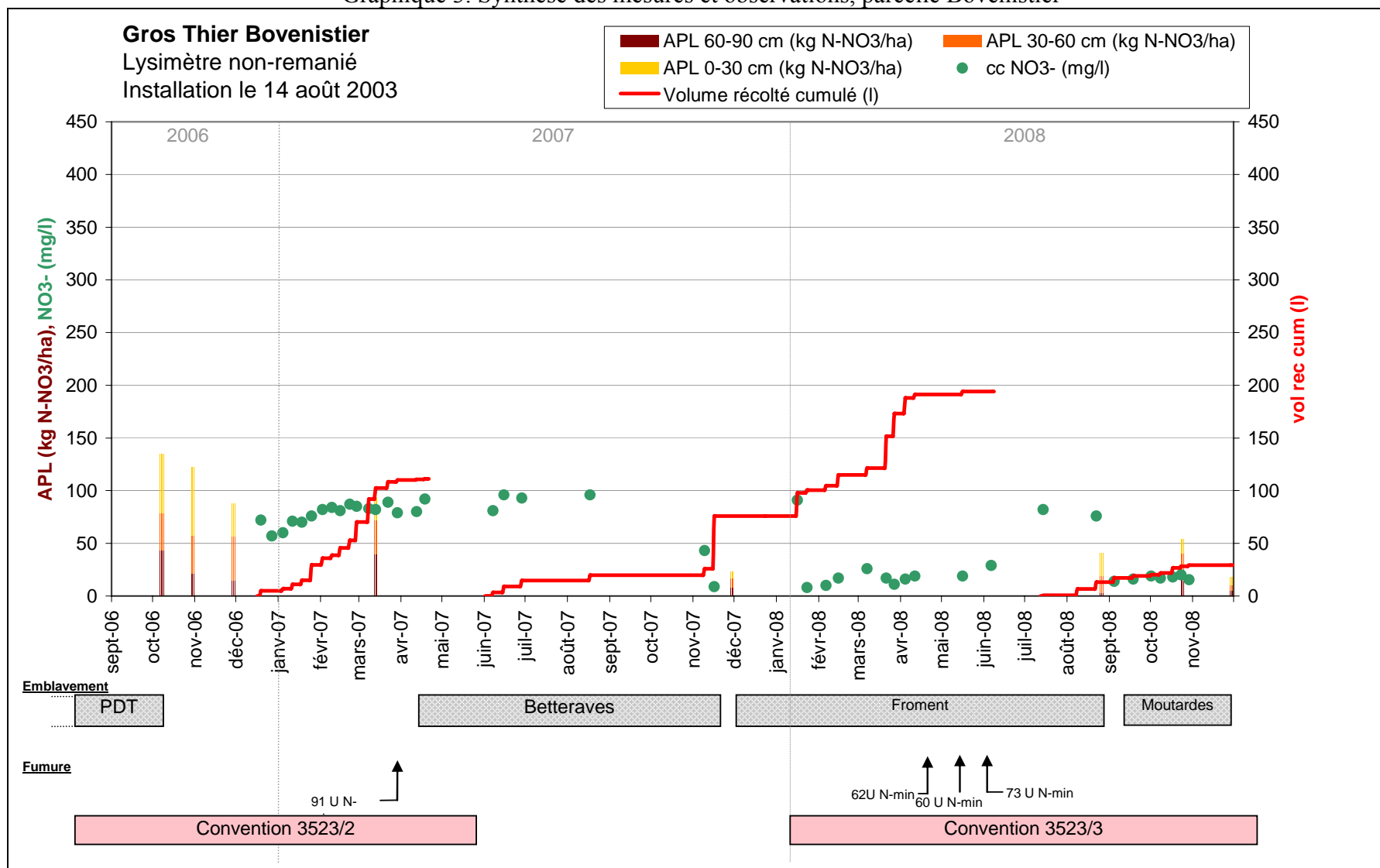
Graphique 1. Synthèse des mesures et observations, parcelle Sole 4



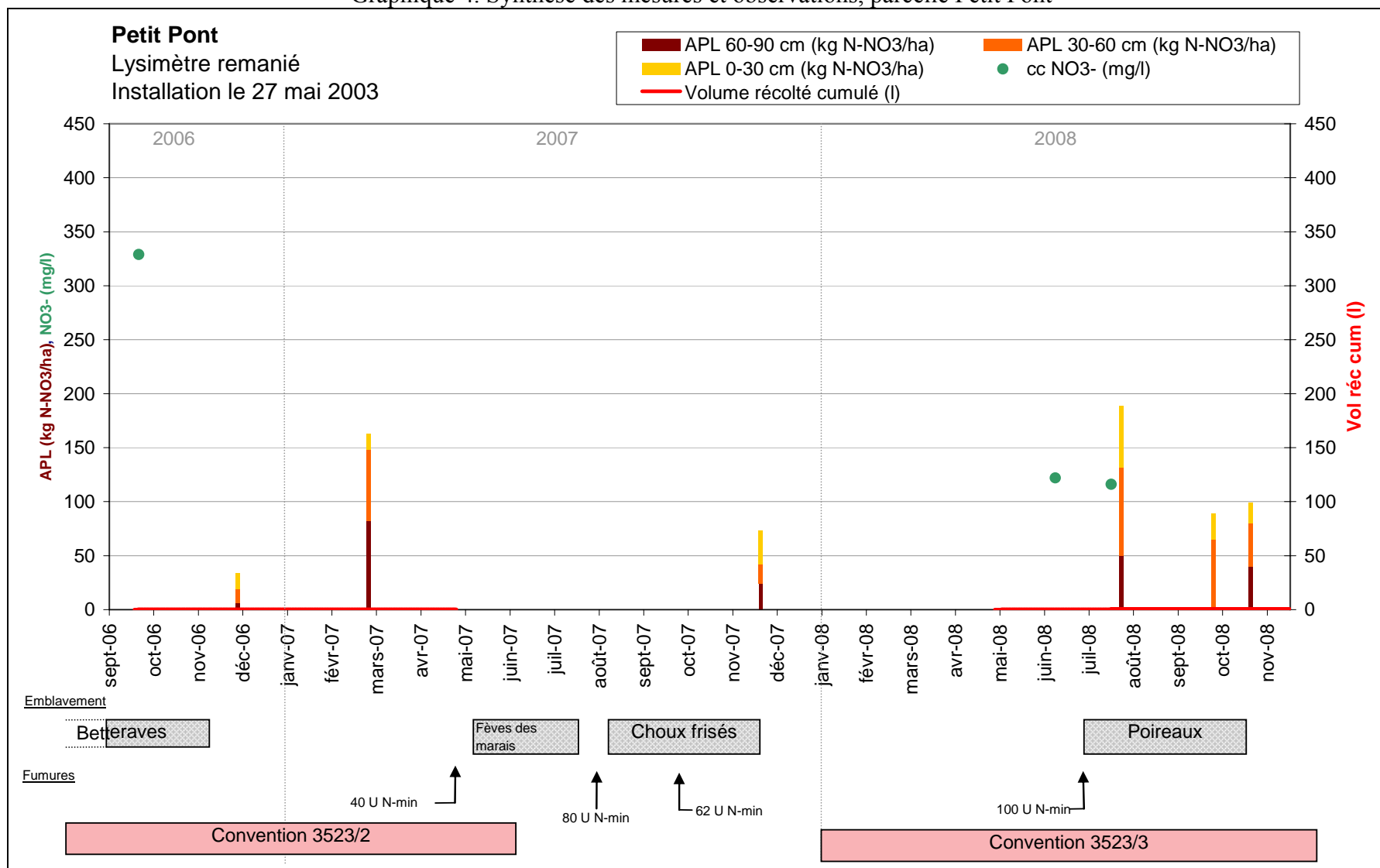
Graphique 2. Synthèse des mesures et observations, parcelle Chemin de fer



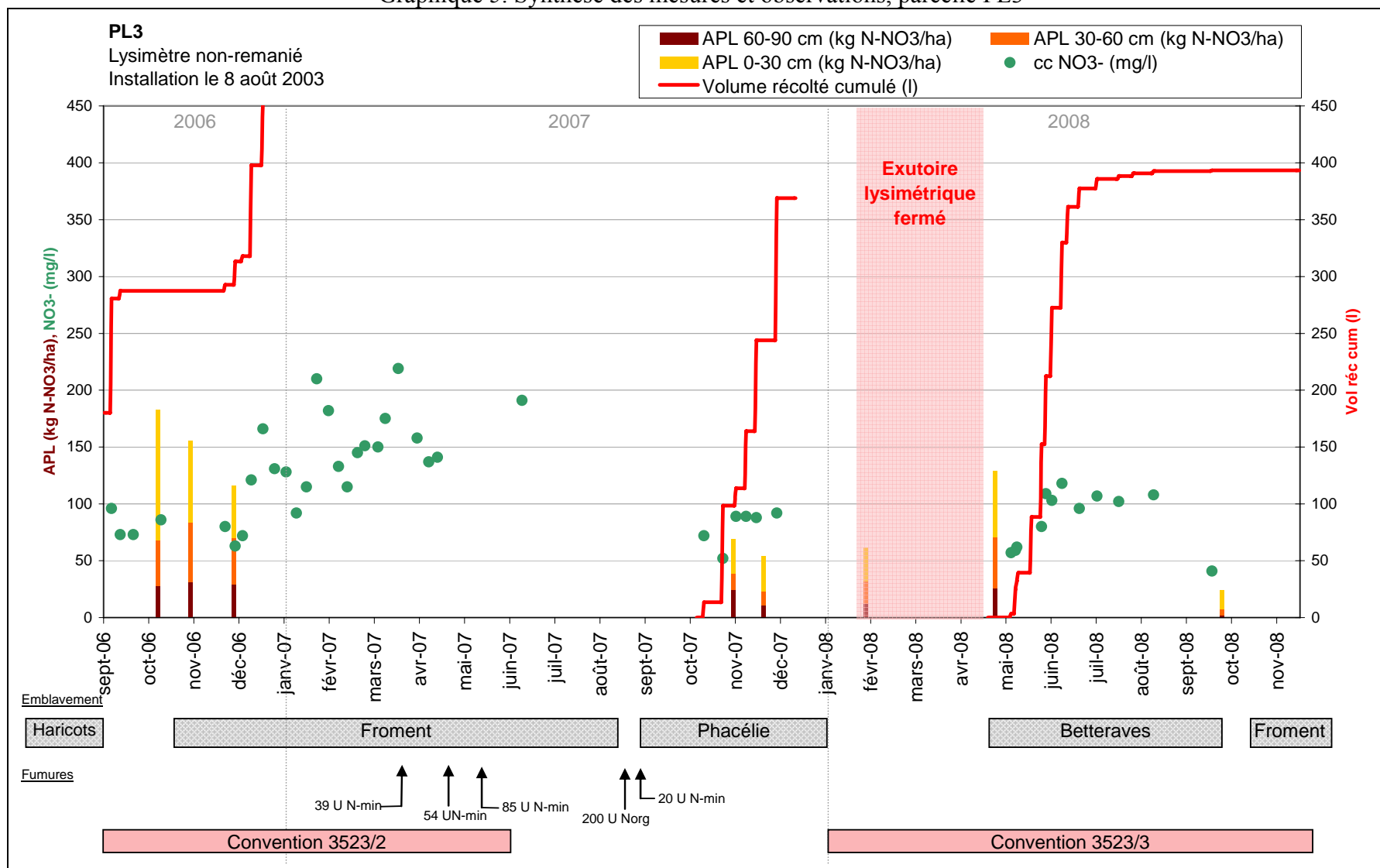
Graphique 3. Synthèse des mesures et observations, parcelle Bovenistier



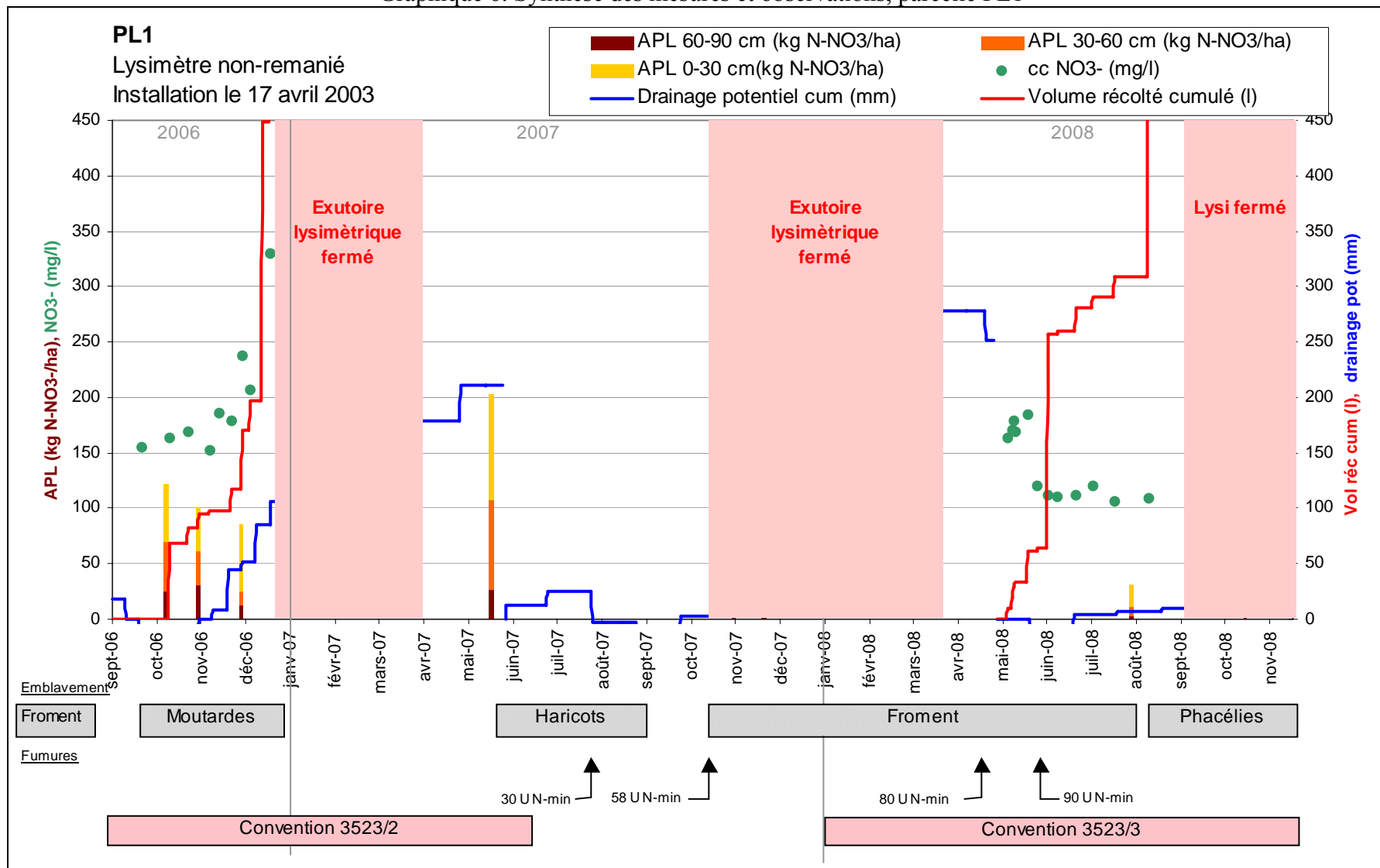
Graphique 4. Synthèse des mesures et observations, parcelle Petit Pont



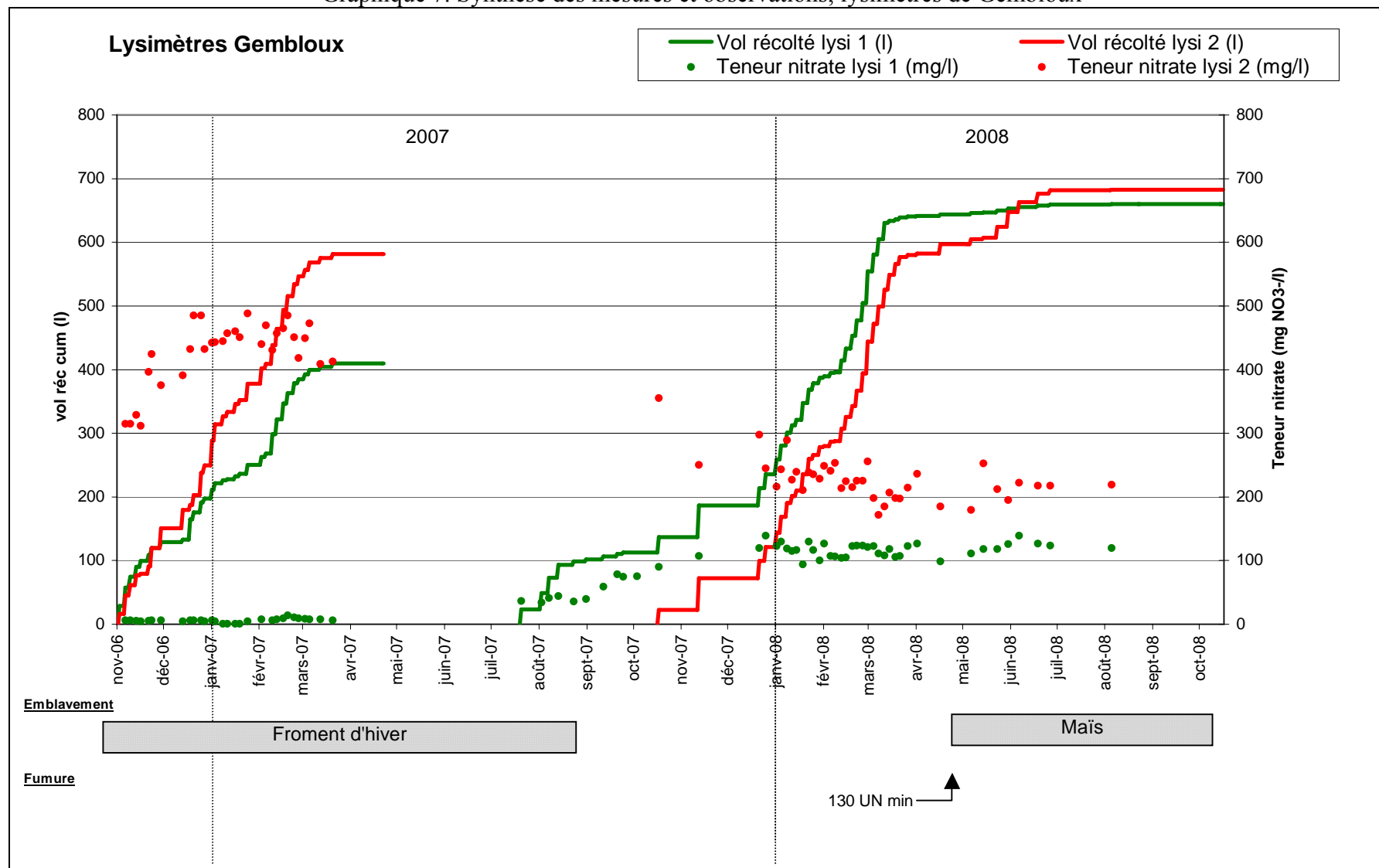
Graphique 5. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3



Graphique 6. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1



Graphique 7. Synthèse des mesures et observations, lysimètres de Gembloux



6 Conclusion

La première période de recherche (mars 2003 – février 2005) a permis l'étude de la lixiviation de l'azote nitrique avec l'eau de percolation à la profondeur de 2m en conditions réelles (in situ), sur des terres agricoles par la technique lysimétrique. La deuxième période de recherche (mars 2005 – mai 2007) a assuré le suivi des mesures et l'interprétations des résultats. Cette troisième période de recherche (janvier 2008 – décembre 2009) a poursuivi les mesures et interprétations dans les eaux de percolation récoltées à 2m de profondeur. Des essais mis en place à l'aplomb du lysimètre permettent également de tester l'impact de conseils de fertilisation adaptés en terme de rendements, de reliquats azotés et de teneur en nitrate dans l'eau qui percole sous la zone racinaire.

Ce rapport clôture la première année de cette période de recherche. Après un rappel des objectifs, un historique des précédentes études et étude complémentaire est tout d'abord dressé. Le choix des sites et leur caractérisation sont rappelés, ainsi que la méthodologie de prélèvement et d'acquisition de données. Les conditions météorologiques ont été décrites pour les années 2007 et 2008. Le plan et le calendrier d'expérimentation sur quatre parcelles ont été décrits en détail. Les résultats obtenus sur les six parcelles de la région de Waremme et sur deux lysimètres de Gembloux sont exposés par la suite, avec une synthèse graphique par parcelle et une discussion des résultats.

Les résultats discutés dans ce rapport en terme de qualité des eaux de percolation concernent la saison de drainage 2007-2008 et le début de la saison 2008-2009. Deux des six lysimètres de Waremme interceptent la nappe ou sa frange capillaire, entrant ainsi dans une dynamique de drainage associé à la percolation. Ces lysimètres sont donc fermés en hiver, lorsqu'une remontée temporaire de la nappe est observée à l'aide d'un réseau de piézomètres installés à proximité. Un lysimètre présente un fonctionnement hydrologique perturbé depuis le début du projet, avec une récolte de volumes d'eau beaucoup trop faibles malgré plusieurs tentatives de remise en fonctionnement. Les autres lysimètres ont confirmé leur bon fonctionnement au cours de cette année.

Les eaux de percolation récoltées dans cinq des six lysimètres ne respectent pas la norme de potabilité fixée par l'OMS. Seul le lysimètre de la parcelle Bovenistier récolte des eaux ne dépassant pas 50 mg NO₃⁻/l, confirmant ainsi l'intérêt de la succession betteraves – céréale – CIPAN associée à une fertilisation raisonnée pour la préservation des eaux souterraines contre la pollution par le nitrate d'origine agricole. Cependant, l'apport de matière organique dans cette succession après céréale, même dans les limites fixées par le PGDA et suivi de l'implantation d'une CIPAN, ne permet plus le respect de la norme l'année suivante. L'absence de CIPAN après céréale se marque également par une augmentation des concentrations en nitrate dans l'eau de percolation au cours de l'année suivante, tel qu'observé sur la parcelle Sole 4. L'introduction d'une culture légumière dans la rotation induit aussi une augmentation des teneurs en nitrate migrant en profondeur. Enfin, les concentrations obtenues à l'exutoire du lysimètre de la parcelle Chemin de Fer montrent l'impact d'un « accident » de fertilisation sur la qualité de l'eau plus d'un an après celui-ci, et quelle que soit la succession envisagée entretemps. A nouveau, outre les modes de gestion de l'azote sur les parcelles, les rotations et successions culturales ont un impact prépondérant sur la qualité des eaux observées dans les lysimètres.

L'intérêt des essais menés en 2008 à l'aplomb des lysimètres est de pouvoir quantifier les APL et rendements individuels des différentes sous-parcelles ayant reçu soit un apport azoté nul soit un apport azoté raisonné. Les résultats des essais menés sur les parcelles emblavées en carottes et en betteraves ne montrent pas de différences significatives d'APL ou de rendements entre les deux objets testés sur ces parcelles. Il convient cependant de se rappeler qu'une quantité importante d'azote nitrique était disponible pour ces cultures dans les horizons de surface en début de cycle, favorisant ainsi leur développement initial. Un apport raisonné d'azote en début de culture semble donc sécuritaire dans la plupart des situations. En termes d'APL, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence sur les parcelles emblavées en poireaux et en fèves des marais / choux frisés. Enfin concernant les rendements, seuls ceux obtenus en choux frisés en deuxième culture sont statistiquement plus élevés avec l'application d'une fumure raisonnée.

Les résultats de rendements et d'APL obtenus cette année sur certaines parcelles (PL3-betteraves, Sole 4 – carottes, Chemin de Fer – fèves des marais) ont donc montré que les conseils de fumure étaient perfectibles. Une réflexion quant à l'établissement de ceux-ci sera donc menée dans la suite de cette période de recherche. Cette réflexion s'intégrera également dans le cadre des travaux d'harmonisation des conseils de fumure par le réseau Requasud, au cours desquels les enseignements de cette année seront valorisés.

Les résultats obtenus sur les parcelles équipées d'un lysimètre dans la région de Waremme et de Gembloux en 2008 demandent maintenant confirmation et suite grâce à l'observation de la qualité de l'eau dans les lysimètres en 2009.

7 Références bibliographiques

1. **Aboukhaled A., Alfaro J.F., Smith M.** (1986). Les Lysimètres. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, n°39 . FAO Rome, 1986.
2. **Dautrebande S.** (1996). Programme action – Hesbaye. Rapport scientifique. FUSAGx. 68 p.
3. **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 Durable de l'Azote en agriculture. Rapport final. Convention Région wallonne DGA n°3523/1. Période du 1er mars 2003 au 28 février 2005. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 106p.
4. **Fonder N., Debauche O., Vandenberghe C., Xanthoulis D., Marcoen J.M.** (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 1er mars 2005 au 31 mai 2007. Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 88 p.
5. **Muller J.C.** (1996). Un point sur ... trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). INRA, Comifer, 1996. 389p
6. **Nitrawal** (2007). Eau-nitrate, informations et conseils techniques pour la gestion durable de l'azote (2^{ème} édition). 162p.
7. **Nitrawal.** (2007). Le nouveau Programme de Gestion Durable de l'Azote. Edition février, 2007. 4p.
8. **Renard S., Goffart J.-P., Frankinet M.** (2007). Optimisation de l'efficience de l'azote dans des rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye. Les Dossiers de la Recherche agricole. Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture.
9. Rouxhet F., Guiot J., Dewez A., Dautrebande S., Hallet V., Monjoie A. (1996). Programme-Action Hesbaye, Rapport de synthèse. FUSAGx, 167p.
10. **Thirion M., Mulders Ch.** (2006). Le programme de gestion durable de l'azote *change*. Les cahiers de l'agriculture, n°42, Novembre 2006.
11. **Vandenberghe Ch., Marcoen J.M.** (2004). Transposition de la Directive Nitrate (CE) en Région Wallonne : azote potentiellement lessivable de références pour les sols cultivés en Région Wallonne. Biotechnologie Agronomie Société Environnement (BASE). 2004 **8** (2), 111-118. Fac. Univ. Sc. Agr. Gembloux.

Sites Web consultés:

Institut Royal Météorologique : <http://www.meteo.be/IRM-KMI/francais/index.php>