



**Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans
le cadre du Programme de Gestion Durable
de l'Azote (PGDA) en Agriculture**

RAPPORT FINAL

Période 1^{er} mars 2005 au 31 mai 2007

Ce document doit être mentionné comme suit :

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 1^{er} mars 2005 au 31 mai 2007.

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 88p.

Le Comité d'Accompagnement est composé de :

- Un représentant du Ministre de l'Agriculture et de la ruralité ;
- Marc Thirion, représentant de la Direction Générale de l'Agriculture ;
- Dimitri Wouez, représentant de l'asbl Nitrawal ;
- Jean Marie Marcoen, promoteur et Christophe Vandenberghe, ingénieur, GRENeRA - FUSAGx;
- Dimitri Xanthoulis, promoteur, président de l'asbl Epuvaleau et Mme Nathalie Fonder, ingénieur, de l'asbl EPUVALEAU ;
- Jean-Pierre Destain et Marc Frankinet, inspecteurs au Centre de Recherche Agronomique, département Production Végétale invités en tant que partenaires dans une convention annexe ;
- René Bernaerdt, Directeur Général et Benoît Heens, ingénieur, des services Agricoles de la Province de Liège invités en tant que experts.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	2
1 INTRODUCTION.....	5
1.1 OBJECTIFS	8
1.2 TACHES SPECIFIQUES DE LA SUBVENTION	8
1.3 PLANNING	9
1.4 RESUME DES ACTIVITES PAR PERIODES, PREMIERE SUBVENTION (REF 3523/1).....	9
1.4.1 <i>Première période : 0-6 mois (Mars 2003 –Sept 2003)</i>	9
1.4.2 <i>Deuxième période : 6-12 mois (Oct 2003- février 2004)</i>	9
1.4.3 <i>Activités de la troisième période : 12-18 mois (Mars 2004 – Sept 2004)</i>	10
1.4.4 <i>Activités de la quatrième période : 18-24 mois (Oct 2004 –février 2005)</i>	11
1.5 RESUME DES ACTIVITES PAR PERIODES, DEUXIEME SUBVENTION (REF 3523/2).....	11
1.5.1 <i>Activités de la première période (mars 2005- août 2005)</i>	11
1.5.2 <i>Activités de la deuxième période (Septembre 2005 – mars 2006)</i>	11
1.5.3 <i>Activités de la troisième période (avril 2006 – août 2006)</i>	11
1.5.4 <i>Activités de la quatrième période, prolongée par avenant (septembre 2006 – mai 2007)</i>	11
2 MATERIEL ET METHODE.....	12
2.1 INSTALLATION.....	12
2.2 DESCRIPTION DES SITES RETENUS.....	13
2.2.1 <i>Critères de choix</i>	13
2.2.2 <i>Description des sites</i>	14
2.2.3 <i>Localisation et Caractérisation pédologique</i>	14
2.3 METHODOLOGIE DES PRELEVEMENTS / ACQUISITION DES DONNEES	20
2.3.1 <i>Méthodologie des prélèvements</i>	20
2.3.2 <i>Opérateurs</i>	20
2.3.3 <i>Analyses</i>	21
3 RESULTATS	22
3.1 CARACTERISATION CLIMATOLOGIQUE	22
3.2 RESULTATS PAR PARCELLES	30
3.2.1 <i>Sole 4</i>	30
3.2.2 <i>Grosse Pierre Chemin de fer</i>	35
3.2.3 <i>Gros Thier Bovenistier</i>	40
3.2.4 <i>Grosse Pierre Petit Pont</i>	44
3.2.5 <i>PL1</i>	49
3.2.6 <i>PL3</i>	54
4 SYNTHESE GRAPHIQUE, BILANS ET DISCUSSION	58
4.1 GRAPHIQUE DE SYNTHESSES PAR PARCELLE	58
4.2 L'INDICATEUR ENVIRONNEMENTAL APL	67
4.2.1 <i>Introduction</i>	67
4.2.2 <i>Fumure azotée et APL, évaluation</i>	68
4.2.3 <i>Impact sur la qualité de l'eau</i>	75
4.3 BILAN HYDROLOGIQUE	77

4.4	BILAN AZOTE.....	83
5	CONCLUSION.....	87
6	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	90
7	BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE	92
8	ANNEXES.....	93

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET GRAPHIQUES

Tableau 1 :	Données climatologiques de la station IRM de Uccle	26
Tableau 2 :	Parcelle sole 4, profils de concentration an azote nitrique du sol	31
Tableau 3 :	Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	33
Tableau 4:	Parcelle chemin de fer, profil de concentration en azote nitrique du sol.	36
Tableau 5 :	Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate.....	38
Tableau 6 :	Parcelle Gros Thier Bovenistier, concentration en azote nitrique du sol.....	41
Tableau 7 :	Parcelle Gros Thier Bovenistier, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate.....	42
Tableau 8 :	Parcelle Grosse Pierre Petit Pont, concentration en azote nitrique dans le sol. ...	45
Tableau 9 :	Parcelle Grosse Pierre Petit Pont, observations mensuelles des volumes et concentration en nitrate.	46
Tableau 10 :	Parcelle PL1, profil de concentration en azote nitrique du sol.....	51
Tableau 11 :	Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	52
Tableau 12 :	Parcelle PL3, profil de concentration en azote nitrique du sol.....	55
Tableau 13 :	Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	56
Tableau 16:	Parcelle sole 4, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés.....	69
Tableau 17 :	Parcelle chemin de fer, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés	70
Tableau 18:	Parcelle Bovenistier, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés.....	71
Tableau 19 :	Parcelle Grosse pierre petit pont, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés.....	72
Tableau 20 :	Parcelle PL1, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés.....	73
Tableau 21 :	Parcelle PL3, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés.....	74
Tableau 14 :	Parcelles sole 4, PL1 et PL3, Pluviométrie, ETM, Irrigation, Drainage potentiel par saison de drainage	77
Tableau 15 :	Pluviométrie, ETM, Irrigation, Drainage potentiel par saison de drainage, parcelles Chemin de fer, Petit Pont et Bovenistier.....	79
Tableau 22 :	Bilan azoté de la parcelle Chemin de Fer.....	83
Tableau 23 :	Bilan azoté de la parcelle sole 4	85

Figure 1 : Plan de la cuve lysimétrique, système non remanié 13
Figure 2 : Localisation sur la carte des sols de Belgique des parcelles PL1 et PL3 de Mr Pirlot
et des lysimètres installés 16
Figure 3 : Localisation sur la carte des sols de Belgique de la parcelle Sole4 de Mr Pirlot et du
lysimètre installé 17
Figure 4: Pluie (P), Evapotranspiration (ETP) et déficit hydrique (P-ETP) par décade, 29
Figure 5 : Parcelle PL1, relevé piézométrique mensuel, niveau de la nappe par rapport au
lysimètre (la côte 0 correspond à l'exutoire du lysimètre dans la chambre de
visite)..... 49

Graphique 1 : Synthèse des mesures et observations, parcelle sole 4..... 61
Graphique 2 : Synthèse des mesures et observations, parcelle Chemin de fer 62
Graphique 3 : Synthèse des mesures et observations, parcelle Bovenistier..... 63
Graphique 4 : Synthèse des mesures et observations, parcelle Petit Pont..... 64
Graphique 5 : Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3..... 65
Graphique 6 : Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1..... 66

1 Introduction

L'augmentation de la productivité agricole s'est généralement accompagnée d'un usage non rationnel des produits agrochimiques en général et des engrais azotés en particulier. Ainsi, les excès d'azote nitrifié, ayant échappé à l'absorption racinaire, deviennent sujets à la lixiviation de l'ion nitrate en profondeur ce qui génère le risque de pollution nitrique des eaux souterraines. Il est admis que l'intensité de ce phénomène est conditionnée par la texture du sol, la capacité d'absorption de la culture, la hauteur des précipitations et/ou d'irrigation et de la quantité d'azote minéral appliquée et/ou minéralisée à partir de la matière organique native du sol ou de celle apportée (Fonder, Xanthoulis, 2005).

Ce rapport poursuit l'étude réalisée pour 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 Epuvaleau, en partenariat avec GRENeRA, pour une période précédente de deux ans (mars 2003- mars 2005). Cette subvention (réf 3523/2) assure le suivi des mesures et prélèvements dans le temps et s'inscrit dans le cadre d'une agriculture durable, soucieuse de la fertilité du sol et minimisant le risque environnemental.

En 1991, le Conseil de la Communauté Economique Européenne émet 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 d'évaluer la vulnérabilité de leurs eaux vis-à-vis de la pollution par les nitrates 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) dont le premier programme d'actions triennal est terminé.

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 du Cabinet du Ministre de l'Agriculture, 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 des eaux 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.

Le Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture wallonne a fixé des normes en matière d'épandage d'azote minéral et organique ainsi qu'un code de bonnes pratiques agricoles. Le respect du PGDA devrait stabiliser la concentration en nitrate des eaux (de surface et souterraines) en dessous de la norme de potabilité fixée par l'OMS (50 mg NO₃⁻/l). L'accompagnement des agriculteurs dans ces nouvelles démarches est réalisé par 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 (ECOP, laboratoire d'Ecologie des Prairies de l'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). Cette stabilisation attendue de la concentration en nitrate des eaux sera suivie, au travers du « Survey nitrate », par la DGRNE et Aquawal. Ce Survey Nitrate est constitué de plusieurs centaines de points répartis dans les eaux de surface (rivières) et souterraines.

L'étendue jugée insuffisante des zones vulnérables déterminées pour les eaux souterraines et surtout le manque de prise en considération de l'eutrophisation des eaux 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 (Nitrawal, 2007).

Comme dans de nombreuses régions d'Europe, depuis plusieurs décennies, les teneurs en nitrate ne cessent d'augmenter dans les nappes phréatiques wallonnes. 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 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 pour leur part soumis à des directives spécifiques en la matière.

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 sera réalisé, présentera une vue d'ensemble de l'état (en terme de concentration en nitrate) des eaux souterraines mais ne permettra pas de distinguer l'impact d'une politique environnementale mise en place dans l'un ou l'autre secteur d'activité (Dautrebande, 1996). 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.

L'étude précédente (3523/1) a mis en place 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.

1.1 Objectifs

Dans le cadre d'une première collaboration GRENeRA/Epuvaleau¹, il a été montré que des fluctuations annuelles du climat (température et pluviométrie) avaient un impact sur le reliquat azoté en début de période de drainage. Cet impact a nécessairement des répercussions sur la qualité des eaux qui percolent vers les nappes phréatiques. La technique lysimétrique a été retenue comme outil de suivi.

L'asbl Epuvaleau en collaboration avec la cellule d'appui scientifique GRENeRA a mené une étude scientifique² avec mise en place de ces sites lysimétriques de plein champ, sous pratiques agricoles réelles, afin d'évaluer dans le cadre d'une rotation, la pertinence des APL de référence dans le souci de protection des eaux souterraines et de confirmer les normes d'épandage adoptées par le PGDA.

Cette deuxième subvention a pour objectif de continuer de récolter les eaux de percolation à l'exutoire des 6 lysimètres installés en Hesbaye au cours de la subvention précédente (Réf : 3523/1), en vue d'établir un lien entre le reliquat azoté présent dans le sol en début de période de drainage et la qualité des eaux qui percolent au-delà de la zone racinaire.

1.2 Tâches spécifiques de la subvention

Les tâches spécifiques du projet reprennent les points suivants :

1. 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
2. Enregistrer les précipitations et autres paramètres climatiques ;
3. Collecter des données de rendements obtenus sur les différentes parcelles suivies ;
4. Grâce à la collaboration avec GRENeRA, réaliser les bilans azotés complets à l'échelle de la parcelle ; relier ces observations aux APL de références et conseils qui en découlent ; et vérifier que ces conseils respectent les objectifs de qualité des eaux ;

¹ Étude des résidus azotés dans le sol dans le cadre de cultures maraîchères irriguées sur le site de Hesbaye Frost (Geer), D. Xanthoulis, Ph. Dumont, 2002

² Fonder N., Vandenberghe C., Xanthoulis D., Marcoen J-M., 2004. - 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 1^{er} mars 2003 au 28 février 2005. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 106p.

1.3 Planning

La présente subvention est entrée en vigueur par arrêté le 1^{er} mars 2005 pour une période de 2 ans. Les périodes de drainage s'étalent des mois de septembre à mai et ne concordent pas avec ce calendrier. La période de drainage, impliquant la récolte d'eau de percolation avec leur analyse quant à leur teneurs en azote nitrique n'étant pas arrêtée à la fin du mois de février, un avenant à permis la prolongation de cette étude pour 3 mois supplémentaires, sans allonge budgétaire.

Un premier rapport annuel a présenté les résultats couvrant la troisième période de drainage observée, allant du mois de septembre 2005 au mois de mai 2006.

Ce rapport final clôture la quatrième saison de drainage, soit juin 2006 à Mai 2007.

1.4 Résumé des activités par périodes, première subvention (réf 3523/1)

Les activités menées lors des 24 mois de la subvention ont fait l'objet de quatre rapports semestriels et du rapport final (réf 3523/1). Les étapes principales en étaient les suivantes.

1.4.1 Première période : 0-6 mois (Mars 2003 –Sept 2003)

La première étape au démarrage de la subvention (Réf 3523/1) a été une étude bibliographique sur la lysimétrie en général, le principe de base et les différents systèmes utilisés. Des sites lysimétriques, toujours à l'étude ou non par des programmes de recherche en France, ont été visités. Cette recherche par le biais de la littérature a permis de faire le point sur les différents systèmes lysimétriques, leurs nécessités en matière de conception et de fonctionnement, ainsi que leurs avantages et inconvénients inhérents. De par les impositions de la subvention, les objectifs de recherche, les limites techniques et financières, deux systèmes lysimétriques ont été retenus, un système « remanié » et un système « 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 cultivateurs. Le premier rapport intermédiaire détaille les systèmes remaniés et non remanié choisis, les étapes de la construction, les critères de choix qui ont orienté cette décision et les impositions techniques à mettre en œuvre pour un fonctionnement et une saisie de résultats optimaux.

Les critères de sélection des sites ont été de faire partie des fermes de référence suivies par GRENeRA en Hesbaye ; faire partie du réseau d'irrigation géré par le CMH (Centre Maraîcher de Hesbaye) et suivi par l'Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole (FUSAGX); être représentatif de la région d'un point de vue pédologique ; et avoir l'accord des fermiers pour la réalisation et le suivi de telles installations sur leurs terres.

Une localisation topographique et une caractérisation pédologique ont été effectuées pour chaque parcelle.

1.4.2 Deuxième période : 6-12 mois (Oct 2003- février 2004)

La deuxième période a été consacrée à la mise au point de la méthodologie d'échantillonnage, aux prélèvements proprement dits, à la résolution de problèmes techniques et études annexes, aux analyses, aux premiers traitements et interprétations des résultats.

Les problèmes techniques rencontrés ont été des intrusions d'eau dans les chambres de visites, soit par le fond, soit par le haut de ces dernières, soit encore par débordement des bidons de récolte à l'intérieur de celle-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. Installés sur deux sites, les niveaux piézométriques ont été relevés une fois par semaine (parfois deux fois) en période hivernale. Ils ont été retirés au printemps pour l'un de ces sites afin de permettre le semis de la culture suivante; et à l'été pour la seconde parcelle afin de permettre la moisson du froment.

Des sondes TDR ont été installées afin de comprendre pourquoi certains sites percolaient et d'autres pas. Les pluviomètres sont relevés chaque semaine.

Des échantillons d'eau issue des drains de parcelles alentours des sites lysimétriques sont mesurés une fois par mois, uniquement et immédiatement lors du prélèvement par les kits de terrain et ne sont pas acheminés vers un laboratoire d'analyses.

1.4.3 Activités de la troisième période : 12-18 mois (Mars 2004 – Sept 2004)

La récolte des échantillons s'est poursuivie durant la troisième période. La fréquence de prélèvements et analyse est devenue hebdomadaire en période estivale. Les lysimètres ont cessé de percoler dans le courant du mois de juin. La période de drainage suivante a débuté au mois d'août. 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. Ceci afin de valider la fréquence hebdomadaire des relevés, prélèvements et mesures.

La méthodologie mise en œuvre a été de doubler le bidon de récolte dans une chambre de visite. Le premier bidon récoltant les eaux en provenance du lysimètre et le second servant à y transvaser le surplus et le laisser sur place jour après jour. Un échantillonnage quotidien, à la même heure, a été appliqué pour les deux bidons. La température étant un facteur déterminant dans une dégradation potentielle des ions nitrate avec le temps, cet essai s'est déroulé du 3 au 10 mai 2004. Cette semaine a été retenue car une percolation avait toujours lieu et les températures recommencent à être plus élevées que durant l'hiver.

Les échantillons sont analysés par le BEAGx, le laboratoire Epuvaleur et par l'appareil de mesure de terrain (nitratecheck). Il n'y a pas de corrélations entre méthode de mesures. Il semble que le kit de terrain évalue systématiquement les mesures à la hausse, ainsi que le laboratoire d'Epuvaleur dans une moindre proportion, par rapport au laboratoire de référence du BEAGx. Le Nitratecheck n'est plus fiable lors de basses températures (<5°C).

Les résultats montrent que les variations qui peuvent se produire durant une semaine ne sont pas détectables par la méthodologie employée. Les variations de dégradation du nitrate ne sont pas supérieures aux variations induites par la méthode de prélèvement et la précision du laboratoire (20%). Les concentrations sont faibles et leurs variations difficiles à mesurer.

L'écart mesuré entre les mesures quotidiennes et la mesure hebdomadaire est inférieur à la précision de 20% annoncée par le laboratoire d'analyse.

Suite à cet essai, la fréquence de prélèvement hebdomadaire a été maintenue.

1.4.4 Activités de la quatrième période : 18-24 mois (Oct 2004 –février 2005)

La récolte des échantillons s'est poursuivie durant la quatrième et dernière période prévue par la subvention. La fréquence de prélèvement et d'analyse est hebdomadaire.

Un lysimètre ne présentait toujours aucune eau de percolation au début du mois de novembre et un second s'était tari suite à un tassement du sol par le passage d'engins lourds lors de la récolte d'automne. Les caractéristiques hydrodynamiques de ces deux lysimètres ont été recouvertes par la remontée de la nappe artificiellement et la saturation, à partir du fond du lysimètre.

Deux lysimètres, installés partiellement dans la nappe, captent celle-ci lors de forte remontée hivernale. Lors de ces remontées, l'écoulement de ces deux 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.

1.5 Résumé des activités par périodes, deuxième subvention (réf 3523/2)

1.5.1 Activités de la première période (mars 2005- août 2005)

Les prélèvements se sont poursuivis jusqu'à la fin de la saison de drainage, soit en mai 2005. Le rapport final de la première subvention a été rédigé, permettant de prendre en compte les données relatives à une saison de drainage complète. Le rapport final a été présenté au Comité d'Accompagnement.

1.5.2 Activités de la deuxième période (Septembre 2005 – mars 2006)

Les mesures, observations, prélèvements et récolte de données relatives aux parcelles ont repris avec la troisième saison de drainage observée depuis la mise en place des lysimètres. Le drainage s'est poursuivi jusqu'au mois de mai. Le rapport annuel est rédigé en juin 2006, permettant de considérer une période de percolation complète.

Au premier janvier 2006 a démarré une recherche annexe menée par la CRA, département Production Végétale pour un marquage isotopique de l'azote afin d'affiner le bilan azoté sur les sites lysimétriques. Les résultats de cette étude font l'objet d'un rapport annexe.

1.5.3 Activités de la troisième période (avril 2006 – août 2006)

Les prélèvements se sont poursuivis jusqu'à la fin de la saison de drainage, soit en mai 2006. Le rapport intermédiaire a été présenté au Comité en Juin 2006 permettant de prendre en compte les données relatives à une saison de drainage complète. La collaboration s'est mise en place avec le CRA afin d'épandre l'azote isotopique sur les lysimètres et placeaux expérimentaux.

1.5.4 Activités de la quatrième période, prolongée par avenant (septembre 2006 – mai 2007)

Les prélèvements ont repris pour la quatrième période de drainage au mois de septembre 2006 et poursuivis jusqu'à la fin de la saison de drainage, soit en avril 2007.

La position exacte des lysimètres a été reprise au GPS, afin de connaître avec exactitude leur position pour l'épandage en parfait aplomb de l'azote isotopique.

Le présent rapport final clôture les résultats de cette deuxième étude.

2 Matériel et méthode

2.1 Installation

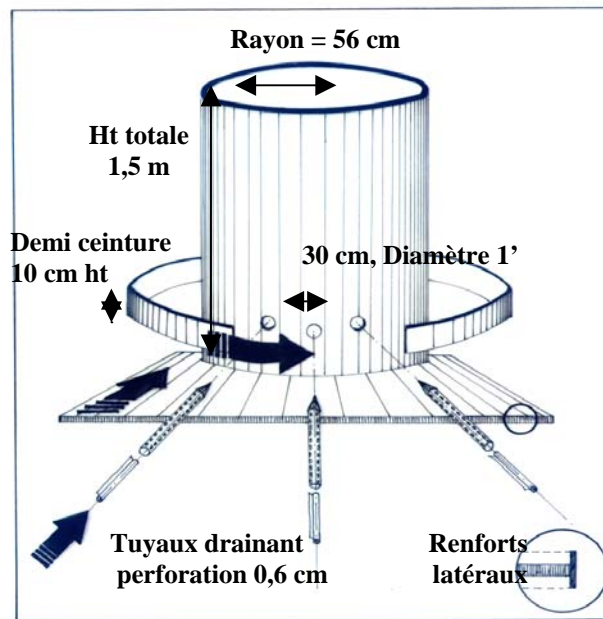
L'analyse des avantages et inconvénients des systèmes lysimétriques a orienté le choix vers un système fermé. C'est le seul système qui réponde à l'exigence fondamentale de la lysimétrie de mesurer simultanément le volume d'eau de drainage et sa concentration dans un volume parfaitement défini. Ce système 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 représente partiellement les conditions réelles et les résultats obtenus doivent être interprétés avec précaution.

Les mesures obtenues permettent d'apprécier l'impact sur le milieu des pratiques agricoles mises en œuvre, tel que préconisées par le PGDA. Une première étude a permis la mise en place de lysimètres de plein champ (in situ) afin de mesurer la qualité des eaux qui percolent vers les nappes, et plus particulièrement leur teneur en nitrate.

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 (Figure 1). 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 (Fonder et al, 2003). 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. Une première quantification de la quantité d'azote nitrique lixivié a eu lieu.

Les annexes Ia et Ib reprennent quelques photos des principales étapes de l'installation des lysimètres

Figure 1 : Plan de la cuve lysimétrique, système non remanié



2.2 Description des sites retenus

2.2.1 Critères de choix

Les six parcelles réparties dans deux exploitations agricoles ont été retenues pour l'implantation des lysimètres selon les critères suivants :

1. Faire partie des fermes de référence suivies par GRENeRA en Hesbaye.
2. Suite à l'excellente collaboration déjà réalisée par le passé³ avec les Services agricoles de la Province de Liège (Centre Maraîcher de Hesbaye, CMH), 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 non négligeable. Le CMH contribue, notamment, à la gestion du périmètre irrigué utilisant les eaux usées de l'usine de congélation de légumes Hesbaye Frost, mais 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) géré 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 avec un pédologue afin d'en vérifier la correspondance in situ.

³ Projet INCO, financé par l'UE, « Sustainability and optimisation of treatments and use of wastewater in agriculture », 1998-2002.

4. Enfin, *last but not least*, avoir l'accord des fermiers pour la réalisation de telles installations, et leur suivi, sur leurs terres.

2.2.2 Description des sites

Les six parcelles sur lesquelles les lysimètres ont été implanté font partie des fermes de références suivies par GRNeRA. 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.

2.2.3 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 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 exact de chacun des sites est relevé au GPS et positionné sur les cartes pédologiques et topographiques.

PL1

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

Un lysimètre type non remanié a été installé en date du 17 avril 2003. Ce système a été le premier lysimètre installé. Sa position exacte est prise par GPS.

Le site est localisé sur un bas de pente de vallée très humide. Lors du sondage, le bruit caractéristique de succion témoin d'une teneur en eau élevée est audible (mars 2003). Le sondage révèle des colluvions grises, compactées et devenant brunes dès 45 cm de profondeur. A 90 cm de profondeur, on observe des taches d'oxydo-réduction, dans un horizon plus argileux qui pourrait être un horizon BT enfoui. Ce sondage n'est pas rattachable à un sigle de la carte des sols de Belgique de sol naturel. Il est conseillé de placer le site plus haut sur le versant. Le lysimètre a donc été positionné plus haut sur le versant comme suggéré.

PL3

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

Un lysimètre, type non remanié a été installé en date du 8 août 2003. Sa position exacte est prise par GPS.

Le site est localisé sur un bas de versant humide. Le sol est décrit Acp(c) sur la Carte des Sols de Belgique (CSB). La première lettre A majuscule signifie qu'il s'agit d'un sol à texture limoneuse; la seconde lettre donne la classe de drainage, « modéré » dans le cas du c minuscule; la troisième lettre indique le développement de profil, sans développement de profil dans le cas du (p); avec un horizon BT enfoui [(c)] à une profondeur supérieure à 90cm. L'horizon BT caractérisant une accumulation d'argile par lessivage vertical.

Ce profil sur colluvions présente un caractère très humide.

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. Sa position exacte est prise par GPS.

Le site est localisé sur un plateau en légère pente.

Le sol est classé Aba(b)0, soit un sol limoneux (A), à drainage normal (b), à BT tacheté [(b)] et à horizon A épais (0).

Entre 0 et 60 cm, le limon est peu argileux. Au-delà, se trouve l'horizon BT qui présente des taches d'oxydo-réduction attribuées à des processus anciens. L'horizon C n'a pas été atteint lors du sondage. Ce type de profil témoigne d'une intensité relativement faible des processus érosifs car l'horizon A est bien préservé.

Gros Thier Bovenistier

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

Un lysimètre, type non remanié a été installé en date du 14 août 2003. Il s'agit du dernier lysimètre installé. Sa position exacte est prise par GPS.

Le site est en position sommitale d'un interfluve légèrement bombé. Le sondage effectué confirme le sigle de la carte des Sols de la Belgique (CSB), à savoir Aba. Soit, un sol à texture limoneuse; de drainage, « normal »; le développement de profil correspond à un profil présentant un horizon BT. Le sondage permet de préciser que le profil est légèrement tronqué par l'érosion; l'horizon de surface présente une teneur en argile plus élevée suite à l'incorporation de l'horizon BT par le labour. Le site présente donc les caractères typiques d'un sol de type Aba à horizon A mince (« terre-à-brique »).

Grosse Pierre Chemin de Fer :

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

Un lysimètre, type remanié a été installé en date du 4 juillet 2003. Sa position exacte est prise par GPS.

Le site est localisé au milieu d'un versant en pente douce. L'horizon 0-30 cm est limoneux, facile à sonder et friable. L'horizon 30-70 cm correspond au BT. En dessous, le matériau est plus limoneux et moins argileux que le BT; il s'agit de l'horizon C (« ergéron. » selon l'ancienne nomenclature). Ce profil présente les traces des processus érosifs par le caractère colluvial de l'horizon de surface et la faible profondeur d'apparition de l'horizon C. Selon la légende CSB, ce profil devrait être classé en Abp(c) ou en AbB. Dans les deux cas, il s'agit de situations de versant intermédiaires entre les sols typiques de plateau et les sols sur colluvions.

Grosse Pierre Petit Pont

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

Un lysimètre, type remanié a été installé en date du 27 mai 2003 Sa position exacte est prise par GPS. Ce lysimètre était le premier système remanié installé.

Le site est localisé en bas d'un versant rectiligne. Le sol est classé comme Abp, soit un sol limoneux à drainage normal et sans développement de profil (p). Le sol est très friable, présente peu de structure, le matériau est très homogène sur toute la profondeur du sondage. Ce sol sur colluvions limoneuses est tout à fait représentatif des sols de dépressions sèches.

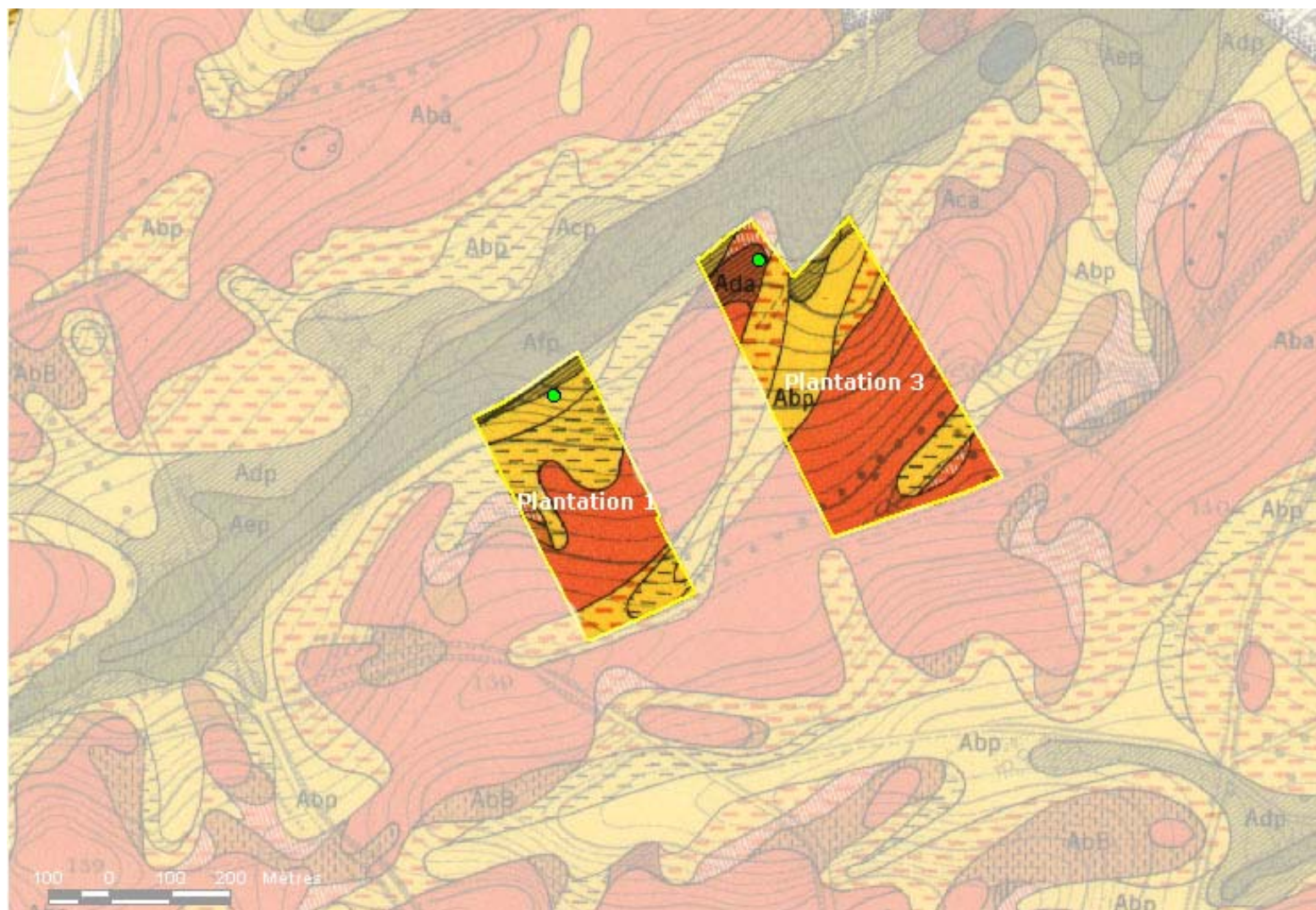


Figure 2 : Localisation sur la carte des sols de Belgique des parcelles PL1 et PL3 et des lysimètres installés

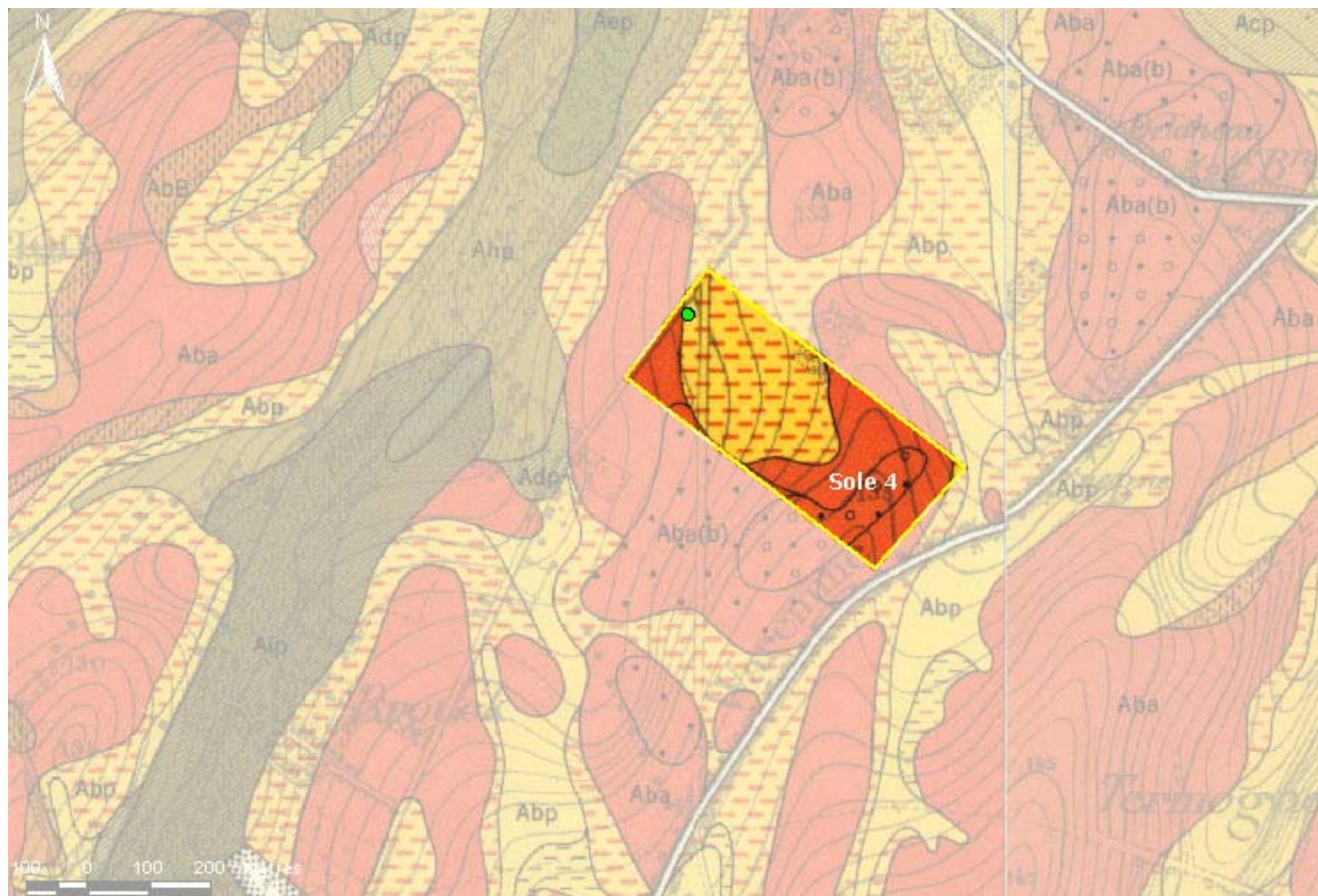


Figure 3 : Localisation sur la carte des sols de Belgique de la parcelle Sole4 et du lysimètre installé

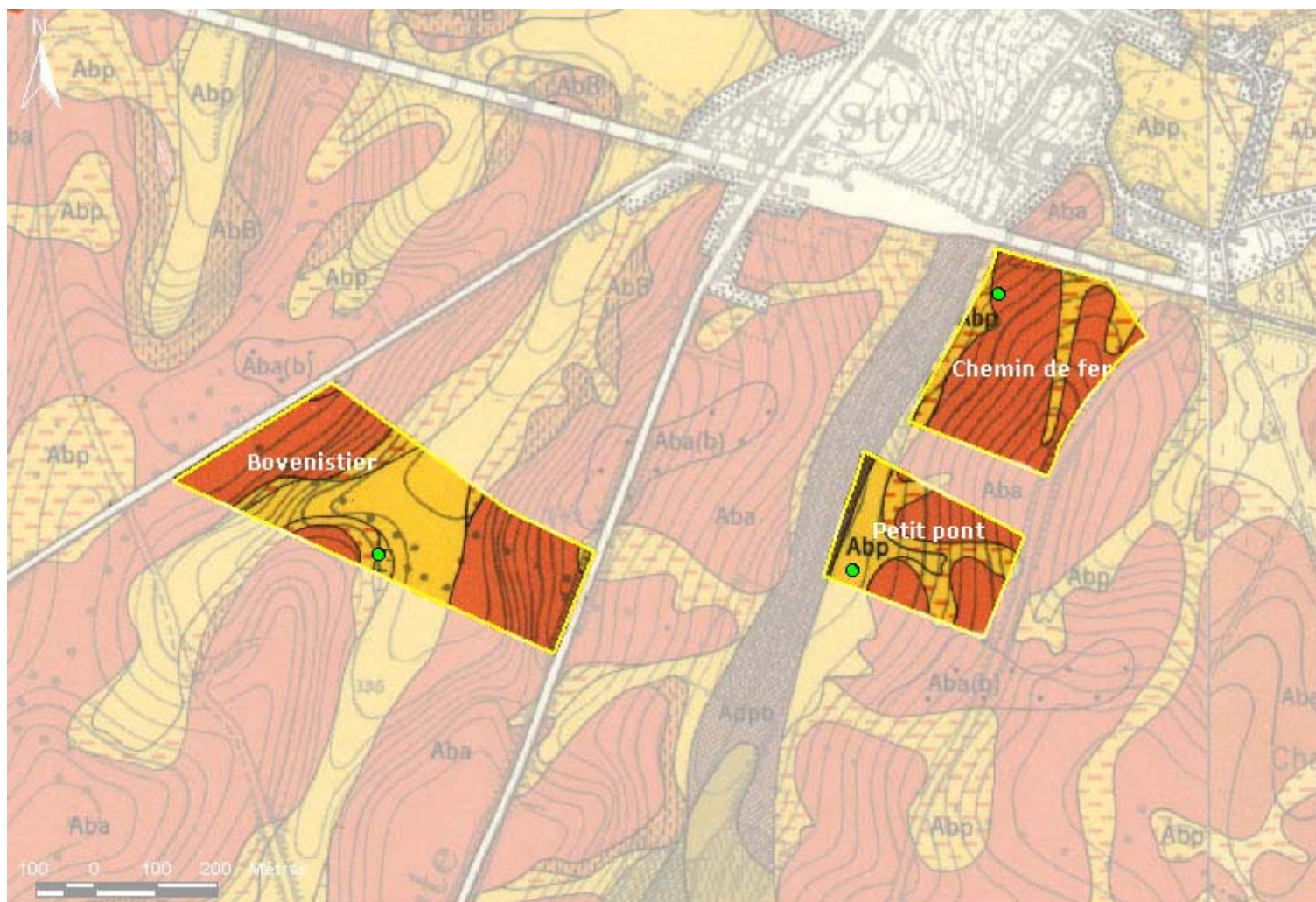








Figure 4: Localisation sur la carte des sols de Belgique des parcelles Bovenistier, Petit Pont et Chemin de Fer et des lysimètres installés .

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

2.3 Méthodologie des prélèvements / Acquisition des données

2.3.1 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 des pluviomètres : quatre pluviomètres sont placés à proximité des six parcelles où sont installés les lysimètres. Les emplacements ont été choisis selon une exposition minimale aux dommages et dégradations extérieures, sans gêne pour le fermier, hors des zones d'influence de grands arbres et proches 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.).

Cette fiche est remplie lors de chaque visite et présentée en annexe II. 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 N15 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.

2.3.2 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 BEAGx et/ou par le laboratoire d'Epuvaleur lorsque le dépôt des échantillons ne peut s'y faire le jour même des prélèvements, ou lors de congés.

2.3.3 Analyses

De retour à Gembloux, la première fiole est portée au BEAGx directement ou dès le lendemain, avec dans ce cas une conservation dans le frigo du laboratoire Epuvaleur.

Les mesures de pH, CE et teneur en nitrate sont effectuées dans la deuxième fiole par le laboratoire Epuvaleur, également à l'aide de kits de laboratoire.

Les méthodes de mesures et d'analyses sont les suivantes :

- Les pluviomètres sont du type «Hellmann», posés 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 Electrique.
- Le kit de terrain, système « Nitratecheck », mesure la teneur en nitrate par méthode colorimétrique.
- Le laboratoire Epuvaleur mesure également la teneur en nitrate par méthode colorimétrique.
- Le BEAGx analyse la teneur en nitrate par méthode Zambelli.

3 Résultats

3.1 Caractérisation climatologique

Les lysimètres ont été installés durant le printemps et l'été 2003.

La récolte de percolats pour la première saison de drainage a débuté au mois de septembre 2003 et s'est achevée autour du mois de juillet 2004.

La deuxième saison de drainage a repris dès le mois de septembre 2004 et s'est achevée en mai 2005. La troisième saison de drainage a repris en décembre 2005 pour se tarir au mois de mai 2006.

Un résumé des années précédentes nous renseigne que l'année 2003 a été principalement marquée par des excès remarquables de la durée d'ensoleillement et de la température moyenne. Il faut retenir ensuite le nombre de jours de précipitations mesurables qui fut déficitaire. Le printemps fut très doux et l'été a connu une température record, en liaison avec plusieurs périodes chaudes avec peu ou pas de précipitations. Il en est résulté une humidité moyenne relativement basse au printemps et en été. Plus que les quantités de précipitations - globalement déficitaires, mais encore relativement normales -, ce sont les faibles fréquences de précipitations qui ont provoqué une impression générale de " sécheresse " au cours d'une grande partie de l'année.

L'année 2004 fut une année relativement chaude, comme c'est généralement le cas depuis la fin des années 1980. À l'exception d'un mois de janvier record au niveau des précipitations et d'un mois d'août très orageux, nous n'avons pas connu d'excès climatiques remarquables.

Durant le début de l'année 2004, les précipitations ont retrouvé une fréquence normale mais les quantités sont restées faibles. L'été a retrouvé une plus forte pluviométrie, malheureusement apportée le plus souvent sous forme d'orages.

L'année 2005 a été remarquable du fait d'un excès « très anormal » de la température moyenne annuelle, la douceur quasi continue tout au long de l'année est une caractéristique de 2005. On peut également noter une fréquence « anormalement » élevée des jours de forte chaleur (température maximale supérieure ou égale à 30°C). Pour leur part, les valeurs annuelles de l'ensoleillement, du total des précipitations et de leur fréquence sont « normales ». L'hiver 2004 et le printemps 2005 ont été doux, l'été sec et ensuite orageux; l'automne doux et l'hiver normal.

L'hiver 2004-2005 a été globalement doux et normalement pluvieux. Au niveau des températures, l'hiver a été marqué par une alternance de périodes « chaudes » et « froides ». Cet hiver a connu un bon ensoleillement, l'ensoleillement est qualifié d'« anormal ».

Globalement, le *printemps 2005* fut relativement doux. La saison fut caractérisée par un déficit « anormal » de l'insolation.

L'été 2005 fut caractérisé par un excès « très anormal » de la température. L'excès des températures fut particulièrement marqué durant le mois de juin. Les deux autres mois furent normaux du point de vue des températures. Un stress hydrique s'est fait sentir fin juin suite à une période de précipitations relativement peu abondantes. Le mois de juin fut globalement normal au point de vue des précipitations uniquement grâce aux pluies du 29 juin où le pays a connu des orages particulièrement violents, accompagnés d'importantes chutes de grêle.

Les pluies de l'été ont été très variables d'une région à l'autre du pays suite à quelques journées orageuses. Les orages du 29 juillet ont été à l'origine de pluies particulièrement

abondantes dans les régions bruxelloise et liégeoise. Les orages des 19 et 20 août, ainsi que ceux des 10 et 11 septembre, furent également à l'origine de pluies très abondantes.

L'automne 2005 fut « très exceptionnellement » doux. La première décennie de septembre a été particulièrement chaude. Après deux décennies plus normales, la douceur revint au cours du mois d'octobre.

L'hiver 2005-2006

Le mois de *décembre* fut caractérisé par des valeurs normales du total des précipitations, de la température moyenne et de la durée d'insolation. Les précipitations journalières les plus abondantes ont varié de 3 mm à plus de 30 mm. Dans le pays, les précipitations furent en tout ou en partie accompagnées de neige durant 16 jours. L'enneigement qui a commencé le mois précédent s'est maintenu jusqu'au 24. Un nouvel enneigement a débuté le 26 et s'est maintenu jusqu'au 31. La durée mensuelle d'ensoleillement fut inférieure à la normale.

L'année 2006 fut particulièrement remarquable par le nombre de records de température que l'on a battu. Le plus spectaculaire fut le record de l'automne : les paramètres statistiques de la série nous donnent une période de retour supérieure à 500 ans. L'insolation a connu des déficits remarquables en février et août et un excès important en juillet.

L'hiver 2005 - 2006

L'hiver 2006 a été plus frais. Du point de vue des précipitations, le mois de janvier a été marqué par un déficit important des quantités d'eau recueillie et de la fréquence des précipitations. Le mois de *février 2006*, dernier mois de l'hiver météorologique fut caractérisé par un déficit très exceptionnel de la durée d'insolation, un excès anormal du total des précipitations et par des valeurs normales de la température moyenne et une vitesse moyenne du vent. Les moyennes régionales des précipitations furent toutes supérieures à la normale. Les cotes journalières les plus abondantes ont varié de 10 à 38 mm. La fréquence des précipitations a été normale. Depuis le début des observations à Uccle en 1887, ce mois de février a connu l'insolation la plus déficitaire.

Le printemps 2006

Le mois de *mars 2006*, premier mois du printemps météorologique fut caractérisé par des valeurs normales du total des précipitations, des températures, de la vitesse moyenne du vent et de la durée d'insolation. Les moyennes régionales des précipitations furent presque toutes supérieures aux normales et la fréquence des précipitations fut normale. Les précipitations dans le pays furent de neige, en tout ou en partie, 14 jours. L'enneigement du sol s'est prolongé jusqu'au 19 mars. Malgré un très bon dégagement du ciel, la durée d'ensoleillement a été légèrement inférieure à la normale.

La prédominance de courants maritimes au cours du mois *d'avril 2006* est à l'origine d'un excès des températures dans le pays. Les moyennes régionales des précipitations furent inférieures aux valeurs normales. Les précipitations journalières les plus abondantes ont varié de 5 mm à 32 mm et se sont produites à diverses dates. Les précipitations dans le pays ont été accompagnées de phénomènes orageux 20 jours (norm. : 6,6 jours). Les précipitations dans le pays furent de neige, en tout ou en partie, 10 jours. Suite à un ensoleillement médiocre au cours de la deuxième décennie, l'insolation mensuelle fut légèrement inférieure à la normale.

Le mois de *mai 2006* a été principalement marqué par une seconde quinzaine de pluviosité anormalement élevée. La répartition en fréquence des pluies est restée quant à elle normale.

L'insolation a également été anormalement faible, conséquence de l'épaisse couverture nuageuse sur tout le pays.

L'été 2006 fut caractérisé par un excès « exceptionnel » de la température. L'excès des températures fut particulièrement marqué durant le mois de juillet où entre le 10 et le 30 on a connu une vague de chaleur (minimum cinq jours consécutifs avec des maxima supérieurs à 25°C dont 3 avec des maxima supérieurs à 30°C). Une autre vague de chaleur, moins longue, s'est produite du 9 au 13 juin. Le mois de juin a également été très anormalement chaud, ce qui explique l'excès exceptionnel de la température de cette saison malgré un mois d'août normal du point de vue de ce paramètre. Les précipitations, bien qu'anormalement peu fréquentes, ont été légèrement supérieures à la normale. C'est le mois d'août qui a enregistré la plus grande partie de ces précipitations, avec 202,3 mm (norm. : 74,4 mm). Du point de vue insolation, après avoir connu un mois de juillet particulièrement ensoleillé, on a eu un record de déficit d'insolation au mois d'août. Notons encore le contraste remarquable que l'on a eu entre le mois de juillet et le mois d'août. On a observé une « perte » de 6,7°C entre les deux mois, une « perte » de 214 h de Soleil et une « augmentation » de 154 mm de pluie.

L'automne 2006 fut très exceptionnellement doux. À partir des paramètres statistiques de la série des températures moyennes à Bruxelles-Uccle, un tel événement se produit plus rarement qu'une fois tous les 500 ans. La température moyenne de cet automne a été particulièrement élevée avec 13,9°C. L'excès par rapport au record précédent, qui date de l'année 2005, est particulièrement impressionnant : +1,6°C d'écart. Le déficit exceptionnel des précipitations de septembre (9,2 mm contre une normale de 69,8 mm) est à l'origine d'un déficit global des précipitations de cette saison : 137,1 mm pour une normale de 208,9 mm.

En conclusion, c'est à nouveau la douceur qui est la caractéristique essentielle de cette année culturale 2006. Elle collectionne un nombre impressionnant de record ou de sous-record parmi les températures, l'insolation et les précipitations. Le record de l'automne est particulièrement remarquable. Cette année sort vraiment de la norme.

Le mois de janvier 2007 fut caractérisé par un excès très exceptionnel de la température moyenne, un déficit anormal de la durée de l'insolation et par une valeur normale du total des précipitations et de la vitesse moyenne du vent. La prédominance de courants maritimes au cours des deux premières décades explique l'important excès des températures moyennes mensuelles par rapport aux valeurs normales. Les moyennes régionales des précipitations ont toutes été supérieures aux normales.

Le dernier mois de *l'hiver* météorologique en *février 2007*, fut caractérisé par un excès très anormal du total des précipitations, un déficit anormal de la durée d'insolation et de la température moyenne et par une valeur normale de la vitesse moyenne du vent. Dans le pays, la prédominance de courants maritimes fut à l'origine d'un excès des températures. Les moyennes régionales des précipitations furent toutes supérieures à la normale. Dû à un mauvais ensoleillement tout le mois et surtout lors de la dernière décade, la durée d'insolation mensuelle fut inférieure à la normale.

Printemps 2007

Le premier mois du printemps météorologique, *mars 2007*, fut caractérisé par un excès très anormal de la température moyenne et des valeurs normales du total des précipitations, de la vitesse moyenne du vent et de la durée d'insolation. Les courants maritimes et continentaux

sont à l'origine d'un excès relativement marqué des températures. Les moyennes régionales des précipitations sont presque toutes supérieures aux normales. Grâce un très bon dégagement du ciel au cours de la deuxième décade, la durée d'ensoleillement a été supérieur à la normale.

Avril 2007 fut caractérisé par des valeurs très exceptionnelles de la vitesse moyenne du vent, du total des précipitations, de la température moyenne et de la durée d'insolation. La prédominance de courants continentaux au cours du mois est à l'origine d'un très large excès des températures dans le pays. Les moyennes régionales des précipitations furent toutes inférieures aux valeurs normales. Deux records (sous forme de déficits mensuels) ont ainsi été battus pour la longue série pluviométrique de Bruxelles-Uccle qui débuta en 1833 : celui de la quantité d'eau mesurée sur le mois (0 mm) et celui du nombre de jours avec précipitations (0 jour).

En résumé, ces différentes mesures des paramètres climatologiques de base montrent une tendance globale à des températures allant vers les extrêmes (été chaud et hiver froid) et des précipitations globales déficitaires. Le relevé mensuel de la fréquence et de la quantité des précipitations masque malheureusement souvent des successions d'épisodes extrêmes, dont la moyenne révèle des valeurs pourtant normales.

Au niveau des lysimètres pour la saison de drainage 2006-2007

Le mois d'août pluvieux a fait suite a un été plutôt sec. La percolation s'est produite sporadiquement dans certains lysimètres. L'automne a ensuite été anormalement sec. Il a fallu attendre l'hiver pour observer une pluviométrie qui corresponde aux normales saisonnières. La percolation observée est corrélée à ces observations climatiques, puisque dans l'ensemble, les lysimètres ont commencé à percoler au début de l'année 2007.

La période écoulée depuis l'implantation permet de poursuivre l'hypothèse que le sol, retourné par l'ouverture des fosses autour des lysimètres lors de l'installation, n'a pas encore retrouvé son état initial. Les fosses ainsi que tranchées d'évacuation continuent à se comporter comme des tranchées et fossés drainant, permettant à l'eau une évacuation préférentielle au détriment d'une percolation dans les lysimètres.

Le tableau 1 et la figure 4 livrent les données climatologiques de température, précipitation, évapotranspiration et insolation pour la période de percolation des lysimètres (données de la station IRM de Uccle et Ernage, respectivement).

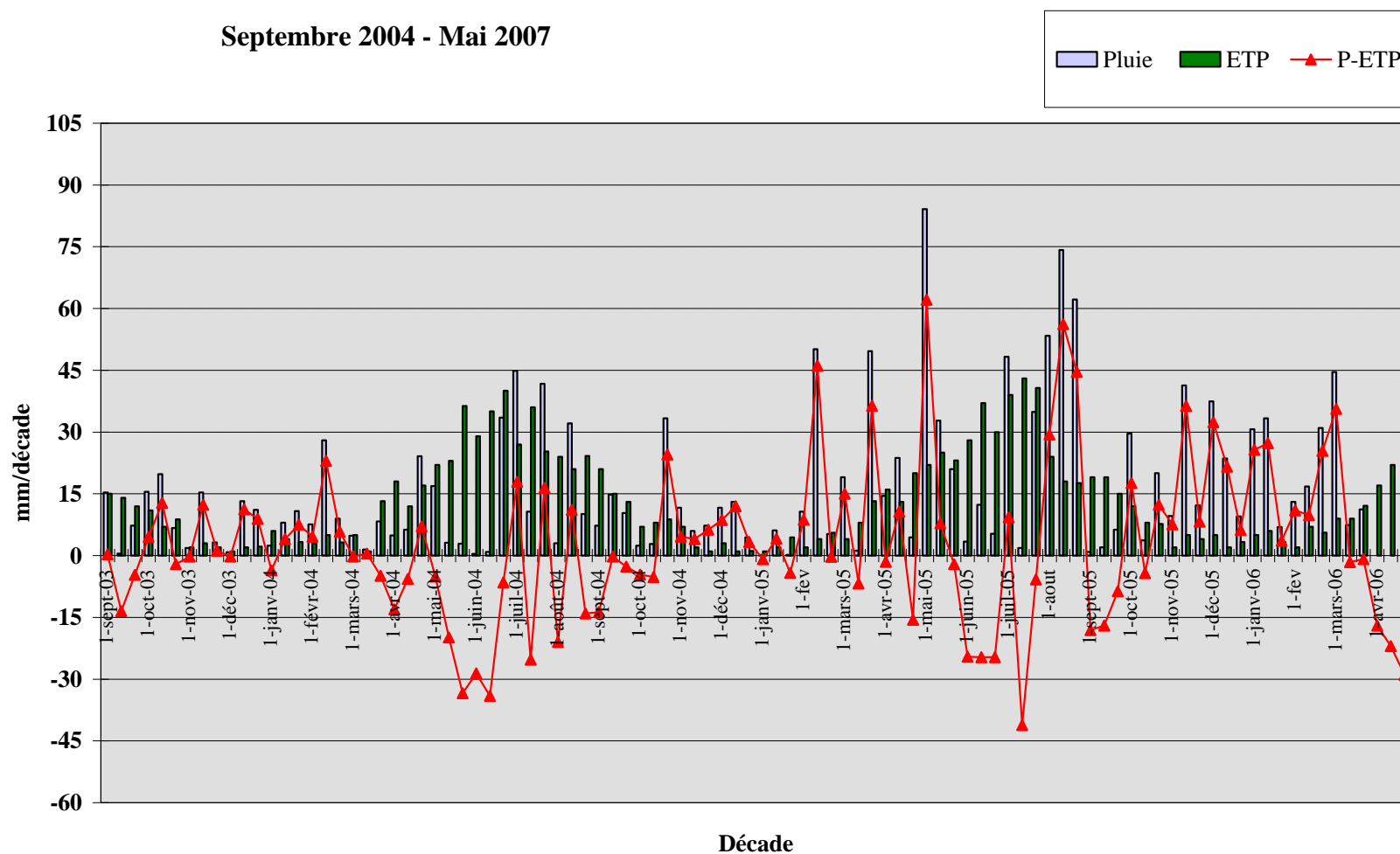
Tableau 1 : Données climatologiques de la station IRM de Uccle

	Température (°C)	Précipitations (l/m ²)	Jours de précipitations	Insolation (heures)
Eté 2003				
JUIN 2003	19.3	34.4	8	258
JUILLET 2003	19.5	72.7	13	235
AOÛT 2003	20.4	44.4	8	244
Eté 2003	19.7	151.5	29	737
Caractéristiques Normales	16.5	216.1	48	585
Automne 2003				
SEPTEMBRE 2003	15.3	31.0	12	208
OCTOBRE 2003	7.9	64.2	15	127
NOVEMBRE 2003	8.3	65.4	18	63
Automne 2003	10.5	160.6	45	398
Caractéristiques Normales	10.4	208.	50	325
Hiver 2003-2004				
DECEMBRE 2003	4.5	64.5	17	67
JANVIER 2004	3.2	153.8	24	33
FEVRIER 2004	5.0	48.8	14	56
Hiver 2004	4.2	267.1	55	156
Caractéristiques Normales	3.1	186.8	55	168
Printemps 2004				
MARS 2004	6.6	25.0	15	137
AVRIL 2004	11.1	37.2	15	143
MAI 2004	12.8	40.8	11	216
Printemps 2004	10.2	103.0	41	496
Caractéristiques Normales	9.1	168.3	50	477
Eté 2004				
JUIN 2004	16.3	78.4	18	200
JUILLET 2004	17.4	112.4	18	205
AOÛT 2004	18.9	122.7	21	159
Eté 2004	17.5	313.5	57	564
Caractéristiques Normales	16.5	216.1	48	585
Automne 2004				
SEPTEMBRE 2004	15.8	82.9	13	173
OCTOBRE 2004	11.7	67.6	15	102
NOVEMBRE 2004	6.4	78.4	17	60
Automne 2004	11.3	228.9	45	335
Caractéristiques Normales	10.4	208.9	50	325
Hiver 2004-2005				
DECEMBRE 2004	2.9	65.7	17	51
JANVIER 2005	4.7	44.9	22	75
FEVRIER 2005	2.4	80.9	19	70

	Température (°C)	Précipitations (l/m ²)	Jours de précipitations	Insolation (heures)
Hiver 2004-2005	3.3	191.5	58	197
Caractéristiques Normales	n 3.1	n 186.8	n 55	a 168
Printemps 2005				
MARS 2005	7.2	38.8	17	83
AVRIL 2005	10.7	46.1	17	120
MAI 2005	13.4	60	19	190
Printemps 2005	10.4	144.9	53	393
Caractéristiques Normales	ta 9.1	n 168.3	n 50	a 477
Été 2005				
JUIN 2005	18.3	53.9	11	247
JUILLET 2005	18.4	123.5	16	175
AOÛT 2005	16.8	69.5	15	185
Été 2005	17.8	246.9	42	607
Caractéristiques Normales	ta 16.5	ta 126.1	n 48	n 585
Automne 2005				
SEPTEMBRE 2005	16.6	74.2	11	190
OCTOBRE 2005	14.1	47.0	13	140
NOVEMBRE 2005	6.1	60.9	18	60
Automne 2005	12.3	182.1	42	390
Caractéristiques Normales	te 10.4	n 208.9	a 50	a 325
Hiver 2005-2006				
DECEMBRE 2005	3.5	51.7	22	27
JANVIER 2006	1.7	18.7	9	97
FEVRIER 2006	2.3	83.1	19	30
Hiver 2005-2006	2.5	153.5	50	154
Caractéristiques Normales	n 3.1	n 186.8	n 55	n 168
Printemps 2006				
MARS 2006	4.5	65.3	16	114
AVRIL 2006	9.3	46	16	141
MAI 2006	14.2	115.6	20	136
Printemps 2006	9.3	226.9	52	391
Caractéristiques Normales	n 9.1	a 168.3	n 50	a 477
Été 2006				
JUIN 2006	17.3	25.8	7	246
JUILLET 2006	23.0	48.1	8	309
AOÛT 2006	16.3	202.3	22	94
Été 2006	18,9	276,2	37	649
Caractéristiques Normales	e 16,5	n 216,1	a 48	n 585
Automne 2006				
SEPTEMBRE 2006	18,4	9,2	8	160
OCTOBRE 2006	14,2	56,3	17	108

	Température (°C)	Précipitations (l/m ²)	Jours de précipitations	Insolation (heures)
NOVEMBRE 2006	9,1	71.6	20	79
Automne 2006	13,9	137,1	45	347
Caractéristiques Normales	10,4	208,9	50	325
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 Normales	3,1	186,8	55	168
Printemps 2007				
MARS 2007	8,8	61,9	20	144
AVRIL 2007	14,3	0	0	284
MAI 2007				

Figure 4: Pluie (P), Evapotranspiration (ETP) et déficit hydrique (P-ETP) par décade, de septembre 2003 à mai 2007 (station IRM de Ernage)



3.2 Résultats par parcelles

3.2.1 Sole 4

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

La position exacte du lysimètre est prise au GPS. Le lysimètre est de type remanié, installé en date du 8 août 2003, à la suite d'une culture de céréales. Une culture d'avoine est rapidement semée en couverture hivernale. Une culture de haricot est installée en avril 2004. Un froment d'hiver est semé à l'automne 2004. Un engrais vert est semé à l'automne 2005. Une fève des marais est semée pour la saison culturale 2006, suivie d'une culture d'épinard. Un froment d'hiver est semé à l'automne 2006.

Le lysimètre a débité de l'eau de percolation au début du mois de février 2004, la percolation s'est interrompue durant les mois juin et juillet, pour reprendre dès le mois d'août 2004. La deuxième période de percolation s'est poursuivie jusqu'au mois d'avril 2005. La troisième saison de percolation a débuté aux mois de juillet et août 2005, a connu une augmentation en septembre pour se tarir ensuite. La quatrième saison de percolation a repris fin octobre 2006, pour se terminer mi-avril 2007.

3.2.1.1 Calendrier cultural

2002 Betterave sucrière

Apports azotés :	organiques :	2,5t / 4 ha de déchet de laine (8.9 kg N/t)
		3 t /9 ha de fumier de poule (23 kg N/t)
		300 t/13,25 ha de fertigeer (1,91kg N/t)
26 mars 2002	minéral	90 Unités d'azote

2003 Froment

Août 2003 :	Récolte
Rendement obtenu :	10.2 t/ha
8 août 2003 :	Apport azoté N-org 28t/ha de compost de déchets verts (7.2 kg N / ha),
	Travail du sol, déchaumage
Octobre 2003 :	Semis d'une culture CIPAN (avoine)

2004 Haricots

	Travail du sol, sans labour et semis
28 mai 2004 :	Apport azoté N-min 58 UN
2 juin 2004 :	Semis
10 août 2004 :	Récolte
Rendement obtenu :	19.5 T/ha
20 août 2004 :	Déchaumage
	Travail du sol sans labour
23 octobre 2004	Semis d'un froment d'hiver

2005 Froment

14 Avril 2005	Apport azoté N-min 65 UN 4
7 mai 2005	Apport azoté N-min 78 UN
Août 2005	Récolte
	Travail du sol, déchaumage, décompactage
Octobre 2005	Semis d'un engrais vert (phacélie)

2006 Fève des Marais / Epinards

10 avril 2006 Vibroculteur ; Combiné Poussiculteur-Rotative-crosskylette
 11 avril 2006 Semis avec un combiné rotative-semoir en ligne
 Apport azoté N-min 58 UN
 14 juillet 2006 Récolte
 Rendement obtenu : 7,66 T/ha
 17 juillet 2006 Labour, combiné poussicultuer-rotative-crosskylette
 19 juillet 2006 Semis des épinards avec un combiné rotative-semoir en ligne
 Apport azoté N-min 80 UN
 10 juin Irrigation : 22 l
 17 juin Irrigation : 22 l
 22 juin Irrigation : 22 l
 30 juin Irrigation : 26 l
 8 juillet Irrigation : 22 l
 20 juillet Irrigation : 14 l
 28 juillet Irrigation : 13 l
 17 septembre Irrigation : 20 l
 21 septembre Récolte
 Rendement obtenu : 17,33 T/ha
 Fin octobre 2006 déchaumage avec extirpateur ; décompactage
 Fin octobre 2006 semis du froment avec un combiné rotative – semoir pneumatique

2007 Froment

3.2.1.2 Profil de concentration en azote nitrique du sol en KgN-NO3/ha (source GRENeRA et CMH)

Tableau 2 : Parcelle sole 4, profils de concentration an azote nitrique du sol

	Horizons	0 – 30	30 – 60	60 – 90	0 – 90
	Mois	cm	cm	cm	cm
2002 Betteraves	Décembre	19	15	12	46
2003 Froment Avoine	8 août	41	16	4	61
	13 oct.	8	11	3	22
	6 nov.	14	41	10	65
	4 déc.	15	27	11	53
2004 haricots	11 mai	36	23	15	74
	1 oct.	77	37	23	137
	4 nov.	63	29	24	116
	3 déc.	46	17	37	100

2005 Froment	Août	24	10	3	37
	Octobre	40	20	4	64
	Novembre	10	11	4	25
	décembre	11	10	2	23
2006 Fèves	14 mars	15	8	4	27
	7 août	210 (0-40 cm)			
Epinards	Novembre	49	17	7	73

Le tableau présente les valeurs pour l'azote nitrique, en kg/ha. La culture de betteraves en 2002 laisse un profil de sol pauvre en reliquats azotés. Le profil post-récolte du froment en 2003 montre une minéralisation de l'humus dans l'horizon de surface. La Culture Intercalaire Piège à Nitrate (CIPAN) installée ensuite permet une bonne récupération des reliquats azotés. Étonnamment, les profils de novembre et décembre 2003 présentent à nouveau des quantités supérieures au mois d'octobre. Une migration vers le bas du profil se marque entre le mois d'août et de novembre. La culture de haricots en 2004 laisse des reliquats azotés totaux plus importants. La diminution observée durant les mois d'automne est à mettre en relation avec la migration vers les couches inférieures. Une partie de l'azote nitrique entraîné par l'eau, quitte le profil (0-90 cm) vers les couches plus profondes (Destain JP, 2005. Communication personnelle). La culture de froment en 2005 laisse un profil de sol pauvre en reliquats azotés. La douceur de l'automne induit une minéralisation de l'humus en surface pour les prélèvements du mois d'octobre 2005. Le profil azoté mesuré au printemps 2006 pour conseil de fumure avant l'implantation de la culture de fèves montre un profil faiblement pourvu en résidus azotés, suite à la culture de froment. La mesure prise sur l'horizon (0-40 cm) révèle un horizon bien pourvu en azote. Rappelons que la culture d'épinards est en place, a été fertilisée et est sous irrigation. Le profil du mois de novembre présente des valeurs acceptables. L'horizon de surface présente des résidus azotés plus importants, à remettre dans le contexte de l'automne très doux, qui a maintenu les conditions pour la minéralisation en surface.

3.2.1.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 3 : Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			(mg NO ₃ -l)	(mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Sept. 2003	31	0	-	-	-
Octobre	64	0	-	-	-
Novembre	65	0	-	-	-
Décembre	65	0	-	-	-
Janv. 2004	154	0	-	-	-
Février	49	35.6	65	2322	5
Mars	25	19.2	47	908	2
Avril	37	5.8	46	269	1
Mai	48	1.0	75	75	0
DRAINAGE I	538	61.6	58	3574	8
Juin	61	0.4	50	20	0
Juillet	132	0	-	-	-
Août	147	25.0	58	1450	3
Septembre	83	20.9	66	1388	3
Octobre	68	4.2	43	182	1
Novembre	78	15.2	60	915	2
Décembre	66	18.8	61	1153	3
Janv. 2005	45	29.0	49	1434	3
Février	81	69.3	57	3971	9
Mars	14	20.1	58	1173	3
Avril	35	0.3	80	24	0
DRAINAGE II	617	202.8	58	11720	27
Mai	110	0	-	-	-
Juin	25	0	-	-	-
Juillet	117	1.0	59	59	0
Août	51	0.1	-	-	-
Septembre	36	3.0	57	171	1
Octobre	42	0	-	-	-
Novembre	39	0	-	-	-
Décembre	31	0	-	-	-
Janv. 2006	18	0	-	-	-
Février	44	0	-	-	-
Mars	53	0	-	-	-
Avril	30	0	-	-	-
Mai		0	-	-	-
DRAINAGE III	596	4.1	56	230	1
Juin	21	0			
Juillet	85	0			
Août	190	0,2	100	22	0
Septembre	9	0	-	-	0
Octobre	53	0,5	36	18	0
Novembre	63	0,4	102	41	0
Décembre	71	25	31	773	2
Janv. 2007	71	20	42	841	2
Février	61	44	41	1783	4
Mars	63	31	67	2068	4
Avril	0	4	93	372	1
DRAINAGE IV	676	124	48	5891	13

Pour la troisième saison d'observation, la pluviométrie est donnée par le relevé de la station de Waremme de « MétéoBelgique », réseau de surveillance utilisé et recommandé par le département de Phytotechnie de Gembloux. Après consultation des données des stations IRM de Uccle, de Ernage et de ce réseau, en comparaison aux valeurs mesurées dans les pluviomètres placés sur les sites lysimétriques, ce réseau est apparu fiable. Les valeurs mentionnées sont très proches ou identiques, quoique systématiquement plus élevée que les pluviomètres installés dans les champs. Le vandalisme auquel sont soumis les pluviomètres de plein champ a été mis en évidence lors des recherches précédentes. Cette station est dorénavant utilisée, en vérifiant préalablement la correspondance avec les valeurs mesurées sur les sites mêmes.

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 les mesures de laboratoire du BEAGx et/ou Epuvaleur. La moyenne mensuelle est calculée par le passage en flux (quantité mensuelle par le volume récolté mensuel). Les quantités de nitrate sont le cumul mensuel des concentrations analysées par les volumes récoltés. La conversion en unités d'azote nitrique à l'hectare se fait par multiplication du facteur 0.2259 (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.

L'observation de ces mesures montre pour la troisième saison de drainage que l'excès de pluviométrie du mois de mai, sur la culture de froment d'hiver s'est traduite par une récolte en eau de percolation deux mois plus tard, soit au mois de juillet, faiblement chargée en azote nitrique. La percolation s'est quasi tarie au mois d'août, reflet de la faible pluviosité du mois de juin. Au mois de juillet, la pluviométrie a nouveau plus abondante que le besoin en eau de la culture, qui bien installée réduit fortement le ruissellement. La pluie dépassant l'évapotranspiration à amené une récolte en eau de percolation au mois de septembre. Par la suite, la pluviométrie normale associée à l'automne doux avec des températures élevées, l'installation d'un engrais vert et un hiver froid et sec, n'ont plus permis d'atteindre un dépassement de la teneur en humidité du sol suffisante que pour induire de la percolation, tel que l'a démontré l'installation d'une sonde TDR sur cette terre de culture.

La quatrième période de drainage amorcée en août 2006 n'a réellement démarré qu'au début de l'année 2007. La teneur moyenne en ions nitrate dans l'eau de percolation respecte les normes de qualité d'eau pour l'ensemble de la période, avec des dépassements en début et fin de période de drainage.

3.2.2 Grosse Pierre Chemin de fer

La parcelle est localisée sur la planchette 120W de la carte des sols de Belgique. La position exacte est prise au GPS.

Le lysimètre de type remanié a été installé le 4 juillet 2003, durant l'inter culture d'une succession de fèves des marais et choux frisés. Le sol est resté en sol nu durant l'hiver et a été semé ensuite des cultures d'épinards suivis de haricots. Un engrais vert (moutarde) a été enfouit fin de l'année 2004. Une culture de chicorée est installée au printemps 2005. Une céréale est semée au printemps 2006. Une culture de carottes est prévue pour la saison culturale 2007.

Aucune eau de percolation n'a été récoltée durant l'hiver 2004 qui a suivi l'installation. Les premières eaux de percolation ont été récoltées, mi-septembre 2004 jusqu'au mois d'avril 2005. La troisième saison de drainage a été marquée par des phases d'interruption suivies d'épisodes de récolte. Elle a repris, sans réelle interruption avec la seconde saison, dès le mois de mai 2005 jusqu'au mois d'août 2005. Aucune eau n'a été récoltée de septembre 2005 à février 2006, avec une exception et une faible récolte en décembre. La percolation a repris en mars et avril 2006, pour se tarir au mois de mai. La quatrième saison de drainage a démarré fin janvier pour s'achever mi-avril 2007.

3.2.2.1 *Calendrier cultural*

2002 Betteraves sucrières

Apport azoté	N-organique	45t/ha de fumier de bovin
	N-minéral	140U N

Labour en novembre

2003 Fèves des Marais / Choux frisés

22 mars 2003 :	Apport azoté N-min 65 UN
26 mars 2003 :	Semis des fèves des marais
20 juin 2003 :	Irrigation avec eau de puits, 19 mm
26 juin 2003 :	Irrigation avec eau de puits, 20 mm
30 juin 2003 :	Récolte des fèves
Rendement obtenu :	8,445 t/ha
8 juillet 2003 :	labour/hersage
19 juillet 2003	Apport azoté N-min 105 UN
21 juillet 2003 :	Irrigation avec eau de puits, 20 mm
23 juillet 2003 :	Semis des choux frisés
14 août 2003 :	Irrigation avec eau de puits, 20 mm
26 août 2003 :	Apport azoté N-min 50 UN
10 novembre 2003 :	Récolte des choux frisés
Rendement obtenu :	30,443 t/ha
10 décembre 2003 :	labour d'hiver

2004 Epinards / Haricots

19 mars 2004 :	Apport azoté N-min 80 UN
30 mars 2003 :	Semis d'épinards
13 mai 2004 :	Apport azoté N-min 88 UN
18 mai 2004 :	Irrigation avec eau de puits, 15 mm

26 mai 2004 : Irrigation avec eau de puits, 15 mm
 28 mai 2004 : Récolte d'épinards
 Rendement obtenu : 16,7 t/ha
 28 mai 2004 : déchaumage
 5 juin 2004 : Hersage (rotative)
 8 juin 2004 : Semis de haricots
 5 août 2004 : Irrigation avec eau de puits, 15 mm
 11 août 2004 : Récolte
 Rendement obtenu : 12 872 kg/ha
 14 septembre 2004 / Semis d'une culture CIPAN de moutarde,
 10 décembre 2004 : enfouissement / Labour d'hiver

2005 Chicorée

11 avril 2005 Apport azoté N-min 46 UN
 Travaux de sol : smaragd et rotative
 14 avril 2005 Semis des chicorées
 21 novembre 2005 Récolte des chicorées
 30 novembre 2005 Labour, rotative et Semis du froment

2006 Froment

14 avril 2006 Apport azoté N-min 11 UN
 2 juin 2006 Apport azoté N-min 12 UN
 5 septembre 2006 Récolte
 Rendement obtenu : 9,13 T/ha
 5 octobre 2006 Apport azoté N-organique (compost) 625 UN
 6 octobre 2006 Déchaumage (double smaragd)

2007 Carottes

3.2.2.2 Profil de concentration en azote nitrique du sol en KgN-NO3/ha (source GRENeRA)

Tableau 4: Parcelle chemin de fer, profil de concentration en azote nitrique du sol.

	Horizons	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 90 cm
	Mois	Kg N-NO3/ha			
2002 betterave	12 nov.	12	8	6	26
	4 déc.	12	12	7	31
2003 Fève/chx	18 mars	25	21	17	63
	17 juillet	60	28	14	102
	5 nov.	21	32	14	67
	3 déc.	32	50	28	110
2004 Ép.-Har (CIPAN)	15 mars	19	16	19	54
	2 oct.	71	36	32	139
	4 nov.	34	25	26	85

	3 déc.	59	15	19	93
2005 Chicorées	Déc.	16	11	25	52
2006 Froment	13 Oct.	132	33	20	185
	7 Nov.	136	48	40	224
	13 Déc.	88	123	50	261
2007	1 mars	16	29	20	65

La culture de betterave en 2002 laisse, sans surprise, un sol bien nettoyé pour ce qui est des résidus azotés. L'horizon de surface en post-récolte des fèves des marais en 2003 témoigne d'une minéralisation de surface, normale pour la saison. La culture de choux frisés a bien exploité les apports azotés, malgré un enrichissement de l'horizon intermédiaire, reflet d'une migration vers le bas du profil. La température du sol élevée à l'automne 2003 peut expliquer une re-minéralisation suite au labour, mais ne justifie pas la remontée observée entre les mois de novembre et décembre.

L'automne 2004 indique un reliquat azoté important, peut-être provoqué par un apport de 80 UN sur haricot après épinard. L'effet de la culture CIPAN se marque entre les mois d'octobre et novembre, mais ne suffit pas ramener le profil à des valeurs en reliquats azotés acceptables et durables pour l'environnement (Destain JP, 2005. Communication personnelle). La valeur de 59 dans la première couche de sol est élevée et inexplicée : le CIPAN est toujours en place, les couches sous-jacentes s'appauvrissent. La capacité d'une culture dérobée à jouer le rôle de piège à nitrate dépend fortement de ses possibilités à se développer sous des températures froides (Giraud cité par Muller, 1996). La culture de chicorées en 2005 laisse un profil de reliquat azoté dans le sol globalement acceptable, malgré une concentration plus importante au niveau de l'horizon de profondeur, sans doute causé par un apport d'azote important au printemps pour cette culture. Le profil azoté important constaté à l'automne témoigne d'un problème de compost épandu à l'automne, avec une migration progressive vers les horizons de profondeur. Le profil dressé pour le conseil de fumure avant l'installation de carottes semble indiquer qu'une lixiviation importante a eu lieu pendant la période hivernale.

3.2.2.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 5 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			(mg NO3-/l)	(mg)	Kg N-NO3/ha
Sept. 2003	31	0	-	-	-
Octobre	64	0	-	-	-
Novembre	65	0	-	-	-
Décembre	65	0	-	-	-
Janv. 2004	154	0	-	-	-
Février	49	0	-	-	-
Mars	25	0	-	-	-
Avril	37	0	-	-	-
Mai	48	0	-	-	-
DRAINAGE I	538	-	-	-	-
Juin	61	0	-	-	-
Juillet	132	0	-	-	-
Août	147	0	-	-	-
Septembre	83	2.9	76	217	1
Octobre	68	6.2	48	297	1
Novembre	78	18.1	54	599	1
Décembre	66	12.6	68	862	2
Janv. 2005	45	24.8	55	1366	3
Février	81	66.6	77	5109	12
Mars	14	8.9	92	823	2
Avril	35	1.5	111	166	0
Mai	110	3.8	114	432	1
DRAINAGE II	617	145.4	68	9878	22
Mai	110	3.8	114	435	1
Juin	25	3.2	116	370	1
Juillet	117	1.6	96	154	0
Août	51	7	-	-	-
Septembre	36	0	0	0	0
Octobre	42	0	0	0	0
Novembre	39	0	0	0	0
Décembre	31	0.3	120	36	0
Janv. 2006	18	0	0	0	0
Février	44	0	0	0	0
Mars	53	15.5	90	1394	3
Avril	30	13.9	86	1190	3
Mai		0.2	95	19	0
DRAINAGE III	596	45.3	79	3598	8
Juin	21	0	-	-	-
Juillet	85	0	-	-	-
Août	190	0	-	-	-
Septembre	9	0	-	-	-
Octobre	53	0	-	-	-
Novembre	63	0	-	-	-
Décembre	71	0	-	-	-
Janv. 2007	71	14	83	1168	3
Février	61	30	58	1725	4
Mars	63	34	71	2397	5

Avril	0	0,2	70	14	0
DRAINAGE IV	676	78	68	5304	12

L'observation de ces mesures montre que les volumes récoltés sur la seconde période de drainage correspondent à 30 % de la pluviométrie de cette période. La concentration moyenne d'ions nitrate percolés pour l'ensemble de la période est de 68 mg/l (quantité totale percolée par le volume total récolté), ce qui est supérieur à la norme de référence (50 mg NO₃⁻/l). Les quantités d'azote nitrique percolées, non récupérables par les cultures en surface, en phase de migration vers les réserves de profondeur sont non négligeables et du même ordre de grandeur que les reliquats azotés (mesures APL).

Pour la troisième saison de drainage (mai 2004-mai 2005), les mois d'été pluvieux associés au faible enracinement des cultures légumières qui n'assèchent pas le sol en profondeur ont permis la récolte d'eau de percolation jusqu'au mois d'août (où la mesure de la concentration en nitrate dans l'eau a été perdue). L'automne doux et l'installation de la culture CIPAN a interrompu la percolation, qui n'a repris qu'après la fonte des neiges survenues aux mois de décembre 2005 et janvier 2006. Durant le printemps 2006, la concentration moyenne d'ions nitrate percolés observée est largement supérieure à la norme de référence (50 mg NO₃⁻/l). La moyenne sur l'ensemble de la saison de drainage est de 79 mg NO₃⁻/l. La quatrième saison de drainage n'a duré que quatre mois, depuis janvier 2007 à avril 2007. La teneur en nitrate moyenne emportée par lixiviation est supérieure à la norme de qualité des eaux. Un fléchissement par rapport aux mesures de l'année précédente est observé.

3.2.3 Gros Thier Bovenistier

La parcelle est localisée sur la planchette 120W de la carte des sols de Belgique. La position exacte est relevée au GPS.

Le lysimètre de type non remanié a été le dernier installé, le 14 août 2003. Une culture de lin a rapidement été mise en place. Elle a été suivie d'une culture CIPAN (moutarde) et d'un labour d'hiver. La succession culturale de 2004 a été fèves des marais et choux frisés. Ces derniers ont été récoltés à l'automne 2004. Des carottes ont été cultivées en 2005 des pommes de terre pour la saison culturale 2006. Une betterave est prévue installée pour la saison culturale 2007.

Aucune eau de percolation n'a été récoltée jusqu'au mois de novembre 2004. Une remise à saturation par remontée capillaire a été réalisée. 200 litres d'eau claire ont été apportés par l'exutoire. Des eaux de percolation ont été récoltées dès la semaine suivante. Les échantillons sont analysés depuis janvier 2005. La percolation s'est poursuivie jusqu'au mois d'avril 2005. La troisième saison de drainage a repris au mois de mai 2005 mais n'a plus percolé aucune eau après le mois de juillet. L'installation de sondes TDR a montré que la capacité au champ n'était plus atteinte et expliquait qu'il n'y avait pas de surplus en eau qui puisse s'infiltrer. La quatrième saison de drainage a eu lieu de mi-décembre 2006 à mi-avril 2007.

3.2.3.1 *Calendrier cultural*

2001 **Froment**

2002 **Epinards d'hiver / Haricot**

Apports azotés N-min : 72 UN / 72 UN / 72 UN

2003 **Lin**

19 mars 2003 Semis du lin

début juillet 2003 Arrachage

Rendement estimatif de 6600 kg/ha

1 septembre 2003 Apport azoté, N-org Compost 40t/ha, 260 UN

septembre 2003 Culture CIPAN (moutarde)

28 novembre 2003 Labour d'hiver

2004 **Fèves des marais**

14 avril 2004 Apport azoté, N-min 30 UN

5 avril 2004 Semis

30 juin 2004 : Irrigation avec eau de puits, 15 mm

7 juillet 2004 Récolte

Rendement obtenu : 9.1 t/ha

2004 **Choux frisés**

25 juillet 2004 Apport azoté N-min 60 UN

29 juillet 2004 : Irrigation avec eau de puits, 15 mm

début août 2004 Semis

2 août 2004 : Irrigation avec eau de puits, 15 mm

8 septembre 2004 Apport azoté, N-min 80 UN

8-15 novembre 2004 Récolte
 Rendement obtenu : 24,64 T/ha
 Labour d'hiver

2005 Carottes

30 mars 2005 Apport azoté, N-min 50 UN
 16 juin 2005 : Irrigation avec eau de puits, 15 mm
 20 juillet 2005 : Irrigation avec eau de puits, 18 mm
 21 avril 2005 Semis
 31 octobre 2005 Récolte
 Rendement obtenu : 68,22 T/ha
 Novembre 2005 : Travaux de sol : labour, canadienne, vibroflex, rotative + fraise

2006 Pommes de terre

Fin avril 2006 2 passages d'extirpateur, passage combiné rotative devant –
 rotative derrière – planteuse
 2 mai 2006 Apport azoté, N-min 70 UN
 27 juin 2006 Irrigation : 15 mm
 1 juillet 2006 Irrigation : 15 mm
 15 juillet 2006 Irrigation : 15 mm
 21 juillet 2006 Irrigation : 15 mm
 28 juillet 2006 Irrigation : 15 mm
 17 octobre 2006 Récolte
 26 octobre 2006 Travail du sol : smaragd, décompactage

2007 Betteraves

3.2.3.2 Profil de concentration en azote nitrique du sol en KgN-NO3/ha (source GRENeRA)

Tableau 6 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, concentration en azote nitrique du sol.

	Horizons	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 90 cm
	Mois	Kg N-NO3/ha			
2002 épinard haricot	10 oct.	59	21	12	92
	12 nov.	18	15	12	45
	4 déc.	25	20	15	60
2003 lin	10 oct.	38	57	32	127
	5 nov.	15	21	22	58
	3 déc.	13	22	14	49
2004 Fève Choux	15 mars	18	27	32	77
	21 juillet	14	26	26	66
	3 déc.	25	32	29	86
2005	23 mars	30	35	36	101

Carottes	Novembre	5	23	16	44
	Décembre	26	13	4	43
2006 Pommes de terre	9 Oct.	56	36	43	135
	31 Oct.	65	36	21	122
	30 Nov.	31	42	15	88

La succession culture épinards/haricots de 2002 laisse des reliquats azotés dans le sol relativement faibles, compte tenu des cultures semées. Le lin cultivé en 2003 est suivi fort heureusement d'une culture CIPAN, qui diminue notablement les quantités d'azote dans le profil. La rotation suivant de fèves des marais et choux frisés gère relativement bien l'azote, à moins que la réduction du reliquat azoté soit due à des pertes par lessivage (Destain JP, 2005. Communication personnelle). La culture de carottes laisse un reliquat azoté dans le sol acceptable. L'enrichissement observé en surface au mois de décembre correspond probablement au retournement du sol par le labour d'hiver. L'appauvrissement de l'horizon de profondeur ne peut être imputé au lessivage, car aucune eau de percolation n'a été observée pour cette saison de drainage. La culture de pomme de terre laisse un reliquat azoté total dans le sol important. Les horizons de surface témoignent d'une minéralisation toujours possible en surface suite à la douceur des températures automnales.

3.2.3.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 7 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			(mg NO ₃ -/l)	(mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Sept. 2003	31	0	-	-	-
Octobre	64	0	-	-	-
Novembre	65	0	-	-	-
Décembre	65	0	-	-	-
Janv. 2004	154	0	-	-	-
Février	49	0	-	-	-
Mars	25	0	-	-	-
Avril	37	0	-	-	-
Mai	48	0	-	-	-
DRAINAGE I	538				
Juin	61	0	-	-	-
Juillet	132	0	-	-	-
Août	147	0	-	-	-
Septembre	83	0	-	-	-
Octobre	68				
Novembre	78				
Décembre	66	5,9	44	260	1
Janv. 2005	45	24,0	53	1283	3
Février	81	57,3	83	4739	11
Mars	14	6,6	91	602	1
Avril	35	1,0	86	86	0
DRAINAGE II	617	94,8	74	6970	16

Mai	110	0.1	-	-	-
Juin	25	0	-	-	-
Juillet	117	9.4	80	754	2
Août	51	0	-	-	-
Septembre	36	0	-	-	-
Octobre	42	0	-	-	-
Novembre	39	0	-	-	-
Décembre	31	0	-	-	-
Janv. 2006	18	0	-	-	-
Février	44	0	-	-	-
Mars	53	0	-	-	-
Avril	30	0	-	-	-
Mai	0	0	-	-	-
DRAINAGE III	596	9.5	80	754	2
Juin	21	0	-	-	-
Juillet	85	0	-	-	-
Août	190	0	-	-	-
Septembre	9	0	-	-	-
Octobre	53	0	-	-	-
Novembre	63	0	-	-	-
Décembre	71	5	71	353	1
Janv. 2007	71	25	72	1807	4
Février	61	41	83	3416	8
Mars	63	40	83	3316	7
Avril	0	1	97	97	0
DRAINAGE IV	676	111	81	8989	20

Au mois de novembre 2004, aucune eau de percolation n'avait encore été récoltée depuis l'installation de ce lysimètre. Afin d'amorcer la percolation, une mise à saturation par remontée capillaire a été réalisée. Un réservoir posé sur le bord de la chambre de visite a injecté de l'eau par l'exutoire. L'eau remonte dans le lysimètre par le bas, progressivement, par étapes lentes et successives, par remontée capillaire et sur base du principe des vases communicants. 200 litres d'eau ont été injectés de la sorte. Le lysimètre est entré en phase de percolation depuis le mois de décembre. La récolte des eaux de percolation s'est poursuivie jusqu'aux mois d'avril-mai 2005 actuellement. L'observation de ces mesures montre que les volumes récoltés sur cette période de drainage correspondent à 20 % de la pluviométrie de cette période. La concentration moyenne d'ions nitrate percolé pour l'ensemble de la période est supérieure à la norme de référence (50 mg NO₃⁻/l). Les quantités d'azote nitrique percolées, non récupérables par les cultures en surface, en phase de migration vers les réserves de profondeur sont non négligeables. Les valeurs élevées mesurées correspondent sans doute aux valeurs importantes observées dans le profil de sol à l'automne 2003.

Pour la troisième saison de drainage, une percolation n'a eu lieu que durant l'été, aucune eau de percolation n'a été récoltée ensuite. L'installation d'une sonde TDR afin de mesurer la teneur en humidité du sol, a montré que le stock hydrique du sol n'était pas suffisant que pour induire l'infiltration de l'eau dans le sol en profondeur.

La quatrième saison de drainage a commencé en décembre 2006 et s'est terminée en avril 2007. La concentration moyenne d'ion nitrate récoltée dans les eaux de percolation à 2 m de profondeur présente des valeurs élevées.

3.2.4 Grosse Pierre Petit Pont

La parcelle est localisée sur la planchette 120 W de la carte des sols de Belgique. La position exacte est relevée au GPS.

Le lysimètre de type remanié a été installé le 27 mai 2003, durant l'inter culture d'une succession d'épinards et haricots. Le sol est resté en sol nu durant l'hiver 2003-2004 et a été semé ensuite d'une culture de carottes. La terre a été labourée pour l'hiver 2004-2005. Des pommes de terre ont été cultivées en 2005 et des betteraves sont semées pour l'année culturale 2006. La double culture de fèves des marais et choux frisés est prévue pour la saison 2007.

Aucune eau de percolation n'a été récoltée durant le premier hiver 2003-2004 suivant l'installation. Les premières eaux de percolation ont été récoltées mi-septembre 2004. Elles se sont interrompues au mois de novembre. L'hypothèse est un tassement du sol à cet endroit suite aux passages des camions lors de la récolte des carottes. Une mise à saturation par remontée capillaire a également été réalisée au mois de novembre. 500 litres d'eau claire ont été apportés par l'exutoire. Une percolation a été observée depuis le mois de décembre et s'est maintenue jusqu'au mois de juillet 2005. Aucune eau n'a ensuite été récoltée durant l'automne et l'hivernage 2005-2006. La quatrième saison de drainage n'a pas récolté d'eau de percolation en 2006-2007.

3.2.4.1 *Calendrier cultural*

2000 Betteraves sucrières

2001 Chicorées

2002 Froment

15 août 2002

Semis épinard de printemps,

19 septembre 2002

Apport azoté, N-Min NPK 1331 kg/ha

2003 Epinards de printemps / Haricots

18 mars 2003

Apport azoté, N-min Azote liquide 99 UN (254 l/ha-39%)

5 mai 2003

Apport azoté, N-min Nitrate d'ammoniaque 107 UN

25 mai 2003

Récolte

Rendement obtenu : 19,43 T/ha

9 juillet 2003

Semis des haricots

14 juillet 2003 :

Irrigation avec eau de puits, 12 mm

10 août 2003 :

Irrigation avec eau de puits, 20 mm

22 août 2003 :

Irrigation avec eau de puits, 20 mm

11 septembre 2003 :

Irrigation avec eau de puits, 12 mm

16 septembre 2003

Récolte des haricots

Rendement obtenu : 16,224 T/ha

Octobre 2003

Déchaumage

Novembre 2003

Labour d'hiver

2004 Carottes

26 mars 2004

Apport azoté, N-min 65 UN

20 avril 2004

Semis

16 septembre 2004

Récolte

Rendement obtenu : 76.12 T/ha

3 décembre 2004 Labour d'hiver

2005 Pommes de terre

19 avril 2005 Apport azoté, N-min 60 UN
 22 avril 2006 Semis
 26 septembre 2006 Récolte
 Travaux de sol : labour d'hiver, déchaumage (deux fois), rotative (deux fois)

2006 Betteraves

22 mars 2006 Apport azoté, N-min 10 UN
 13 avril 2006 Travail de sol : canadienne, compactor
 14 avril 2006 Semis de Betteraves
 8 novembre 2006 Récolte

2007 Fèves des marais / Choux frisés

3.2.4.2 Profil de concentration en azote nitrique du sol en KgN-NO3/ha (source GRENeRA)

Tableau 8 : Parcelle Grosse Pierre Petit Pont, concentration en azote nitrique dans le sol.

	Horizons	0 – 30	30 – 60	60 – 90 cm	0 – 90
	Mois	cm	cm	cm	cm
		Kg N-NO3/ha			
2002 froment	22 août	17	13	5	35
	4 oct.	51	28	9	88
	12 nov.	18	30	24	72
	4 déc.	23	31	31	85
2003 épinard haricot	18 mars	20	20	24	64
	16 juin	183	59	87	329
	10 oct.	82	64	25	171
	5 nov.	78	55	23	156
	3 déc.	64	79	35	178
2004 carottes	15 mars	19	19	71	109
	2 oct.	12	7	19	38
	4 nov.	25	9	12	46
	3 déc.	15	18	10	43
2005 Pommes de terre	Octobre	63	12	16	91
	Novembre	63	27	17	107
	décembre	61	38	23	122
2006 Betteraves	30 Nov.	15	13	6	34
2007 fève	1 mars	15	66	82	163

La culture de céréales en 2002 laisse un profil de sol normal en reliquats azotés fin août 2002. Les valeurs ensuite montrent une migration vers les horizons inférieurs du profil entre les mois d'octobre et décembre 2002. La culture d'épinard laisse de grandes quantités de reliquat azoté dans le sol. Le conseil de fumure établi après les mesures de reliquat azoté du mois de mars a été de 180 UN, le cultivateur en a épandu 206 UN. L'horizon de surface du profil du mois de juin 2003 témoigne de la minéralisation importante suite à la récolte des épinards et au travail du sol qui a suivi, avec enfouissement des résidus de culture. Les épinards sont une culture exigeante en azote, qui demande un fractionnement rigoureux. La sécheresse sévère de l'été 2003, accentue encore cette mauvaise exploitation des dernières fractions azotées apportées et laisse des reliquats plus importants dans les horizons inférieurs. La culture de haricots qui a suivi, culture fixatrice d'azote, a partiellement exploité cet azote disponible dans le sol et fait baisser la quantité totale dans le profil, sans le récupérer dans les horizons inférieurs. Il est probable que ce soit cette « poche » de nitrate qui soit actuellement récupérée (février 2005) dans les eaux de percolation du lysimètre, induisant des teneurs en nitrate élevées. L'interculture laisse le sol nu, sans couverture hivernale. Le profil établi pour le conseil de fumure de la culture de carottes en 2004 montre la migration vers le bas du profil. Le conseil de fumure de 65 UN a été respecté. Le profil post-culture 2004 de carottes montre un profil lessivé, d'une part par les pertes par migration au cours de l'hiver 2003-2004 et d'autre part par exportation lors de la récolte des carottes (Destain JP, 2005. Communication personnelle). La culture de pomme de terre laisse un profil en reliquat azoté, principalement pourvu dans les horizons de surface, avec une descente vers le bas du profil entre les mois d'octobre et décembre. La culture de betteraves ne laisse pas de reliquats azotés dans le sol après culture. Le prélèvement réalisé au printemps 2007 pour le conseil de fumure avant établissement de la culture de fèves des marais est étonnement élevé.

3.2.4.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 9 : Parcelle Grosse Pierre Petit Pont, observations mensuelles des volumes et concentration en nitrate.

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			(mg NO ₃ -/l)	(mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Sept. 2003	31	0	-	-	-
Octobre	64	0	-	-	-
Novembre	65	0	-	-	-
Décembre	65	0	-	-	-
Janv. 2004	154	0	-	-	-
Février	49	0	-	-	-
Mars	25	0	-	-	-
Avril	37	0	-	-	-
Mai	48	0	-	-	-
DRAINAGE I	538	0	-	-	-
Juin	61	0	-	-	-
Juillet	132	0	-	-	-
Août	147	0	-	-	-
Septembre	83	0	-	-	-
Octobre	68	0.1	-	-	-

Novembre	78	0	-	-	-
Décembre	66	0.5	86	43	0
Janv. 2005	45	0.2	160	32	0
Février	81	42.5	245	10423	24
Mars	14	0.2	355	71	0
Avril	35	0.8	364	291	1
Mai		1.9	415	789	2
DRAINAGE II	617	46.1	253	11649	26
Mai	110	1.9	415	789	2
Juin	25	0.7	396	277	0
Juillet	117	0.9	14	13	0
Août	51	0	-	-	-
Septembre	36	0	-	-	-
Octobre	42	0	-	-	-
Novembre	39	0	-	-	-
Décembre	31	0	-	-	-
Janv. 2006	18	0	-	-	-
Février	44	0	-	-	-
Mars	53	0	-	-	-
Avril	30	0	-	-	-
Mai		0	-	-	-
DRAINAGE III	596	3.5	308	1079	2
Juin	21	0	-	-	-
Juillet	85	0	-	-	-
Août	190	0	-	-	-
Septembre	9	0,1	329	36	0
Octobre	53	0	-	-	-
Novembre	63	0	-	-	-
Décembre	71	0	-	-	-
Janv. 2007	71	0	-	-	-
Février	61	0	-	-	-
Mars	63				
Avril	0				
DRAINAGE IV	676	0,1	329	36	0

L'observation de ces mesures montre que les volumes récoltés sur la seconde période de drainage correspondent à 10 % de la pluviométrie de cette période. La concentration moyenne d'ions nitrate percolé pour l'ensemble de la période est nettement supérieur à la norme de référence (50 mg NO₃⁻/l).

Le drainage a fortement diminué au mois d'avril sans pour autant s'interrompre avec la reprise de la saison suivante. La troisième saison de drainage a démarré tôt pour se clôturer tout aussi tôt. La fin de l'été, marqué par quelques orages a induit un intense ruissellement et accumulation d'eau dans la chambre de visite, située en bas de pente du champ. La chambre de visite a été inondée et le profil de sol a été lessivé. Les valeurs observées ensuite témoignent du lessivage du profil de sol contenu dans le lysimètre. Aucune eau de percolation n'a plus été récoltée ensuite.

Le pic de concentration en azote nitrique semble avoir été atteint au mois de mai, avec une concentration moyenne extrêmement élevée de 415 mg NO₃⁻/l. La moyenne pour la troisième période de drainage considérée est de 308 mg NO₃⁻/l.

Les quantités d'azote nitrique percolées, non récupérables par les cultures en surface, en phase de migration vers les réserves de profondeur sont non négligeables lors d'une telle succession de cultures légumières industrielles à enracinement peu profond.

La teneur en azote nitrique du sol déterminée par les mesures APL révélait ce phénomène mais en proportions nettement inférieures aux mesures de teneurs en azote nitrique dans l'eau de percolation. Cette différence est sans doute expliquée par la faible dilution observée (faible quantité d'eau récoltée).

Malheureusement, les deux dernières saisons de drainage ne permettent pas d'eau de percolation régulière. L'hypothèse émise est que la topographie du champ n'étant pas plane à l'emplacement du lysimètre, combiné à un tassement de sous surface (type semelle de labour) favorisent les écoulements hypodermiques de sous surface latéraux à l'aplomb du lysimètre. Suite à ces mauvais résultats, 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, sans doute trop tard dans la saison de drainage que pour en observer les effets directs au niveau du bidon de récolte du lysimètre.

3.2.5 PL1

3.2.5.1 Localisation

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

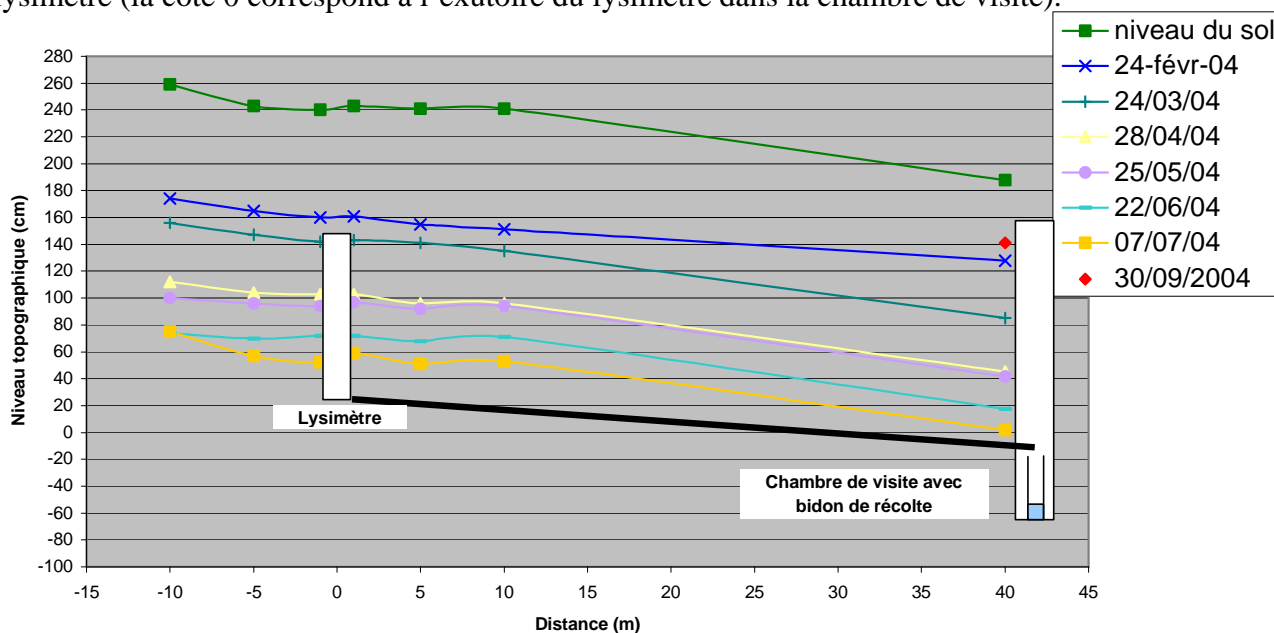
La position exacte est prise au GPS et doit encore être confirmée.

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 betterave a été implantée immédiatement en avril 2003. La parcelle a été semée d'une céréale dès l'automne 2003 et récoltée à l'été 2004. Une culture CIPAN d'avoine a été installée avant l'hiver. Des fèves des marais ont été semées pour 2005. Un froment d'hiver a été installé à l'automne 2005 et couvre la saison culturale 2006. Un haricot est prévu pour 2007.

Des percolats ont été récoltés dans le courant du mois de juin 2003 pour se tarir du mois d'août jusqu'au mois de janvier 2004. La percolation a eu lieu du mois de janvier 2004 au mois de mai 2004. Le bilan hydrologique a rapidement déterminé que le système percolait de l'eau en quantité nettement supérieure à la pluviométrie. Une remontée de nappe étant suspectée, un réseau de piézomètre a été installé. Le bord supérieur du lysimètre se situe effectivement sous le niveau de la nappe et/ou de sa frange capillaire durant l'hivernage tel qu'illustré par la figure 8. Le lysimètre se comporte à ces moments comme un drain. Les piézomètres restés en place aux abords de la chambre de visite permettent de suivre le niveau de la nappe. Afin d'obtenir des mesures reflétant au mieux la quantité réelle d'ions nitrate qui migrent sous les 2 m de profondeur, il a été décidé de fermer à l'aide d'une vanne l'exutoire du lysimètre dès que les piézomètres indiquent une remontée de la nappe telle que la frange capillaire est captée. L'exutoire est ré-ouvert lorsque la frange capillaire redescend en dessous de 50 cm de profondeur, profondeur du bord supérieur du lysimètre.

Figure 5 : Parcelle PL1, relevé piézométrique mensuel, niveau de la nappe par rapport au lysimètre (la côte 0 correspond à l'exutoire du lysimètre dans la chambre de visite).



3.2.5.2 Calendrier cultural

2001 Fèves des marais / Epinards

2002 Froment

12 avril 2002 Apport azoté N min 60 Unités d'azote sur froment
4 mai 2002 80 Unités d'azote

2003 Betteraves

Apport azoté, N org : 2,5 t/ha de déchets de laine (8,9 kg d'N/t)
15 mars 2003 Apport azoté, N-min 138 UN
avril 2003 Semis
25 octobre 2003 Arrachage

2004 Froment

Travail du sol, sans labour et semis
28 octobre 2003 Semis
19 mars 2004 Apport azoté, N-Min 48UN
16 avril 2004 58 UN
18 mai 2004 87 UN
6 août 2004 Récolte
Rendement obtenu : 10,7 T/ha
13 septembre 2004 Semis d'avoine (culture CIPAN)
Pas d'apport de MO

2005 Fèves des marais

30 mars 2005 Apport azoté, N-min 54 UN
16 mai 2005 Semis
27 juin 2005 : Irrigation eau usée de l'usine, 20 mm
12 juillet 2005 : Irrigation eau usée de l'usine, 17 mm
15 juillet 2005 : Irrigation eau usée de l'usine, 20 mm
21 juillet 2005 : Irrigation eau usée de l'usine, 20 mm
6 août 2005 Récolte
Rendement obtenu : 6,58 T/ha
Septembre 2005 Déchaumage
15 octobre Travail du sol : décompactage, fraise
Semis d'un froment d'hiver

2006 Froment d'hiver

2 mai 2006 Apport azoté, N-min 66 UN
16 mai 2006 Apport azoté, N-min 78 UN
30 juillet 2007 Récolte
Rendement obtenu : 9,9 T/ha
Septembre 2006 Déchaumage
19 septembre 2006 Travail du sol : décompactage, fraise
Semis de moutarde

2007 Haricots

3.2.5.3 Profil de concentration en azote nitrique du sol (source GRENeRA)

Tableau 10 : Parcelle PL1, profil de concentration en azote nitrique du sol.

	Horizons	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 90 cm
	Mois	Kg N-NO3/ha			
2002 Froment	Août	25	22	6	53
	Octobre	19	27	8	54
	Novembre	14	7	6	22
	Décembre	11	6	5	22
2003 Betterave	Mars	27	17	9	53
	5 nov	10	7	2	19
	4 déc.	14	13	5	32
2004 Froment	1 oct	26	22	7	55
	4 nov.	21	10	7	38
	3 déc.	2	10	6	18
2005 Fèves des marais	13 mai	110	20	3	133
	Octobre	120	37	12	169
	Novembre	109	68	15	192
	Décembre	61	124	34	219
2006 Froment	9 Oct.	52	45	25	122
	31 Oct	38	31	31	100
	30 Nov.	60	12	13	85

Ce tableau montre que dans le cas d'une rotation céréales/betteraves en association avec des cultures CIPAN, les reliquats azotés laissés dans le sol sont très faibles, particulièrement dans le fond du profil (horizon 60-90 cm). Une culture de haricot était théoriquement au planning de la saison 2005 et a été modifié pour une culture de fèves des marais. Son implantation plus rapide que le haricot, le profil du mois de mai a été réalisé après implantation de la culture de fève et sa fertilisation, qui explique un horizon de surface riche. Après la culture de fève des marais, le profil en reliquats azotés est resté faible dans les horizons de profondeur mais est enrichi en surface. La douceur de l'automne 2005 renforce la minéralisation des résidus de récolte laissés à la surface du sol. Le froment d'hiver semé au début de l'automne utilise ces réserves en surface, malgré une migration vers les horizons intermédiaires, tel que le montre les mesures du mois de décembre.

3.2.5.4 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 11 : Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (litres)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			Concentration (mg NO ₃ -/l)	Quantité (mg)	Kg N-NO ₃ /ha
Sept. 2003	31	0.1	29	3	0
Octobre	64	0.1	-	-	0
Novembre	65	0.3	27	7	0
Décembre	65	1.0	-	-	0
Janv. 2004	154	126.1	44	5375	3
Février	49	133.2	46	6293	4
Mars	25	155.0	35	5124	3
Avril	37	89.1	27	2412	2
Mai	48	17.6	19	353	0
DRAINAGE I	538	522.5	37	19566	12
Juin	61	0.4	11	5	0
Juillet	132	1	18	17	0
Août	147	0.1	-	-	-
Septembre	83	207.3	25	4574	3
Octobre	68	386.5	3	1031	1
Novembre	78	Fermé	-	-	-
Décembre	66	Fermé	-	-	-
Janv. 2005	45	Fermé	-	-	-
Février	81	Fermé	-	-	-
Mars	14	Fermé	-	-	-
Avril	35	Fermé	-	-	-
DRAINAGE II	617	595.2	10	5627	4
Mai	110	0	-	-	-
Juin	25	28.4	0	13	0
Juillet	117	1.0	22	22	0
Août	51	0	-	-	-
Septembre	36	0	-	-	-
Octobre	42	0	-	-	-
Novembre	39	0	-	-	-
Décembre	31	111.3	51	5710	4
Janv. 2006	18	Fermé	-	-	-
Février	44	Fermé	-	-	-
Mars	53	Fermé	-	-	-
Avril	30	Fermé	-	-	-
Mai		9.0	53	473	0
DRAINAGE III	596	149.8	42	6218	4
Juin	21	0			
Juillet	85	0			
Août	190	0			
Septembre	9	0,2	155	31	0
Octobre	53	94	144	13557	9
Novembre	63	76	220	16721	11
Décembre	71	317	59	18669	12

Janv. 2007	71	Fermé	-	-	-
Février	61	Fermé	-	-	-
Mars	63	Fermé	-	-	-
Avril	0	Fermé	-	-	-
DRAINAGE IV	676	488	100	48978	31

Pour la première saison de drainage, la concentration moyenne observée pour l'ensemble de la période, calculée par la quantité totale de nitrate sur le volume total récolté est de 37 mg NO₃⁻/l. Ce chiffre donne une approximation globale, l'eau qui a percolé à cette profondeur a été prise dans une dynamique de percolation mais aussi de drainage. Il est du même ordre de grandeur que le reliquat azoté (mesure APL).

L'exutoire du lysimètre a été fermé au mois de novembre de la seconde saison de drainage. Les quantités récoltées étant largement supérieures à la pluviométrie enregistrée. Les piézomètres indiquaient que la nappe remontant temporairement en hiver était captée par l'enceinte lysimétrique. Le faible reliquat azoté dans le sol laissé après la culture de froment ajouté au profil de sol totalement lessivé donnent des mesures de la concentration en azote nitrique faible.

Suivant les indications données par le relevé piézométrique, l'exutoire du lysimètre a été fermé au mois de janvier 2006 de la troisième saison de drainage et ré-ouvert au mois de mai 2006. De cette façon, le profil n'est pas lessivé dans le lysimètre et la teneur moyenne en azote nitrique est de 43 mg NO₃⁻/l. A la ré-ouverture, la concentration en ions nitrate est plus importante mais reste inférieures aux valeurs APL mesurées suite à la culture de fèves des marais.

Pour la quatrième saison de drainage, le lysimètre a été fermé au mois de janvier et ré-ouvert mi-avril. La teneur en nitrate prise sur un échantillon de terrain à son ouverture et analyse immédiate au nitracheck donne une valeur faible de 28 mg NO₃⁻/l.

3.2.6 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, à la suite d'une récolte de céréales. Une culture CIPAN (phacélie) a été rapidement semée. Début avril 2004, une culture de betteraves a été implantée. A sa récolte, un froment d'hiver a rapidement été installé. Récolté à l'été 2005, il a été suivi de l'installation d'une culture de vesce. Une culture de haricot a été installée tardivement en 2006. Un froment d'hiver a été installé à l'automne 2006.

Des percolats sont récoltés depuis le milieu du mois de décembre 2003, avec une diminution de quantité mais sans interruption durant les mois de l'été 2004.

Le même phénomène qu'au lysimètre de la parcelle PL1 (quantité d'eau de percolation supérieure à la pluviométrie) a été observé à l'hiver 2005. Un réseau de piézomètre a également permis de confirmer une remontée hivernale de la nappe en surface. Une vanne ferme l'exutoire du lysimètre tant que le niveau de la nappe est supérieur au niveau d'enfoncement du lysimètre (sous 50 cm). Lors de sa ré-ouverture au printemps 2005, aucune eau n'a été récoltée.

Durant la troisième saison de drainage, l'exutoire du lysimètre n'a pas du être fermé. La culture de betteraves, récoltée tard et à enracinement profond, a laissé un profil hydrique fortement asséché. De plus, l'hiver moyennement pluvieux n'a ni permis une réhumidification du sol et, par conséquent, ni occasionné une remontée de la nappe aussi forte que les années précédentes. Seuls les mois de mars et avril ont légèrement capté la frange capillaire.

Le lysimètre n'a pas été fermé pour la quatrième saison de drainage, malgré une récolte en eau supérieure à la pluviométrie témoignant une interception de la frange capillaire de la nappe. Tant que cet effet drainant ne dépassait pas les limites de capacité des bidons de récolte, il a été décidé de ne pas fermer le lysimètre afin de pouvoir mesurer les teneurs en nitrate charriées avec l'eau de nappe et sa frange capillaire.

3.2.6.1 Calendrier cultural

2001 Froment

2002 Fèves des marais / cerfeuil

25 avril 2002 Apport azoté : 52 Unités d'azote sur les fèves

2003 Froment

15 mars 2003 Apport azoté, N-min 62 UN

15 avril 2003 Apport azoté, N-min 46 UN

15 mai 2003 Apport azoté, N-min 55 UN

août 2003 Récolte

Rendement obtenu : 9,6 T/ha

21 août 2003 Apport azoté, N-org : fumier bovin pailleux (20T/ha à 2.03kg N/t)

Travail du sol déchaumage, sans labour

octobre 2003 Semis d'une culture CIPAN (phacélie)

Travail du sol, sans labour

2004 Betteraves sucrières

2 avril 2004 Semis

17 mars 2004 Apport azoté, N-Min, 78 UN

16 septembre 2004 Récolte

Rendement obtenu : 77 T/ha

14 octobre 2004 Semis direct de froment

2005 Froment

Printemps 2005 Apport azoté, N-min 208 UN

18 août 2005 Récolte

Rendement obtenu : 9,9 t/ha

Septembre 2005 Décompactage (30 cm)
Combiné fraise-semoir en ligne
Semis d'une culture de phacélie

2006 Haricots

17 mai 2006 Apport azoté, N-min 58 UN

11 juin 2006 Travail du sol : fraise, combiné poussiculteur-rotative-crosskylette
Semis d'une culture de haricots

20 août 2006 : Irrigation, eau usée de l'usine

28 août 2006 Récolte

Rendement obtenu : 10,58 T/ha

Septembre 2006 Déchaumage

14 octobre 2006 Travail du sol : décompactage, fraise
Semis d'une culture de froment

2007 Froment

3.2.6.2 Profil de concentration en azote nitrique du sol en KgN-NO3/ha (source GRENeRA)

Tableau 12 : Parcelle PL3, profil de concentration en azote nitrique du sol.

	Horizons	0 – 30	30 – 60	60 – 90	0 – 90
	Mois	cm	cm	cm	cm
2002 Fèves cerfeuil	Novembre	16	13	10	39
	Décembre	7	9	8	24
2003 Froment	8 août	60	22	22	104
	13 oct.	26	52	19	97
	5 nov	33	19	27	79
	4 déc.	18	6	13	37
2004 Betteraves	15 mars	27	24	23	74
	10 oct.	8	4	7	19
	1 nov.	15	16	6	37
	1 déc.	9	9	9	27
2005 Froment	Août	34	4	2	30
	Octobre	45	7	3	55
	Novembre	9	11	6	26
	Décembre	8	6	5	19
2006 Haricots Froment	10 mai	45	28	11	94
	9 Oct.	115	40	28	183
	31 Oct.	72	53	31	156
	30 Nov.	46	41	29	116

Les cultures légumières de 2002 n'ont pas laissé de reliquats azotés dans le sol importants. Par contre et étonnamment pour une céréale, le froment cultivé en 2003 laisse un reliquat post-récolte surprenant sans explication précise compte tenu de la fertilisation modérée. L'hypothèse d'une mauvaise assimilation des apports azotés sous l'effet de la canicule de l'été 2003 ne permet pas, compte tenu du rendement honorable (9.6 t/ha) de justifier complètement le reliquat post récolte élevé. Une autre piste est la minéralisation des résidus des cultures précédentes La culture intercalaire piège à nitrate (CIPAN) permet de « nettoyer » partiellement le profil ; des diminutions progressives sont observées dans tous les horizons. La culture de betteraves en 2004 a bien utilisé ses apports azotés et laisse un profil de sol « propre », faiblement chargé de résidus azotés. Le froment laisse également un profil de sol faible en reliquats azotés bien que la fertilisation ait été supérieure à celle de 2003. La culture CIPAN installée ensuite utilise les résidus des horizons de surface et tous les horizons du profil sont faiblement chargés à l'hiver 2005-2006. La culture de haricot laisse quant à elle des résidus azotés dans le sol non négligeables que le semis du froment récupère à son profit, tel que montré par la baisse des reliquats dans tous les horizons entre octobre et novembre 2006. La douceur de l'automne ayant permis une installation rapide du froment.

3.2.6.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 13 : Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés		Azote nitrique percolé
			Concentration (mg NO3-/l)	Quantité (mg)	Kg N-NO3/ha
Sept. 2003	31	0		-	
Octobre	64	0		-	-
Novembre	65	0		-	-
Décembre	65	13.8	12	166	0
Janv. 2004	154	484.1	38	18406	12
Février	49	411.6	36	14695	9
Mars	25	357.4	29	10279	7
Avril	37	56	25	1420	1
Mai	48	8.3	14	117	0
DRAINAGE I	538	1331.1	34	45082	29
Juin	61	2.6	14	36	0
Juillet	132	1.4	17	23	0
Août	147	3.5	9	32	0
Septembre	83	4.1	12	56	0
Octobre	68	4.1	31	125	0
Novembre	78	15.3	63	962	1
Décembre	66	7.9	30	236	0
Janv. 2005	45	80.5	18	1476	1
Février	81	Fermé	-	-	-
Mars	14	Fermé	-	-	-
Avril	35	Fermé	-	-	-
DRAINAGE II	617	119.2	25	2945	2

Mai	110	0	-	0	0
Juin	25	2.3	7	15	0
Juillet	117	0.7	6	4	0
Août	51	0	-	0	0
Septembre	36	0.1	10	1	0
Octobre	42	0	-	0	0
Novembre	39	0	-	0	0
Décembre	31	0.2	5	1	0
Janv. 2006	18	0	-	0	0
Février	44	0	-	0	0
Mars	53	192.9	19	3637	2
Avril	30	137.8	3	3624	3
Mai		24.1	24	1563	1
DRAINAGE III	596	358.1	25	8846	6
Juin	21	80	73	5820	4
Juillet	85	0	-	-	-
Août	190	101	70	7062	5
Septembre	9	107	95	10135	6
Octobre	53	0,1	100	10	0
Novembre	63	26	66	1708	1
Décembre	71	186	136	25295	16
Janv. 2007	71	124	156	19403	12
Février	61	128	149	19099	12
Mars	63	562	155	86863	56
Avril	0	3	156	469	0
DRAINAGE IV	676	1316	134	175864	113

La concentration moyenne observée pour l'ensemble de la première période de drainage, calculée par la quantité totale de nitrate sur le volume total récolté est de 34 mg NO₃⁻/l. Ce chiffre donne une approximation globale puisque l'eau percole à cette profondeur partiellement sous une dynamique de percolation associée à du drainage. Il est légèrement inférieur au reliquat moyen mesuré (APL) sur cette période.

Une récolte d'eau importante et rapide au mois de janvier 2005, nous incite à fermer l'exutoire du lysimètre. La diminution des teneurs en nitrate observées au cours du temps témoigne du lessivage du profil, tout en restant sous le seuil de la norme de potabilité. Une remontée de ces valeurs s'observe dès le mois d'octobre 2004. Les profils en reliquats azotés à l'automne sont faibles et montrent qu'une couverture hivernale, suivie de la rotation betteraves / céréales sont respectueuses de l'environnement.

Durant la troisième saison de drainage, l'exutoire du lysimètre n'a pas été fermé. La culture de betteraves, récoltée tard et à enracinement profond, a laissé un profil hydrique fortement asséché. De plus, l'hiver moyennement pluvieux n'a pas permis une remontée de la nappe aussi forte que les années précédentes. Seuls les mois de mars et avril ont légèrement capté la frange capillaire. La concentration en nitrate de lixiviation est faible et correspond aux valeurs données par les mesures APL.

Le lysimètre n'a pas été fermé pour la quatrième saison de drainage, malgré que la nappe et/ou sa frange capillaire était captée et drainée par le lysimètre. Cette eau drainée cumule l'eau qui migre vers les eaux souterraines et recharge les nappes, mais aussi les écoulements hypodermiques lents qui alimentent les cours d'eau et restent dans les eaux de surface. Ces deux type d'alimentation des eaux de surface et souterraines, comptabilisent ensemble de 8 à 50% de la pluviométrie (C.Sohier, 2007, exposé Nitrawal).

Les mesures permettent de constater que l'eau charriée par ces deux types d'eau, suite au drainage d'une terre agricole, présente des teneurs en azote nitrique moyenne de 134 mg/l.

4 Synthèse graphique, bilans et discussion

4.1 Graphique de synthèses par parcelle

Les pages suivantes présentent un graphique de synthèse par parcelle. Les graphiques reprennent du mois de septembre 2003 à mai 2007, les volumes d'eau percolée et récoltée (données cumulées) dans les lysimètres en parallèle avec le drainage potentiel cumulé; les teneurs en nitrates mesurées dans cette eau de percolation ainsi que les mesures de reliquats azotés 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 par ces graphiques.

Le graphique 1 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Sole 4. L'observation de ce graphique montre que la courbe des volumes récoltés suit la courbe de la pluviométrie mensuelle, dont est déduite l'évapotranspiration. Les courbes sont du même type mais sans corrélation directe entre la pluviométrie quotidienne ou hebdomadaire et les volumes récoltés hebdomadairement par percolation à 2 m de profondeur. Le phénomène « pluviométrie/percolation » n'est pas du type « impulsion/réponse » et explique le recours habituel aux modèles mathématiques, qui intègrent des paramètres tels que le ruissellement, l'interception, la redistribution dans le sol, l'état hydrique du sol, l'évaporation, etc. L'observation dans le temps de la teneur en nitrate qui percole à 2 m de profondeur est relativement constante. Aucun pic de concentration n'a été observé à la reprise de la seconde période de percolation, à l'automne 2004. Les profils en reliquats azotés montrent que la culture de haricots laisse des résidus azotés élevés. La fraction de l'horizon de surface sera partiellement récupérée par la culture de froment installée ensuite. Une migration et un enrichissement du profil en profondeur sont mis en évidence. La troisième saison de drainage, n'a récolté que très peu d'eau de percolation, dont la teneur en nitrate est acceptable. Le profil sondé par les mesures APL post récolte à la culture de froment est faiblement chargé en résidus azotés. Une minéralisation est observée en surface à l'automne. La quatrième saison de drainage présente une eau de percolation respectueuse des normes de qualité des eaux, malgré une augmentation au cours de la saison de drainage, témoin de l'entraînement en profondeur des résidus azotés de la double culture fève/épinards. Les valeurs observées valident l'indicateur APL.

Le graphique 2 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Chemin de fer. La courbe des volumes récoltés montre que la percolation n'a débuté qu'à l'automne 2004, aucune eau de percolation n'a été récoltée durant la première saison de drainage qui a suivi l'installation du lysimètre en 2003. Les concentrations en nitrate mesurés dans les eaux de percolation, sont systématiquement supérieures à la norme de potabilité. Les profils en reliquats azotés montrent que la rotation épinards / haricots laisse des résidus azotés élevés dans le sol. La culture CIPAN de moutarde a un effet bénéfique mais non suffisant pour ramener le profil à des valeurs acceptables d'un point de vue environnemental. La troisième saison de drainage a récolté de l'eau de percolation à la fin de l'été et au printemps, mais étonnamment rien durant l'automne et l'hiver 2005-2006. Malgré des mesures des profils APL acceptables, les concentrations en nitrates lixiviés à 2m de profondeur restent trop élevées par rapport à la norme, peut-être explicable par la faible lame d'eau drainante engendrant une faible dilution. Peu de percolation est observée pour la quatrième saison de

drainage. Les teneurs sont légèrement supérieures à la norme de potabilité définie par l'OMS, malgré un précédent de froment. Il faut rappeler qu'une erreur de fertilisation s'est produite sur cette parcelle, tel que le révèle et le témoigne les indicateurs APL de l'automne.

Le graphique 3 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Bovenistier. Il montre que ce lysimètre a été lent à démarrer la phase de percolation et présente des valeurs de concentration en nitrate très élevées. Le profil en reliquats azotés à l'hiver 2004-2005 est moyennement élevé, avec peu de probabilité d'une récupération future par la culture suivante. Le lysimètre a percolé à la fin de l'été 2005. Les valeurs de concentration en azote nitrique dans l'eau sont élevées. Les mêmes valeurs élevées se répètent à l'hiver 2006-2007, allant dans le même sens que l'indication donnée par les valeurs APL.

Le graphique 4 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Petit Pont. Il montre que ce lysimètre démarré lentement la phase de percolation et présente des valeurs de concentration en nitrate très élevées à l'hiver 2004-2005. Le profil en reliquats azotés à l'automne 2004 après la culture de haricot est élevé. Le sol est laissé sans couverture hivernale. Les teneurs en nitrates mesurées à l'automne 2004-2005 confirment une migration importante de nitrates à des profondeurs non récupérables par les cultures suivantes. Malheureusement suite à des orages importants, la chambre de visite située en contrebas du champ est inondée et le profil de sol a été lessivé durant cet épisode. Plus aucune eau n'a ensuite été récoltée par percolation. Les mesures APL renseignent un profil de sol en reliquats azotés trop important après la culture de pommes de terre. Malheureusement, aucune culture CIPAN n'est installée afin d'utiliser et immobiliser ces reliquats azotés, pourtant principalement localisés dans les horizons de surface. La dernière saison de drainage n'a pas permis de récolter des eaux de percolation par ce lysimètre. L'hypothèse émise est des écoulements hypodermiques latéraux suite à une semelle de labour et une topographie non plane. La semelle de labour a été cassée manuellement mais n'a pas fourni de résultat pour cette saison de drainage.

Le graphique 5 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle PL3. La courbe des volumes récoltés, supérieure à la courbe du drainage potentiel (P-ETP), illustre le dysfonctionnement dans la récolte des eaux de percolation du lysimètre. La remontée temporaire de la nappe au-dessus du niveau d'enfoncement du lysimètre induit la récolte d'eau à l'exutoire du lysimètre sous une dynamique de percolation associée à du drainage. L'exutoire lysimétrique est fermé dès que la remontée de nappe est enregistrée par les piézomètres. La nappe et sa frange capillaire ne sont pas remontées à 50 cm de profondeur à l'hiver 2005-2006 et l'exutoire n'a pas été fermé, reflet de la sécheresse de l'hivernage. La diminution des teneurs en nitrate observées au cours du temps témoigne du lessivage du profil, tout en restant sous le seuil de la norme de potabilité. Une remontée de ces valeurs s'observe dès le mois d'octobre 2004. Les profils en reliquats azotés à l'automne sont faibles et montrent qu'une couverture hivernale suivie de la rotation betteraves / céréales est respectueuse de l'environnement. Les mesures APL montrent l'efficacité de la culture CIPAN de vesces dans la diminution du reliquat azoté dans les horizons de surface. La dernière saison de drainage 2006-2007 a récolté de l'eau de la nappe de remontée temporaire et/ou sa frange capillaire. Les valeurs de teneurs en nitrate des eaux confirment les valeurs des indicateurs APL, malheureusement bien au-dessus du respect de la norme de potabilité des eaux.

Le graphique 6 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle PL1. Comme pour la parcelle précédente (PL3), la courbe des volumes récoltés, supérieure à la courbe du drainage potentiel (P-ETP), illustre le dysfonctionnement dans la récolte des eaux de percolation du lysimètre, ce dernier étant soumis à un effet drainant avec la remontée temporaire de la nappe en surface. Aucun volume n'est récolté, l'exutoire est fermé, tant que la nappe est au-dessus du niveau d'enfoncement du lysimètre, de mi-novembre 2004 à mi-avril 2005 pour la seconde saison de percolation ; et de mi-janvier 2006 à mi-avril 2006 pour la troisième saison de drainage.

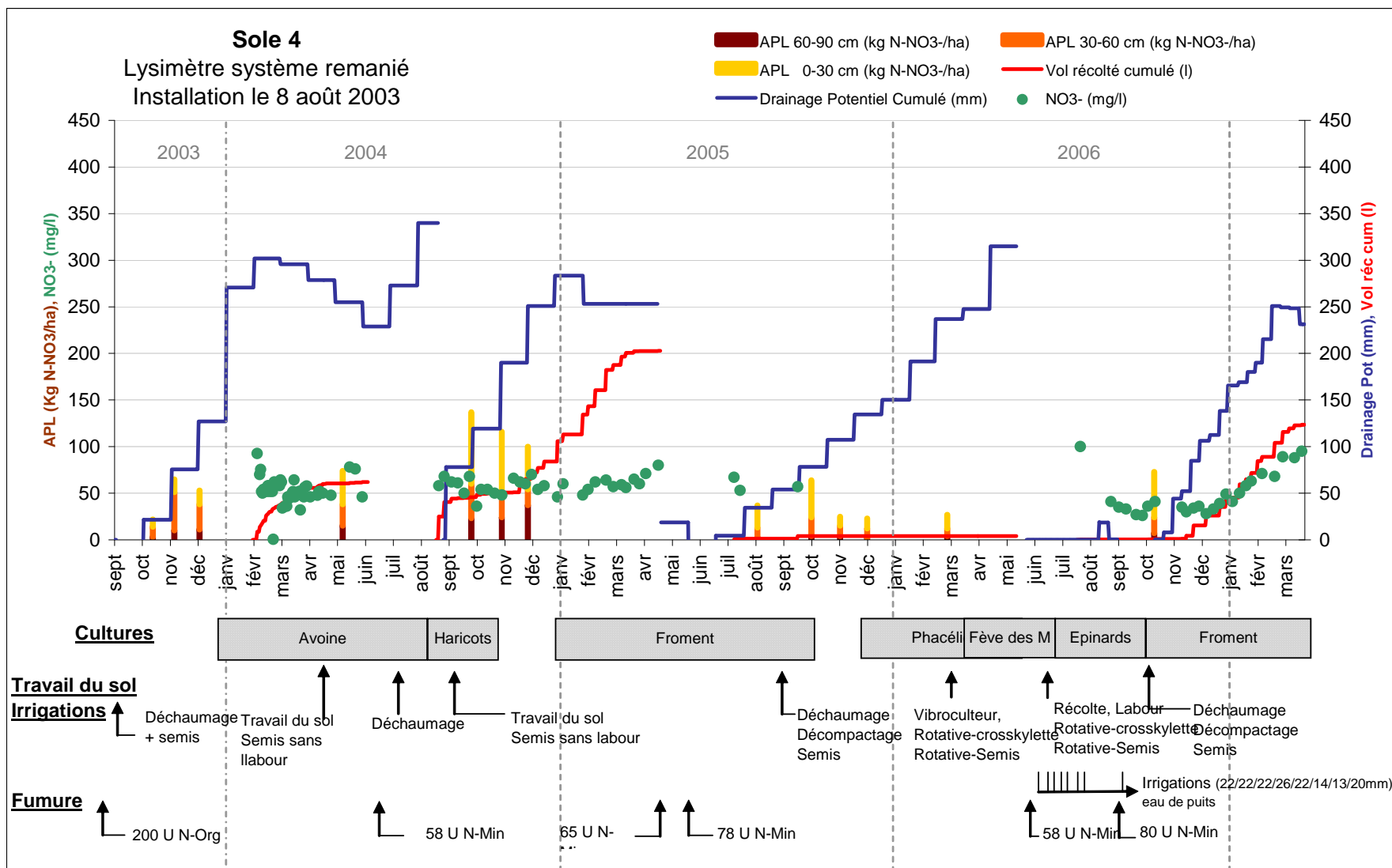
La diminution des teneurs en nitrate observées au cours de la première période de percolation témoigne du lessivage du profil, tout en restant sous le seuil de la norme de potabilité. Les profils en reliquat azoté à l'automne 2004 montrent que la rotation des cultures de céréales et betteraves sont respectueuses de l'environnement. L'effet de la CIPAN d'avoine se marque par une réduction des reliquats azotés à tous les horizons du profil.

Bouthier (in Muller, 1996) donne cette interprétation en émettant que le maximum de concentration en nitrate atteint pour des faibles valeurs de percolation traduirait des transferts très rapides de nitrates liés aux premiers écoulements cheminant dans la porosité fissurale grossière. Le maximum de concentration correspondrait au stock d'azote minéral présent dans le sol au moment des premiers écoulements ; Il y aurait ensuite « vidange » progressive de l'azote du sol. La baisse plus ou moins rapide pourrait être liée à la minéralisation automnale et hivernale. La concentration minimum comprise entre 20 et 40 mg NO₃-/l signifiant qu'on a lessivé l'ensemble du stock d'azote minéral présent en automne et produit pendant la période de percolation. La ré-augmentation parfois observée en fin de période de percolation, correspondrait à une reprise de minéralisation non interceptée par un couvert.

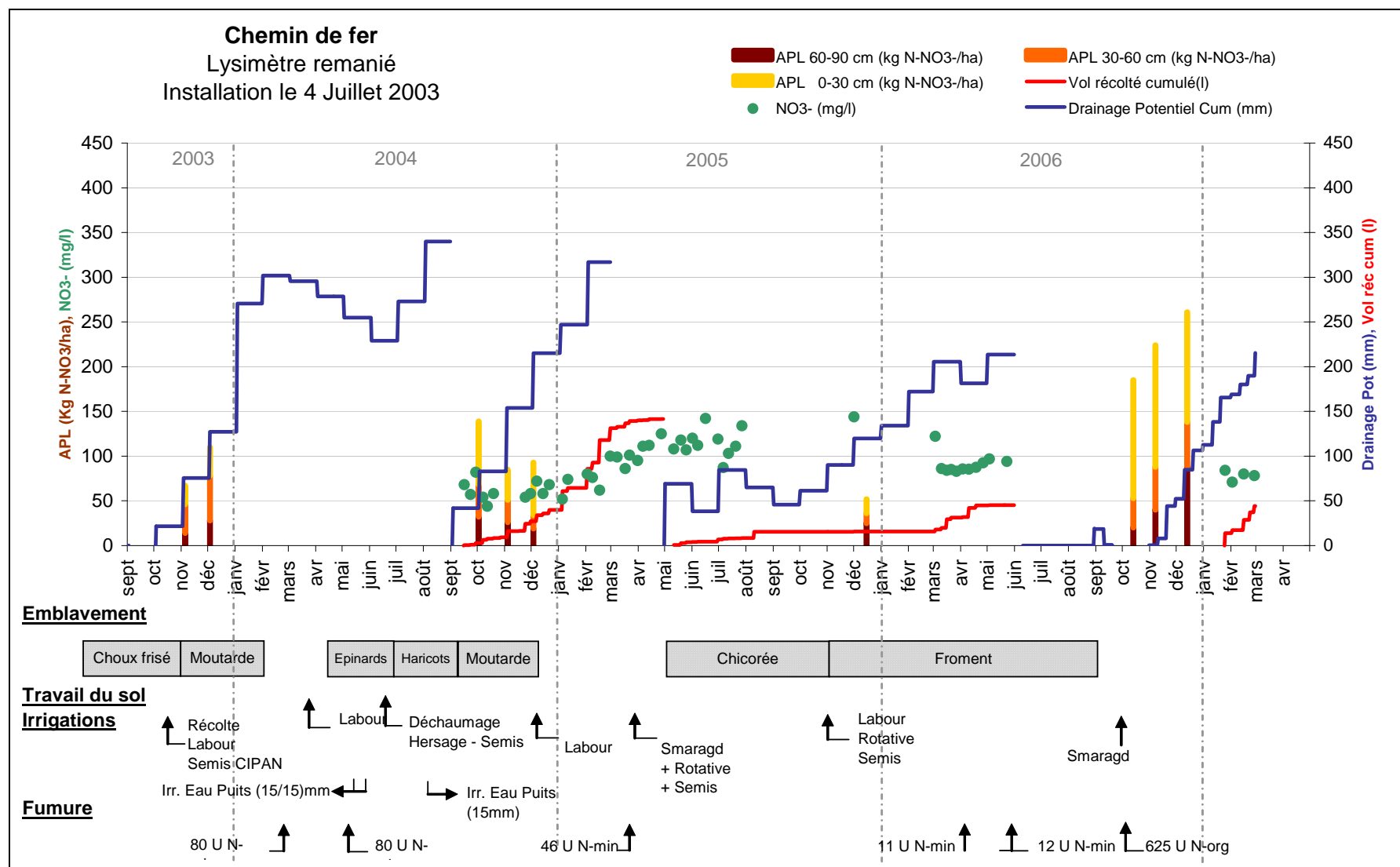
Après la culture de fève des marais en 2005, le profil en reliquats azotés mesuré par les valeurs APL est resté faible dans les horizons de profondeur mais est fortement enrichi en surface par la restitution au sol des résidus de culture. La douceur de l'automne renforce la minéralisation de ces résidus de récolte laissés à la surface du sol. Le froment d'hiver semé au début de l'automne utilise ces réserves en surface, malgré une migration vers les horizons intermédiaires, tel que le montre les mesures du mois de décembre. Le teneur en nitrate mesurée par lixiviation est légèrement supérieure à la norme. La concentration mesurée lors de l'ouverture de l'exutoire, suite à la descente de la nappe, reste constante et acceptable.

La quatrième saison de drainage capte la nappe de remonté temporaire et/ou sa frange capillaire et l'exutoire du lysimètre est fermé car les débits mesurés sont trop importants par rapport à la capacité des bidons de récolte. Les teneurs en azote nitrique sont alors élevées que les indicateurs APL ne reflètent pas.

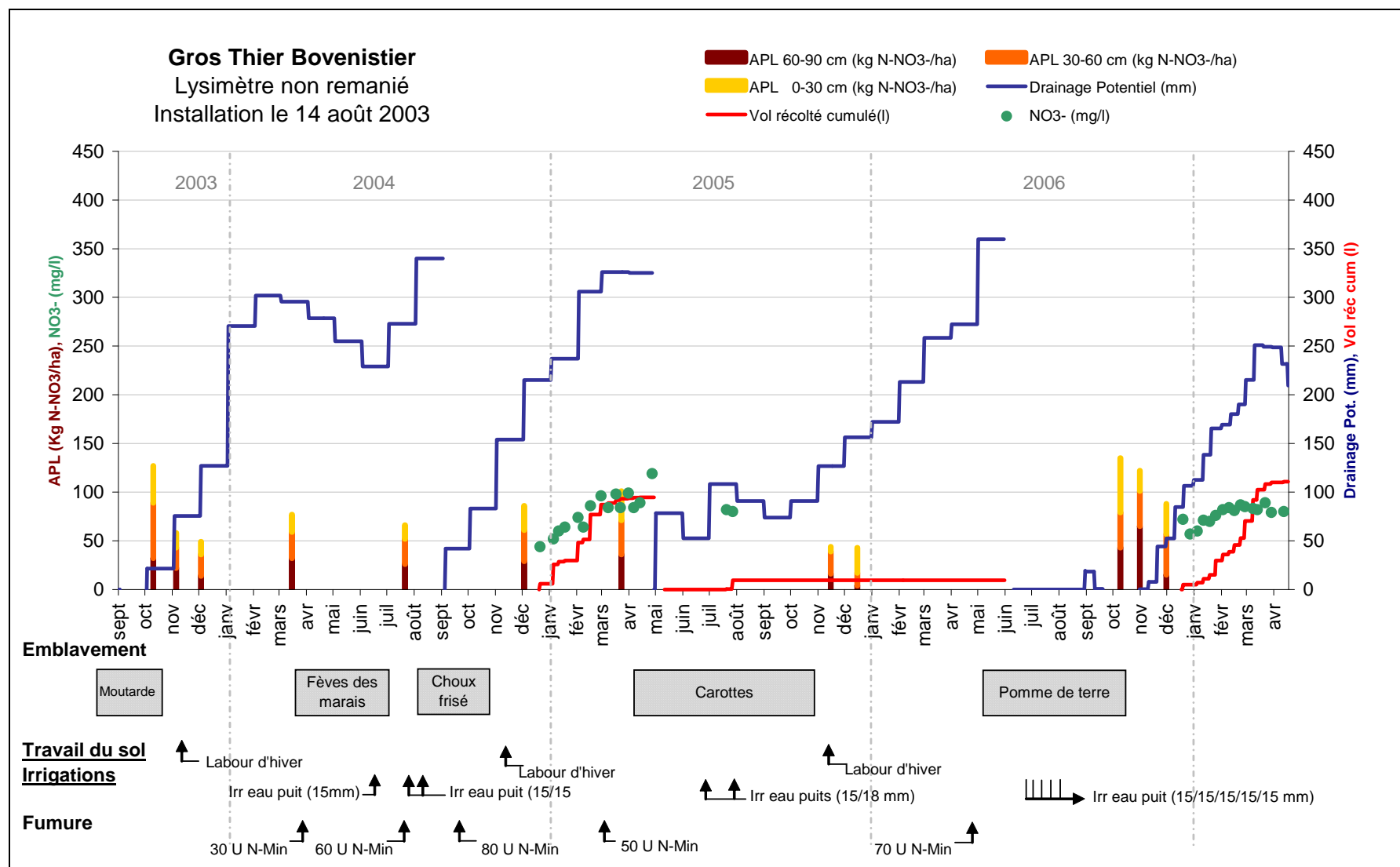
Graphique 1 : Synthèse des mesures et observations, parcelle sole 4.



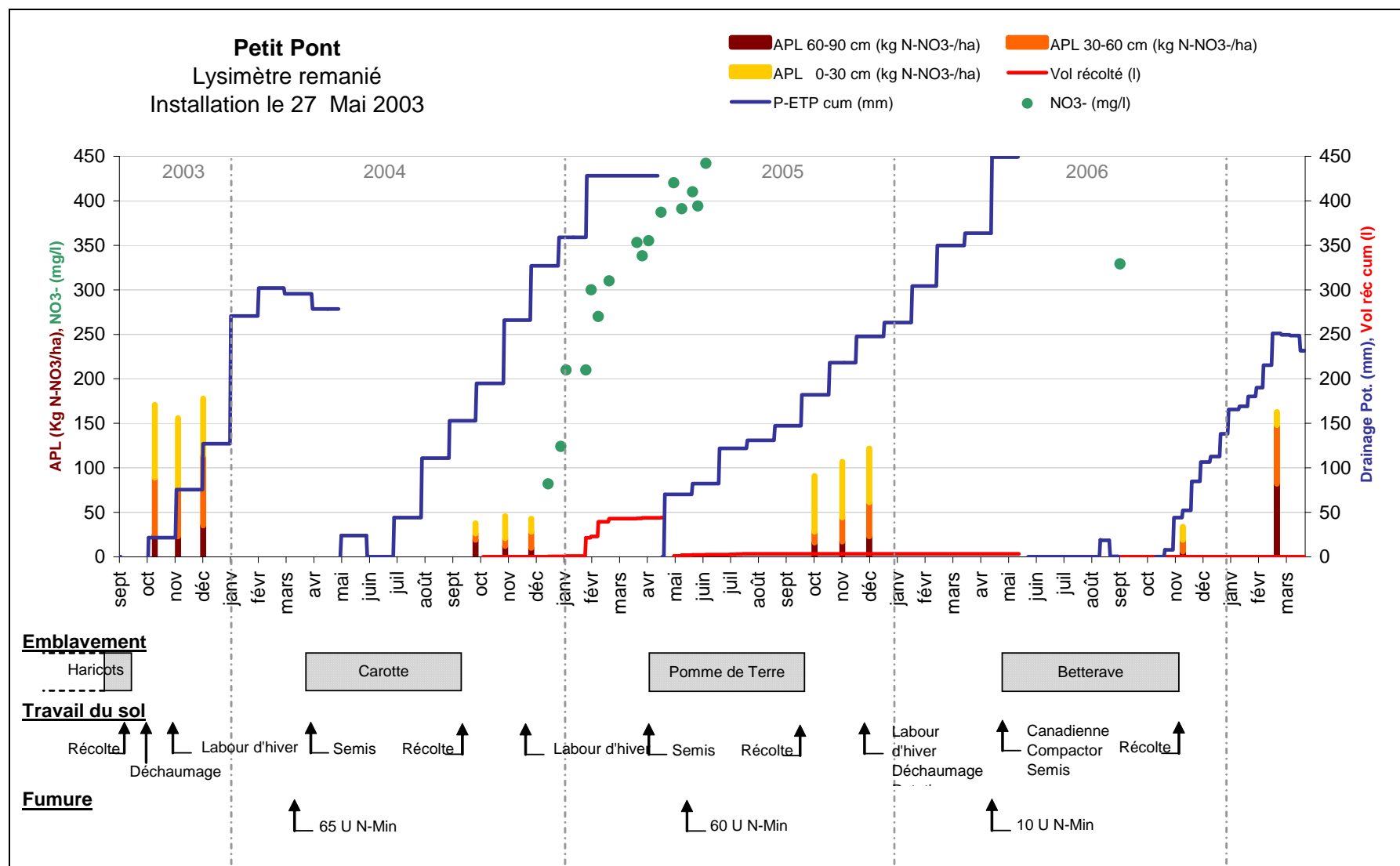
Graphique 2 : Synthèse des mesures et observations, parcelle Chemin de fer



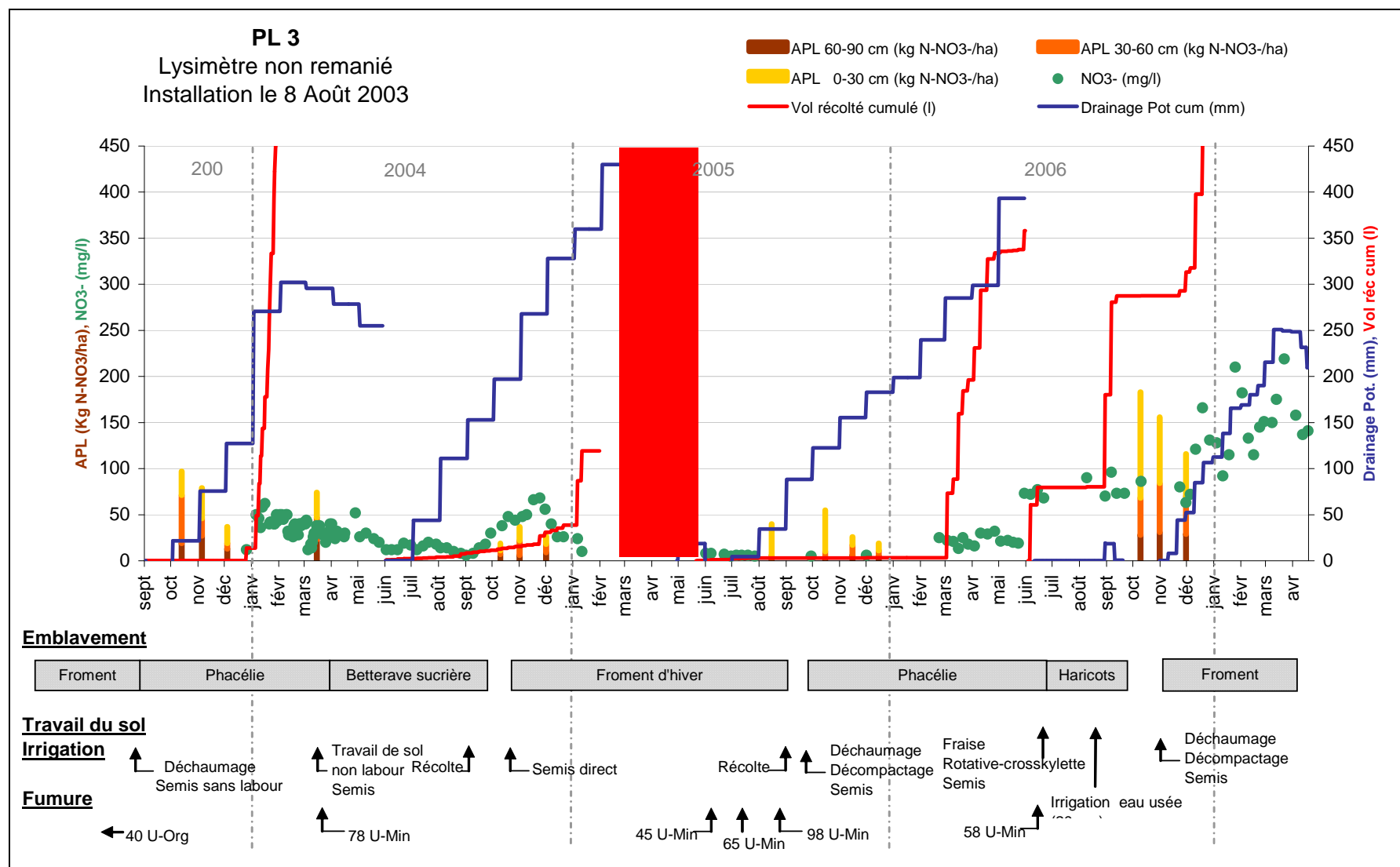
Graphique 3 : Synthèse des mesures et observations, parcelle Bovenistier



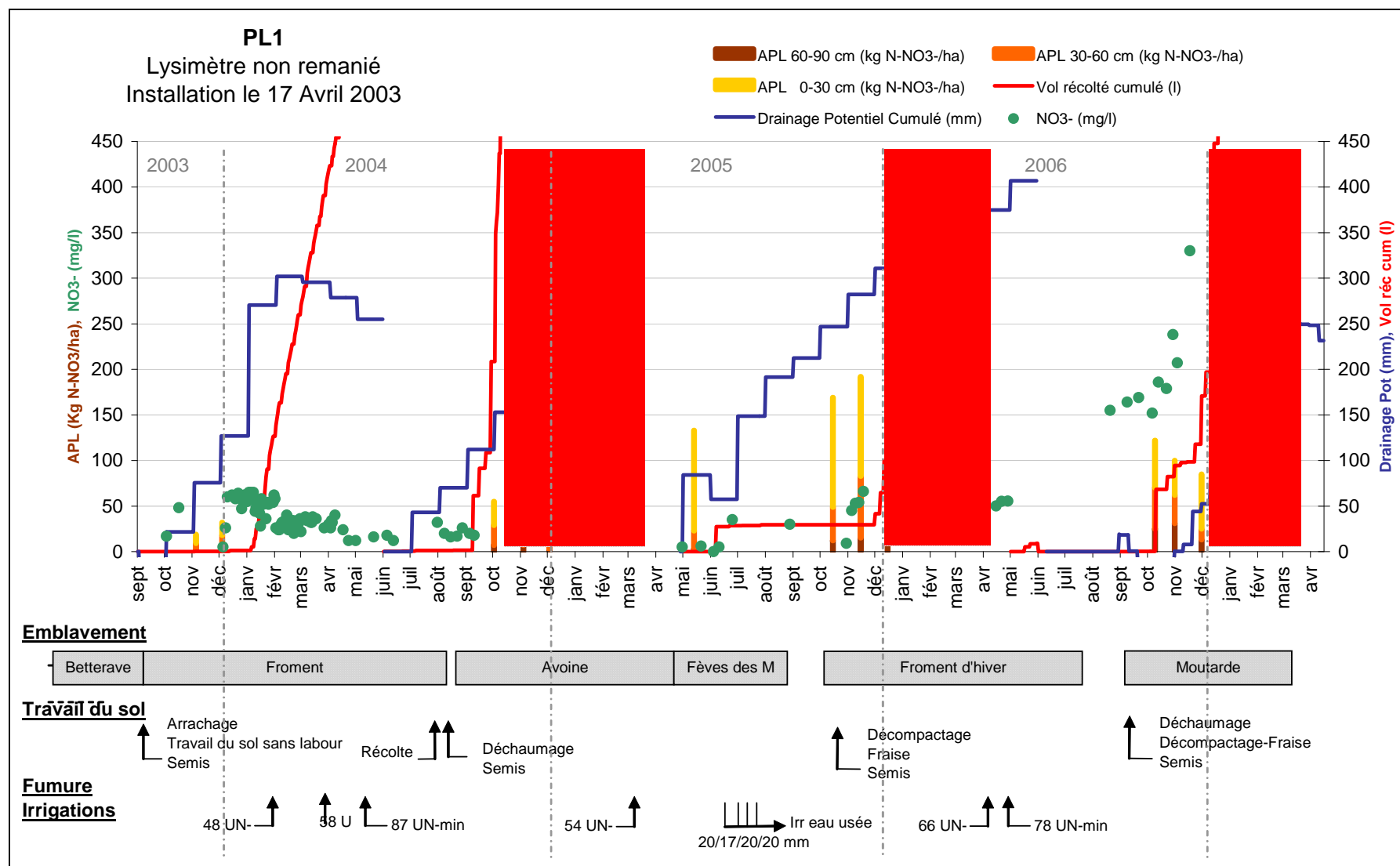
Graphique 4 : Synthèse des mesures et observations, parcelle Petit Pont



Graphique 5 : Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3



Graphique 6 : Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1



4.2 *L'indicateur Environnemental APL*

4.2.1 Introduction

Dans le cadre de la mise en œuvre du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA), la FUSAGx (GRENeRA⁴) et l'UCL⁵, partenaires scientifiques de Nitrawal, ont mis en place un réseau de points représentatifs appelé Survey Surfaces Agricoles⁶.

Ce réseau a été constitué en 2002 de 25 exploitations agricoles. Depuis 2002, les partenaires scientifiques se sont séparés de deux exploitations car leur collaboration n'était pas jugée satisfaisante. Ces deux exploitations ont été remplacées.

En 2006, 220 parcelles ont été suivies en termes de fertilisation et de reliquat azoté. Des profils de concentration en azote nitrique du sol sont établis au printemps (pour conseil de fumure des cultures en tête de rotation), en été (après la récolte des céréales) et en automne (octobre, novembre et décembre).

Ce réseau constitue l'outil d'acquisition de données en vue de proposer des valeurs d'APL⁷ de référence tel que définit dans l'Arrêté du Gouvernement wallon relatif au Livre II du Code de l'environnement contenant le Code de l'eau (Art R230).

Art. R. 230. Chaque année, le Ministre établit des valeurs de référence d'azote potentiellement lessivable (APL) permettant d'évaluer les incidences des actions entreprises et d'orienter les mesures mises en œuvre par les agriculteurs inscrits en démarche qualité en vue de lutter contre la pollution des eaux par le nitrate. Ces valeurs sont établies en se basant notamment sur les éléments suivants :

- 1° les conditions météorologiques ayant prévalu dans l'année,
- 2° les résultats de profils azotés distribués en un réseau de points représentatif appelé « survey surfaces agricoles ». Le Ministre peut fixer les modalités de mise en œuvre du « survey surfaces agricoles »,
- 3° le type de culture,
- 4° la localisation géographique et les conditions pédologiques.

Extrait de l'Arrêté du Gouvernement wallon relatif au Livre II du Code de l'environnement contenant le Code de l'eau (Art R230).

La méthodologie élaborée en 2003 et transcrite dans l'arrêté Démarche qualité (MB 23-06-04) a été respectée.

Pour rappel, il est décidé :

- ▶ de présenter les résultats sous forme d'un graphique afin d'intégrer la variable « temps »,
- ▶ de prendre en considération l'implantation d'une CIPAN⁸ (à condition que cette dernière ait été implantée avant le 15 septembre),

⁴ Groupe de Recherche ENvironnement et Ressources Azotées – Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

⁵ Université Catholique de Louvain-la-Neuve

⁶ Vandenberghe C., Mohimont A-C., Marcoen J.M. (2002). Mise en œuvre du Survey Surfaces Agricoles - Aspects « mesures du reliquat azoté ». *Rapport d'activités annuel intermédiaire 2002, Dossier GRENeRA 02-03*. 13p.

⁷ Azote Potentiellement Lessivable

- de regrouper les itinéraires culturels en quatre classes (tableau ci-dessous) en fonction des reliquats azotés mesurés dans les parcelles du SSA.

Classe C1	Classe C2	Classe C3	Classe P
Valeur faible de reliquat	Valeur moyenne de reliquat	Valeur élevée de reliquat	
betterave	chicorée	lin sans CIPAN	Prairie
céréale avec CIPAN	maïs avec sous semis de CIPAN	maïs sans sous semis de CIPAN	pâturée
jachère			
prairie de fauche	céréale sans CIPAN	pomme de terre	
légume avec CIPAN		colza	
lin avec CIPAN		légume (simple et double culture)	

4.2.2 Fumure azotée et APL, évaluation

Les tableaux des pages suivantes reprennent par parcelles et par année de culture, la culture mise en place, la mesure éventuelle du reliquat azoté avant récolte qui a conditionné le conseil de fumure, la fumure réellement apportée par l'agriculteur, le rendement obtenu, le reliquat post-récolte mesuré et l'évaluation attribuée.

Le paragraphe suivant se penche sur l'impact au niveau de la qualité de l'eau de percolation.

⁸ Culture Intercalaire Piège A Nitrate

Tableau 14: Parcelle sole 4, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés

Année	Culture	Classe	APL avant implantation UN	Conseil de fumure UN	Fumure apportée UN	Rendement obtenu T/ha	APL post récolte kg N- NO3/ha	APL référence kg N- NO3/ha	Evaluation
2002	betterave	C1	/	/	90	71	46 (déc)	25	0
2003	froment + avoine (cipan)	C1	/	165	188	10,2	53 (déc)	32	0
2004	haricot	C3	74 (mai)	60	58	19,5	100 (déc)	86	0
2005	froment + phacélie	C1	/	105	143	NC	23 (déc)	25	+1
2006	fève + épinard	C3	27 (mars) 210 (août)	60 Complément 20	58 80	7,66 17,33	73 (nov)	68	0

Au cours des cinq années de suivi, cette parcelle a été occupée trois fois par des itinéraires cultureux de classe C1 (reliquat attendu faible) et deux fois par des itinéraires cultureux de classe C3 (reliquat attendu élevé).

Les fumures minérales appliquées sont globalement conformes aux conseils, les dépassements observés en froment sont sans conséquences notables compte tenu de la présence de CIPAN

Les APL mesurés dans ces parcelles sont conformes aux valeurs attendues pour les classes considérées. Il faut cependant mentionner que les légumes (en simple ou double culture) ne représentent qu'environ 10% de l'effectif de résultats de la classe C3. La pertinence de l'évaluation est donc très relative.

Le reliquat azoté élevé (en valeur absolue) mesuré en décembre 2004 a été pris en considération dans la fumure minérale du froment qui a suivi : 143 UN au lieu de 185 UN (fumure de référence du Livre Blanc 2005) sans toutefois atteindre la fumure conseil dans ce contexte.

La culture initialement prévue pour 2006 était un haricot qui a été remplacé par une succession fève / épinards. La mesure du reliquat azoté pour le conseil de fumure avant l'implantation est resté programmé pour les haricots et a été réalisé alors qu'une première récolte de fèves avait déjà été réalisée et que les épinards étaient semés avec une première fraction azotée appliquée, ce qui explique une valeur APL élevée et le conseil de complément.

Tableau 15 : Parcelle chemin de fer, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés

Année	Culture	Classe	APL avant implantation UN	Conseil de fumure UN	Fumure apportée UN	Rendement obtenu T/ha	APL post récolte kg N- NO3/ha	APL référence kg N-NO3/ha	Evaluation
2002	betterave	C1	/	/	140	63	31 (déc)	25	0
2003	fève + choux	C3	63 (mars) 102 (juillet)	Par usine Par usine	65 155	8,445 30,443	102 (juillet) 110 (déc)	98	0
2004	épinard + haricot + moutarde	C1	54 (mars) -	170 0	168 0	16,7 12, 872	93 (déc)	27	-2
2005	chicorée	C2	/	/	46	NC	52 (déc)	56	+1
2006	froment	C2	/	185	211	9,13	261 (déc)	42	-2
2007	carotte	C3	65 (mars)	42					

Au cours des cinq années de suivi, cette parcelle a été occupée deux fois par des itinéraires cultureux de classe C1 (reliquat attendu faible), deux fois par des itinéraires cultureux de classe C2 (reliquat attendu moyen) et une fois par un itinéraire culturel de classe C3 (reliquat attendu élevé).

En 2002, 2003 et 2005, les APL mesurés dans ces parcelles sont conformes aux valeurs attendues pour les classes considérées. En 2004, Il faut rappeler que les légumes (en simple ou double culture) suivis de CIPAN représentent moins de 10% de l'effectif de résultats de la classe C1. La pertinence de l'évaluation est donc très relative. Le mois d'août 2004 fût très pluvieux, rendant défavorable les conditions de récolte des haricots. La moutarde n'a pu être semée que tardivement en septembre avec, pour conséquence, une moindre efficacité du « piège à nitrate ». La valeur élevée de reliquat azoté observée en décembre 2006 s'explique par l'épandage d'un compost exogène à l'exploitation dont la composition s'est révélée a posteriori (information tardive du fournisseur) très riche en azote (quatre fois plus qu'attendu). Les conditions météorologiques de la fin de l'été 2006 ont contribué à un épandage tardif (début octobre) de ce compost ; le semis d'une CIPAN n'a donc pas été réalisé.

Tableau 16: Parcelle Bovenistier, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés

Année	Culture	Classe	APL avant implantation UN	Conseil de fumure UN	Fumure apportée UN	Rendement obtenu T/ha	APL post récolte kg N- NO3/ha	APL référence kg N-NO3/ha	Evaluation
2002	épinard + haricot	C3			216		60	63	+1
2003	lin + moutarde	C1	/	/	0	6,6	49 (déc)	32	0
2004	fève + choux	C3	77 (mars) 66 (juillet)	31 20	30 140	9,1 24,64	66 (juillet) 86 (déc)	86	0
2005	carottes	C3	101 (mars)	48	50	68,22	46 (déc)	61	+1
2006	pomme de terre	C3	37	92	70	NC	88 (déc)	68	0

Au cours des cinq années de suivi, cette parcelle a été occupée une fois par un itinéraire cultural de classe C1 (reliquat attendu faible) et quatre fois par des itinéraires culturaux de classe C3 (reliquat attendu élevé).

Les fumures azotées minérales appliquées sont conformes aux conseils.

Les APL mesurés dans ces parcelles sont au moins conformes aux valeurs attendues pour les classes considérées. Il faut cependant mentionner que le lin suivi de moutarde et les légumes (en simple ou double culture) représentent moins de 10% de l'effectif de résultats de la classe C1 et C3. La pertinence de l'évaluation est donc très relative.

La « conformité » des APL signifie la mise en œuvre d'une fertilisation raisonnée. Elle n'implique pas automatiquement un reliquat faible en valeur absolue. Ceci, conjugué à la part importante de culture de printemps (pas de couvert en hiver pour consommer le reliquat azoté) ne peut pas conduire à une « conformité » de la qualité de l'eau de percolation. Dans le cadre de cet objectif, la succession des cultures devrait être modifiée.

Tableau 17 : Parcelle Grosse pierre petit pont, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés

Année	Culture	Classe	APL avant implantation UN	Conseil de fumure UN	Fumure apportée UN	Rendement obtenu T/ha	APL post récolte kg N- NO3/ha	APL référence kg N-NO3/ha	Evaluation
2002	froment	C2	/	185	179	8,9	85 (déc)	46	-1
2003	épinard + haricot	C3	64 (mars)	Par usine	199	19,43/16,22	178 (déc)	98	-2
2004	carotte	C3	109 (mars)	65	65	76,12	43 (déc)	86	+2
2005	pomme de terre	C3	39	120	60	NC	122 (déc)	61	-2
2006	betterave	C1	111	65	10	NC	34 (déc)	38	0
2007	Fève + choux	C3	163 (mars)	32					

Au cours des cinq années de suivi, cette parcelle a été occupée une fois par un itinéraire cultural de classe C1 (reliquat attendu faible), une fois par un itinéraire cultural de classe C2 (reliquat attendu moyen) et trois fois par des itinéraires culturaux de classe C3 (reliquat attendu élevé).

Les fumures azotées minérales appliquées sont conformes, voire inférieures, aux conseils.

Les APL mesurés dans ces parcelles sont trop peu souvent conformes aux valeurs attendues pour les classes considérées. Il faut cependant mentionner que les légumes (en simple ou double culture) ne représentent qu'environ 10% de l'effectif de résultats de la classe C3. La pertinence de l'évaluation est donc très relative.

La « conformité » des APL signifie la mise en œuvre d'une fertilisation raisonnée. Elle n'implique pas automatiquement un reliquat faible en valeur absolue. Ceci, conjugué à la part importante de culture de printemps (pas de couvert en hiver pour consommer le reliquat azoté) ne peut pas conduire à une « conformité » de la qualité de l'eau de percolation. Dans le cadre de cet objectif, la succession des cultures devrait être modifiée.

Tableau 18 : Parcelle PL1, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés

Année	Culture	Classe	APL avant implantation UN	Conseil de fumure UN	Fumure apportée UN	Rendement obtenu T/ha	APL post récolte kg N- NO3/ha	APL référence kg N-NO3/ha	Evaluation
2002	froment + phacélie	C1	/	130	140	9,4	22 (déc)	25	+1
2003	betterave	C1	53	137	138	66	32 (déc)	32	0
2004	froment + avoine (cipan)	C1	/	195	193	10,7	18 (déc)	27	+1
2005	fève des marais	C3	133 (mai)	0	54	6,58	219 (déc)	61	-2
2006	froment	C2		120	144	9,9	85 (déc)	42	-1
2007	haricot	C3	203 (mai)	0					

Au cours des cinq années de suivi, cette parcelle a été occupée trois fois par des itinéraires culturels de classe C1 (reliquat attendu faible), une fois par un itinéraire culturel de classe C2 (reliquat attendu moyen) et une fois par un itinéraire culturel de classe C3 (reliquat attendu élevé).

Les fumures azotées minérales appliquées sont globalement conformes aux conseils.

Les APL mesurés dans ces parcelles sont trop peu souvent conformes aux valeurs attendues pour les classes considérées. Il faut cependant mentionner que les légumes (en simple ou double culture) ne représentent qu'environ 10% de l'effectif de résultats de la classe C3. La pertinence de l'évaluation est donc très relative. Néanmoins, le reliquat observé en décembre 2005 est très élevé.

En valeur absolue, les reliquats azotés mesurés de 2002 à 2004 sont assez faibles. Les reliquats azotés mesurés en 2005 et 2006 sont élevés à très élevés.

La fumure du froment qui a suivi la fève des marais a été adaptée : 144 UN au lieu de 185 UN (fumure de référence du Livre blanc 2006) sans toutefois atteindre le conseil. La mauvaise cote de froment est principalement liée à l'absence du CIPAN ou d'une culture d'hiver susceptible de consommer l'azote libéré par la minéralisation au cours de l'automne 2006.

Tableau 19 : Parcelle PL3, fumures conseillées, apportées et reliquats mesurés

Année	Culture	Classe	APL avant implantation UN	Conseil de fumure UN	Fumure apportée UN	Rendement obtenu T/ha	APL post récolte kg N- NO3/ha	APL référence kg N-NO3/ha	Evaluation
2002	fève + cerfeuil	C3			52		24 (déc)	63	+2
2003	froment + phacélie	C1	/	165	173	9,6	37 (déc)	32	0
2004	betterave	C1	74	91	78	77	27 (déc)	27	0
2005	froment + phacélie	C1	/	165	208	9,9	19 (déc)	25	+1
2006	haricot	C3	94 (mai)	29	58	10,58	116 (déc)	68	-1

Au cours des cinq années de suivi, cette parcelle a été occupée trois fois par des itinéraires culturaux de classe C1 (reliquat attendu faible) et deux fois par des itinéraires culturaux de classe C3 (reliquat attendu élevé).

Les fumures minérales appliquées sont globalement conformes aux conseils, le dépassement observé en froment est sans conséquence notable compte tenu de la présence de CIPAN.

Les APL mesurés dans ces parcelles sont très souvent conformes aux valeurs attendues pour les classes considérées. Il faut cependant mentionner que les légumes (en simple ou double culture) ne représentent qu'environ 10% de l'effectif de résultats de la classe C3. La pertinence de l'évaluation est donc très relative. L'idéal eut été de semer une CIPAN après la récolte des haricots, fin août 2006 malheureusement, les conditions météorologiques de cette époque étaient peu favorables à ce semis.

En valeur absolue, jusqu'en 2005, les APL mesurés sur cette parcelle sont très faibles.

4.2.3 Impact sur la qualité de l'eau

Si on adopte la convention suivante (tableau ci-contre) pour l'évaluation, en valeur absolue, des reliquats azotés mesurés, il apparaît que

La parcelle « Sole 4 » présente en 2002 et 2003 des reliquats azotés moyens. Les années suivantes (2005 et 2006), les observations sont variables (de faible à élevé).

Les eaux récoltées dans le lysimètre installé dans cette parcelle indiquent, en 2004 et 2005, une concentration en nitrate qualifiée de moyenne,

c'est-à-dire, de l'ordre de 50 mg/l. Sur la période 2006-2007, les concentrations en nitrate sont d'abord faibles (inférieur à 35 mg/l de nitrate) et ensuite élevées (supérieur à 70 mg/l de nitrate). Il apparaît une bonne correspondance, décalée d'un an ou deux, entre le reliquat azoté mesuré en surface et la qualité de l'eau récoltée dans ce lysimètre.

La parcelle « Grosse Pierre Chemin de Fer » présente, à l'exception de 2002, des reliquats moyens à très élevés. La concentration en nitrate de l'eau récoltée dans le lysimètre installé dans cette parcelle peut être qualifiée de moyenne à très élevée. Les observations réalisées dans le lysimètre sont donc conformes aux reliquats azotés mesurés en surface.

La parcelle « Gros Thier Bovenistier » présente des reliquats moyens à élevés. La concentration en nitrate de l'eau récoltée dans le lysimètre installé dans cette parcelle peut également être qualifiée de moyenne à élevée. Les observations réalisées dans le lysimètre sont également conformes aux reliquats azotés mesurés en surface.

La parcelle « Grosse Pierre Petit Pont » présente des reliquats très variés (de faible à très élevé). Compte tenu de la présence d'une nappe perchée en hiver, les observations sur la qualité de l'eau sont rares. En hiver 2004-2005 (seule année 'normale' d'observations), la concentration en nitrate dans les eaux récoltées dans le lysimètre installé dans cette parcelle pouvait être qualifiée d'élevée à très élevée. Elle témoigne vraisemblablement du reliquat azoté très élevé mesuré en hiver 2003-2004.

La parcelle « PL1 » présente, de 2002 à 2004, des reliquats azotés faibles. En 2003 et 2004, la concentration en nitrate dans les eaux récoltées dans le lysimètre installé dans cette parcelle pouvait être qualifiée de faible. Par la suite, suite à la présence d'une nappe perchée, l'exutoire du lysimètre a régulièrement été fermé afin de ne pas drainer la nappe. Néanmoins, les observations faites dans le lysimètre en 2006 (concentration très élevée en nitrate) correspondent aux reliquats azotés très élevés mesuré en 2005.

La parcelle « PL3 » présente de 2002 à 2005 des reliquats azotés faibles. Du printemps 2004 au printemps 2006, la concentration en nitrate dans les eaux récoltées dans le lysimètre installé dans cette parcelle pouvait être qualifiée de faible à moyenne. Les observations réalisées dans ce lysimètre au cours de l'hiver 2006-2007 montre une concentration très élevée en nitrate. Fin 2006, le reliquat azoté mesuré dans cette parcelle était également très élevé. Le temps de réponse de ce lysimètre serait-il plus rapide (quelques semaines) que celui des autres lysimètres (quelques mois) ?

A la lumière de ces observations, il apparaît donc qu'il existe une correspondance entre le reliquat azoté mesuré dans le sol et la concentration en nitrate mesurée dans l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres. Le temps de réponse (reliquat – concentration) est généralement de l'ordre d'un an. Cet aspect devra cependant être confirmé par l'expérimentation (en cours) sur deux des six lysimètres à base d'azote marqué (N^{15}).

Reliquat azoté (kg N-NO ₃ /ha)	Evaluation
inférieur à 35	faible
entre 35 et 70	moyen
entre 70 et 105	élevé
supérieur à 105	très élevé

En plus de sa qualité d'indicateur d'une bonne gestion de l'azote, il apparaît, grâce aux observations réalisées dans les lysimètres, que l'APL est également un bon indicateur de la qualité de l'eau de percolation. Il conviendrait maintenant de modifier les pratiques agricoles (succession de culture plus adaptée et présence régulière de CIPAN) sur certains des lysimètres pour valider l'impact prépondérant des pratiques agricoles sur la concentration en nitrate de l'eau de lixiviation.

La Structure d'encadrement Nitrawal a, à l'initiative de GRENeRA, proposé en 2007 une révision des classes de cultures pour pouvoir mieux évaluer les reliquats azotés qui seront, dans les années à venir, mesurés entre autres dans un échantillon aléatoire d'exploitations agricoles en zone vulnérable.

Cette révision devrait conduire à l'abandon des classes de culture C1, C2 et C3 au profit de classes plus 'explicites' (betterave, pomme de terre, maïs, ...). De la sorte, un maïs ne sera plus évalué sur base de la médiane des observations faites dans le Survey Surfaces Agricoles pour les cultures classées en C3 (pomme de terre, maïs, légumes, ...) mais bien sur les seules observations faites en maïs.

4.3 Bilan Hydrologique

Les tableaux 14 et 15 font la synthèse de la pluviométrie, l'ETM (Evapotranspiration Maximale), les irrigations et des volumes récoltés par parcelle. L'ETM est obtenue en multipliant l'évapotranspiration réelle (ETP) par un coefficient de consommation en eau des cultures (Kc). Le coefficient Kc varie selon les cultures et leur stade de développement (germination, croissance, maturation). Le bilan hydrologique prend également en compte l'eau qui a été apportée par irrigation. Ce calcul de drainage ne prend pas en compte les phénomènes de ruissellement, d'écoulements hypodermiques, de redistribution dans le sol, etc. pour lesquels il faut passer par de la modélisation mathématique. La valeur reste sur évaluée.

P= Pluviométrie (mm), ETM = Evapotranspiration Maximale (mm), IRR = irrigation (mm), V = volume récolté (l)

Tableau 20 : Parcelles sole 4, PL1 et PL3, Pluviométrie, ETM, Irrigation, Drainage potentiel par saison de drainage

Mois	P	Sole4				PL1				PL3			
		ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V
Sept. 2003	31	15,5		15,5	0	58,3		-27,3	0.1	15,9		15,1	0
Octobre	64	6,6		57,4	0	14,9		49,1	0.1	7,8		56,2	0
Novembre	65	7,9		57,1	0	3,8		61,2	0.3	9,5		55,5	0
Décembre	65	6,2		58,8	0	5,9		59,1	1.0	6,2		58,8	13.8
Janv. 2004	154	3,2		150,8	0	5,4		148,6	126.1	3,2		150,8	484.1
Février	49	5,3		43,7	35.6	10,1		38,9	133.2	5,3		43,7	411.6
Mars	25	9,4		15,6	19.2	21,4		3,6	155.0	9,4		15,6	357.4
Avril	37	16		21	5.8	51,7		-14,7	89.1	21,4		15,6	56
Mai	48	21,9		26,1	1.0	84,9		-36,9	17.6	47,9		0,1	8.3
DRAINAGE I	538	92		446	61.6	256,4		281,6	522.5	126,6		411,4	1331.1
Juin	61	35,5		25,5	0.4	89,6		-28,6	0.4	80,1		-19,1	2.6
Juillet	132	67		65	0	58,1		73,9	1	94,4		37,6	1.4
Août	147	41,4		105,6	25.0	23,5		123,5	0.1	78,7		68,3	3.5
Septembre	83	16,6		66,4	20.9	17,8		65,2	207.3	43,2		39,8	4.1
Octobre	68	8,3		59,7	4.2	14,1		53,9	386.5	8,3		59,7	4.1
Novembre	78	2,6		75,4	15.2	7		71	Fermé	2,6		75,4	15.3
Décembre	66	2,4		63,6	18.8	2,3		63,7	Fermé	2,4		63,6	7.9
Janv. 2005	45	6,9		38,1	29.0	4		41	Fermé	6,9		38,1	80.5

Mois	P	Sole4				PL1				PL3			
		ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V
Février	81	7		74	69,3	3,4		77,6	Fermé	7		74	Fermé
Mars	14	19,9		-5,9	20,1	8,5		5,5	Fermé	19,9		-5,9	Fermé
Avril	35	45		-10	0,3	14,2		20,8	Fermé	45		-10	Fermé
DRAINAGE II	617	252,6	0	557,4	202,8	242,5	0	567,5	595,2	388,5		421,5	119,2
Mai	110	91,2		18,8	0	25,9		84,1	0	91,2		18,8	0
Juin	25	104,1		-79,1	0	71,6	20	-26,6	28,4	104,1		-79,1	2,3
Juillet	117	52,3		64,7	1,0	80,9	55	91,1	1,0	52,3		64,7	0,7
Août	51	20,9		30,1	0,1	28,2	20	42,8	0	20,9		30,1	0
Septembre	36	16,4		19,6	3,0	15,1		20,9	0	15,1	33	20,9	0,1
Octobre	42	17,9		24,1	0	7,4		34,6	0	8		34	0
Novembre	39	10		29	0	3,7		35,3	0	5,9		33,1	0
Décembre	31	3,6		27,4	0	2,3		28,7	111,3	3,6		27,4	0,2
Janv. 2006	18	2,2		15,8	0	4,1		13,9	Fermé	2,2		15,8	0
Février	44	3		41	0	6,3		37,7	Fermé	3		41	0
Mars	53	7,6		45,4	0	17,9		35,1	Fermé	7,6		45,4	192,9
Avril	30	19,1		10,9	0	52,8		-22,8	Fermé	16,2		13,8	137,8
Mai		48,8			0	83,8		-83,8	9,0	21,6		-21,6	24,1
DRAINAGE III	596	397,1	0	247,7	4,1	400	95	291	149,8	351,7	33	277,3	358,1
Juin	21	105,3	92	7,7	0	107,5		-86,5	0	35,3		-14,3	80
Juillet	85	85,8	49	48,2	0	93,3		-8,3	0	86,5		-1,5	0
Août	190	47,4	20	162,6	0,2	18,9		171,1	0	61	20	129	101
Septembre	9	59,6		-50,6	0	18,9		-9,9	0,2	18,1		-9,1	107
Octobre	53	8,5		44,5	0,5	14,2		38,8	94	8,5		44,5	0,1
Novembre	63	4,2		58,8	0,4	11		52	76	4,2		58,8	26
Décembre	71	4,7		66,3	25	10,3		60,7	317	4,7		66,3	186
Janv. 2007	71	7,5		63,5	20	4,3		66,7	Fermé	7,5		63,5	124
Février	61	7,9		53,1	44	3,9		57,1	Fermé	7,9		53,1	128
Mars	63	22,3		40,7	31	9,5		53,5	Fermé	22,3		40,7	562
Avril	0	86,2		-86,2	4	26,4		-26,4	Fermé	86,2		-86,2	3
DRAINAGE IV	676	439,4	161	408,6	124	318,2	95	368,8	488	342,2	20	364,8	1316

Tableau 21 : Pluviométrie, ETM, Irrigation, Drainage potentiel par saison de drainage, parcelles Chemin de fer, Petit Pont et Bovenistier

Mois	P	Bovenistier				Chemin de Fer				Petit Pont			
		ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V
Sept. 2003	31	17,5		13,5	0	53,0		-22,0	0	34,8		-3,8	0
Octobre	64	14		50	0	20,4		43,6	0	6,1		57,9	0
Novembre	65	10,2		54,8	0	6,8		58,2	0	3,3		61,7	0
Décembre	65	4,1		60,9	0	4,1		60,9	0	4,1		60,9	0
Janv. 2004	154	3,2		150,8	0	3,2		150,8	0	3,2		150,8	0
Février	49	5,3		43,7	0	5,3		43,7	0	5,3		43,7	0
Mars	25	9,4		15,6	0	9,4		15,6	0	9,4		15,6	0
Avril	37	21,6		15,4	0	22,1		14,9	0	16,3		20,7	0
Mai	48	59		-11	0	61,1	30	-13,1	0	30,2		17,8	0
DRAINAGE I	538	144,3		393,7		185,4	30	352,6	-	112,7		425,3	0
Juin	61	88,4	15	-27,4	0	31,3		29,7	0	58,1		2,9	0
Juillet	132	40,8	15	91,2	0	59,2		72,8	0	88,3		43,7	0
Août	147	51,6	15	95,4	0	41,2	15	105,8	0	75,1		71,9	0
Septembre	83	54,8		28,2	0	17,8		65,2	2,9	41,5		41,5	0
Octobre	68	26,8		41,2		19,2		48,8	6,2	8		60	0.1
Novembre	78	2,1		75,9		7,0		71,0	18.1	2,1		75,9	0
Décembre	66	1,6		64,4	5,9	2,3		63,7	12.6	1,6		64,4	0.5
Janv. 2005	45	4		41	24,0	4,0		41,0	24,8	4		41	0.2
Février	81	3,4		77,6	57.3	3,4		77,6	66.6	3,4		77,6	42.5
Mars	14	8,5		5,5	6.6	8,5		5,5	8.9	8,5		5,5	0.2
Avril	35	14,3		20,7	1.0	15,6		19,4	1.5	14,6		20,4	0.8
DRAINAGE II	810	296,3	45	513,7	94.8	209,5	15	600,5	141,6	305,2		504,8	46.1
Mai	110	31,5		78,5	0.1	40,8		69,2	3.8	39,9		70,1	1.9
Juin	25	65,8	15	-40,8	0	70,9		-45,9	3.2	92,8		-67,8	0.7
Juillet	117	79,4	18	37,6	9.4	70,8		46,2	1.6	77,2		39,8	0.9
Août	51	68,5		-17,5	0	70,5		-19,5	7	42,2		8,8	0
Septembre	36	52,9		-16,9	0	55,3		-19,3	0	19,7		16,3	0
Octobre	42	25		17	0	26,2		15,8	0	7,1		34,9	0

Mois	P	Bovenistier				Chemin de Fer				Petit Pont			
		ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V	ETM	IRR	D	V
Novembre	39	3		36	0	10,2		28,8	0	3		36	0
Décembre	31	1,5		29,5	0	1,6		29,4	0,3	1,5		29,5	0
Janv. 2006	18	2,2		15,8	0	3,5		14,5	0	2,2		15,8	0
Février	44	3		41	0	5,9		38,1	0	3		41	0
Mars	53	7,6		45,4	0	19,6		33,4	15,5	7,6		45,4	0
Avril	30	16,7		13,3	0	54,3		-24,3	13,9	18,2		11,8	0
Mai		34,4		-34,4	0	83,8		-83,8	0,2	37,1		-37,1	0
DRAINAGE III	596	391,5	33	237,5	9,5	513,4	0	82,6	45,3	351,5		244,5	3,5
Jun	21	93,8	15	-72,8	0	107,5		-86,5	0	84,2		-63,2	0
Juillet	85	137,5	60	-52,5	0	94,2		-9,2	0	147,6		-62,6	0
Août	190	41,8		148,2	0	20,9		169,1	0	69,4		120,6	0
Septembre	9	25,1		-16,1	0	18,1		-9,1	0	66,6		-57,6	0,1
Octobre	53	10,3		42,7	0	8,3		44,7	0	30,5		22,5	0
Novembre	63	3,3		59,7	0	3,3		59,7	0	4,9		58,1	0
Décembre	71	3,1		67,9	5	3,1		67,9	0	3,1		67,9	0
Janv. 2007	71	4,3		66,7	25	4,3		66,7	14	4,3		66,7	0
Février	61	3,9		57,1	41	3,9		57,1	30	3,9		57,1	0
Mars	63	9,5		53,5	40	9,5		53,5	34	9,5		53,5	
Avril	0	36,4		-36,4	1	26,6		-26,6	0,2	30,2		-30,2	
DRAINAGE IV	687	369	75	383	111	299,7	0	387,3	78	454,2		232,8	0,1

Dans ces tableaux, P est la pluviométrie (mm) ;
 ETM est l'évapotranspiration maximale (mm) ;
 Irr sont les lames d'eau apportées par irrigation (mm) ;
 D est le drainage ($=P + Irr - ETM$) en mm et
 V le volume récolté par percolation (l).

Les saisons de drainage considérées vont du mois de septembre 2003 au mois de mai 2004 pour la saison de drainage I, du mois d'août 2004 au mois de février 2005 pour la saison de drainage II, de mai 2005 à mai 2006 pour la saison de drainage III, et de mai 2006 à Avril 2007 pour la saison de drainage IV.

Le lysimètre de la parcelle SOLE 4 montre que les volumes récoltés par percolation correspondent à 15% du drainage potentiel pour la première saison de drainage et 36% pour la seconde saison observée. La troisième saison ne percole qu'à la fin de l'été, ensuite rien durant l'automne, l'hiver et le printemps. La quatrième saison percole 30% du drainage potentiel.

Par rapport à la pluviométrie, le lysimètre permet d'en récolter 11% durant la première saison de drainage, 33% pour la seconde et 18% pour la quatrième. Pour une pluviométrie ramenée à 100%, on considère que 6 à 28% migreront en profondeur et participeront à la recharge des nappes d'eau souterraines (Sohier, 2007).

Le lysimètre de cette parcelle en récoltant bien cette fraction répond donc parfaitement à son objectif d'outil de suivi de la qualité de l'eau en phase de migration vers les couches profondes du sol.

La parcelle chemin de Fer est la parcelle qui a percolé les quantités les plus importantes durant le drainage III. La saison II a récolté 18% de la pluviométrie de la saison correspondante, la saison III 7% et la saison IV 11%. Ces fractions restent dans l'écart de 6-28% mentionnés ci-dessus et permettent de confirmer le bon fonctionnement hydrologique du lysimètre de cette parcelle.

Malgré une mise en route plus tardive, les volumes d'eau récoltés par percolation à la parcelle Bovenistier atteignent 16% de la pluviométrie totale pour la quatrième saison de drainage, et 12% pour la seconde. La troisième saison ne percole qu'à la fin de l'été.

Dans les mêmes conditions, la parcelle Petit Pont arrive péniblement à 6% pour la seconde saison de drainage et ne répond plus correctement depuis lors. L'hypothèse d'une couche de sous surface imperméable (type semelle de labour), combiné à une topographie non parfaitement plane, favoriserait les écoulements hypodermiques latéraux et non verticaux à l'aplomb du lysimètre. Pour y remédier, cette couche tassée et imperméable a été entaillée manuellement à la bêche, sans doute trop tard dans la saison que pour en observer les effets par un récolte d'eau de percolation à l'exutoire du lysimètre.

Les lysimètres des parcelles PL1 et PL3 ont recueilli de l'eau par percolation dès la première saison de drainage. Cependant, les quantités d'eau récoltées plus importantes que la pluviométrie illustre un captage de la nappe.

La parcelle PL1 a été cultivée par une céréale. Cette culture, combinée à un mois d'août pluvieux a permis une mise à saturation du sol rapide, qui n'a plus été en mesure d'absorber la remontée saisonnière de la nappe. Une vanne ferme l'exutoire du lysimètre de la parcelle PL1

au mois d'octobre 2004. Pour les troisième et quatrième saisons, l'exutoire est fermé au mois de janvier 2006 et 2007.

Par opposition, l'exutoire de la parcelle PL3 n'est fermé par une vanne qu'au mois de janvier 2005 et n'est pas fermé durant la saison III ni IV. Sur site, les parcelles sont concernées par la remontée de la même nappe en surface et sont inter distantes de 300 m. La vitesse de remontée plus lente sur la parcelle PL3 s'explique par la culture de betteraves, grande consommatrice en eau, menée durant l'année 2004. Le sol laissé après la culture de betteraves est plus asséché que par la culture de céréales de la parcelle PL1. Les céréales de la PL1 ont été récoltées dans la première quinzaine d'août et les betteraves de la PL3 ont été parmi les premières parcelles de betteraves récoltées, dans la première quinzaine de septembre.

Pour la saison III, la culture de céréales a laissé un profil de sol de faible humidité en profondeur. La remontée de nappe n'atteint pas la surface et témoigne de la sécheresse de l'hiver. La douceur et sécheresse de l'automne 2006 a induit les mêmes conditions de teneur en humidité des sols.

Le bilan de la troisième saison de drainage était médiocre du point de vue percolation et volumes récoltés. La quatrième saison permet de valider le bon fonctionnement des lysimètres. Le bilan de la quatrième saison de drainage suit les saisons météorologiques. L'automne a été doux et sec et les lysimètres n'ont pas débités. L'hiver a été plus pluvieux et tous les lysimètres (à l'exception de la parcelle Petit Pont) ont permis la récolte d'eau de percolation.

Les quantités récoltées dans les lysimètres, ramenées en pourcentage de la pluviométrie correspondent à la fraction admise et reconnue des eaux en voie de migration vers les horizons plus profonds et participant à la recharge des nappes. D'un point de vue quantitatif, les lysimètres répondent dès lors aux attentes qu'il leurs étaient demandées, à savoir de permettre la récolte et le suivi de la qualité des eaux en voie de migration vers les nappes d'eau souterraines.

Il reste néanmoins qu'il convient d'attendre encore quelques années pour que le sol soit remis en place dans les lysimètres et leurs alentours. Il ne faut également pas perdre de vue que les lysimètres installés sont des systèmes fermés mais enfoncés à 50 cm sous la surface du sol, soit des systèmes semi-fermés, ce qui génère des pertes. Encore une fois nous réitérons la mise en garde concernant l'interprétation des résultats des lysimètres sachant qu'ils analysent les effets sur une portion très limitée de la parcelle agricole et que leur mise en place même génère des conditions qui s'écartent de la réalité. Notamment, la création artificielle d'une nappe à la base du lysimètre et les conditions hydrodynamiques qui en sont issues modifient l'écoulement des eaux vers la nappe.

4.4 Bilan Azoté

Les lysimètres ont été installés en plein champ et en conditions réelles d'exploitation afin de déterminer si l'application des normes d'épandage définies par le PGDA entraînera des eaux de percolation vers les nappes qui soient respectueuses des normes de potabilité (point de vue nitrate).

Le bilan azoté est approché pour les parcelles qui ont permis la récolte d'un plus grand nombre de mesures, soit la parcelle SOLE 4 qui a récolté des percolats dès la première saison de drainage et la parcelle Chemin de Fer qui a rapidement percolé dès la deuxième saison de drainage. Ces deux sites lysimétriques ne sont concernés ni par la remontée de nappe en surface, ni par un drainage faible ; ce qui nous assure une meilleure fiabilité des mesures observées. C'est également sur ces parcelles que des essais complémentaires à l'azote isotopique sont réalisés afin d'affiner le bilan azoté.

Les tableaux 16 et 17 présentent le bilan azoté pour la parcelle chemin de Fer et sole 4, respectivement.

Tableau 22 : Bilan azoté de la parcelle Chemin de Fer

Année	ENTREE		KgN/ha	SORTIE + Immobilisation		KgN/ha	SOLDE
2002 (Bett)	Stock initial	Estimé	40	Stock final	Mesuré	31	
	Importation	Mesuré	230	Exportation	Mesuré	112	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	130	
				Percolation	Non connu	-	
	Total		360	Total		273	
2003 (fève/ chx fr)	Stock initial	Mesuré	63	Stock final	Mesuré	110	
	Importation	Mesuré	288	Exportation	Mesuré	447	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	200	
				Percolation	Non connu	-	
	Total		441	Total		757	
2004 (ép/har)	Stock initial	Estimé	80	Stock final	Mesuré	93	
	Importation	Mesuré	170	Exportation	Mesuré	77	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	145	
				Percolation	Mesuré (09/04-02/05)	19	
	Total		340	Total		315	
2005 chicor.	Stock initial	Estimé	40	Stock final	Mesuré	52	
	Importation	Mesuré	46	Exportation	Estimé	80	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	60	
				Percolation	Mesuré (05/05-05/06)	8	
	Total		176	Total		192	

2006 From.	Stock initial	Mesuré	52	Stock final	Mesuré	185
	Importation	Mesuré	648	Exportation	Mesuré	190
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	20
	Total		790	Total		395
				Percolation	Mesuré (01/07-04/07)	12

Les valeurs mesurées correspondent à des mesures de terrains ; les valeurs estimées ont été trouvées dans la bibliographie et les rapports d'autres essais expérimentaux des gestion de l'azote menés sur le périmètre (données des Services Agricoles de la Province de Liège, Waremme).

Les stocks initial et final correspondent au reliquat azoté mesuré avant l'implantation de la culture (qui permet le conseil de fumure adapté) et en post-récolte.

Les importations correspondent aux fertilisations apportées.

Les exportations sont la part d'azote comprise dans la culture exportée et non restituée au sol.

La minéralisation concerne la transformation (essentiellement) en azote nitrique d'une part du pool de l'azote qui est réorganisé sous forme d'humus dans sol (Nitrawal, 2004).

Les résidus de culture sont la part du végétal cultivé qui n'est pas emporté lors de la récolte et qui est restituée au sol par enfouissement.

L'année 2002 montre un solde positif, soit que les apports azotés pour la culture de betterave ont été supérieurs aux sorties.

L'année 2003 montre l'inverse, avec un solde négatif et des sorties plus importantes que les entrées, les exportations étant importantes. Il est à noter que pour ces deux années, aucune mesure de quantité percolée n'était réalisable. Une partie de ce solde a quitté ces couches par percolation.

L'année 2004, où le bilan a pu être affiné par des données récoltées dans le cadre d'un doctorat sur ce site présente un surplus des inputs par rapport aux outputs. Il est intéressant et encourageant pour le bon fonctionnement du lysimètre de remarquer pour cette année 2004, que sur 25 unités d'azote (UN) en surplus en sortie mesurée et estimée, 19 UN sont récoltées par percolation, soit 76 %. Vanderheyden et Scokart (1997) mentionnent des estimations de pertes par lessivage à 80 % des pertes totales.

L'année 2005 montre un solde qui n'est que très légèrement négatif.

L'année 2006 révèle toute la difficulté de mener des essais expérimentaux en conditions réelles d'exploitation. Une erreur de l'agriculteur dans un épandage de compost à l'automne 2006 compromet toute interprétation du bilan azoté pour cette parcelle pour cette année. Le déséquilibre est évident, les entrées ayant été trop importantes en terme de fertilisation azotée. Cet incident est par contre révélateur d'accidents ponctuels qui arrivent en conditions réelles d'exploitation.

Si on fait un bilan des 4 premières années, le total des entrées (stock initial + apport) est de 774 kg N/ha. Le total des sorties (exportation + stock final) est de 795 kg N/ha. Cette approche indique un bilan globalement équilibré. Elle apparaît d'autant plus précise puisque

les valeurs estimées (minéralisation, apport des résidus de culture) ne sont plus prises en compte car ne sortant pas directement du système « lysimètre ».

Tableau 23 : Bilan azoté de la parcelle sole 4

Année	ENTREE		KgN/ha	SORTIE + Immobilisation		KgN/ha	SOLDE
2002 (Bett)	Stock initial	Estimé	40	Stock final	Mesuré	46	18
	Importation	Mesuré	146	Exportation	Mesuré	112	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	100	
				Percolation	Non connu	-	
	Total		276	Total		258	
2003 (from.)	Stock initial	Mesuré	46	Stock final	Mesuré	53	117
	Importation	Mesuré	249	Exportation	Mesuré	194	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	21	
				Percolation	Mesuré	8	
	Total		385	Total		268	
2004 (har.)	Stock initial	Estimé	53	Stock final	Mesuré	100	-14
	Importation	Mesuré	136	Exportation	Mesuré	53	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	140	
				Percolation	Mesuré (09/04-02/05)	24	
	Total		279	Total		293	
2005 (from.)	Stock initial	Estimé	100	Stock final	Mesuré	37	84
	Importation	Mesuré	143	Exportation	Mesuré	190	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	20	
				Percolation	Mesuré	1	
	Total		333	Total		247	
2006 Fèves Ép.	Stock initial	Mesuré	27	Stock final	Mesuré	73	100
	Importation	Mesuré	138	Exportation	Mesuré	52	
	Minéralisation	Estimé	90	Résidu culture	Estimé	30	
				Percolation	Mesuré	13	
	Total		255	Total		155	

Comme pour le tableau 17, les valeurs mesurées correspondent à des mesures de terrains ; les valeurs estimées ont été trouvées dans la bibliographie et les rapports d'autres essais expérimentaux des gestion de l'azote menés sur le périmètre (données des Services Agricoles de la Province de Liège, Waremme). Les stocks initial et final correspondent au reliquat azoté mesuré avant l'implantation de la culture (qui permet le conseil de fumure adapté) et en post-

récolte. Les importations correspondent aux fertilisations apportées. Les exportations sont la part d'azote comprise dans la culture exportée et non restituée au sol. La minéralisation concerne une part de l'azote contenu dans l'humus du sol qui est transformé en azote assimilable par les plantes (Nitrawal, 2004). Les résidus de culture sont la part du végétal cultivé qui n'est pas emporté par la récolte et qui est restitué au sol par enfouissement.

L'année 2002, montre un solde positif, sous la culture de betteraves, tel qu'à la parcelle précédente, avec des intrants supérieurs aux sorties. L'année 2003 affiche un bilan azoté qui témoigne de très faibles pertes azotées. Ce qui est mesuré comme pertes par percolation est très nettement inférieure à la perte totale estimée. L'importance du solde, partie non expliquée du bilan, réside en partie dans le fait que l'azote immobilisé par l'avoine, semé en inter culture après le froment, n'a pu être mesuré. D'autre part, il faut prendre en compte que l'on est dans la première phase de percolation du lysimètre qui a suivi son installation.

L'année 2004, où la parcelle a été cultivée de haricots, présente des entrées plus faibles que les sorties. Pourtant des pertes par percolations sont enregistrées. On peut supposer que les mesures concernent les horizons de surface, jusqu'à la profondeur de 90 cm (mesures APL) alors que les lysimètres récoltent l'eau de percolation à la profondeur de 2 m. La progression des ions nitrates dans ce type de sol étant estimée à 1m/an (Dautrebande, 1996), l'azote nitrique mesuré dans les eaux de percolation correspond sans doute au défaut de bilan azoté de l'année 2004.

L'année 2005 présente un bilan globalement excédentaire (solde de 84 kg N/ha). Une partie de l'explication de ce solde réside vraisemblablement dans la faible percolation (4 mm pour près de 600 mm de pluie)

L'année 2006 présente également un bilan excédentaire de 100 Kg N/ha, sachant que 13 kg N/ha sont sorti du profil avec les eaux de percolation. L'implantation rapide de la culture suivante, qui est un froment d'hiver, combiné à la douceur automnale qui en a permis un bon développement, explique que la majorité de cet excédent est prélevé et utilisé pour la croissance et le développement du froment, tel qu'observé par les mesures de la convention annexe (cfr essai à l'azote ^{15}N).

Le résidu de culture des épinards est élevé et l'exportation faible car la hauteur de coupe à la récolte était haute, laissant en place une bonne partie des épinards, malgré une deuxième fauche tardive.

5 Conclusion

La première convention a permis l'étude de la percolation de l'azote nitrique en profondeur en conditions réelles (in situ), sur des terres agricoles par la technique lysimétrique. Cette deuxième convention assure un suivi des mesures et interprétations des résultats obtenus. Une étude bibliographique a permis de dresser l'inventaire des techniques lysimétriques et leur mode de fonctionnement, de comprendre les bases du transfert de solutés dans les sols et de l'azote nitrique en particulier, partie intégrante du cycle complexe de l'azote. Le choix des systèmes lysimétriques s'est porté sur des systèmes semi-fermés, de types sol remaniés et sol non remaniés.

Le choix des sites et leur caractérisation sont exposés. Les conditions météorologiques ont montré que ces essais de percolation se déroulent, suite et durant, des périodes de sécheresse prolongée, fortement défavorables pour l'année 2003-2004. La situation se régularise ensuite, mais reste dans un cycle de sécheresse avec un approvisionnement en eau des nappes faibles durant l'hivernage 2005-2006.

Sur les six lysimètres installés depuis l'été 2003, trois d'entre eux ont permis la récolte d'eau de percolation à 2 m de profondeur, sans distinction entre systèmes sol remaniés ou sol non remaniés durant la première saison de drainage (2003-2004). Tous les sites entrent en phase de percolation pour ce second hivernage (2004-2005), moyennant une mise à saturation par remontée capillaire pour deux d'entre eux. 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 ». 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.

Deux lysimètres sont localisés en des endroits où une nappe, ou sa frange capillaire, remonte temporairement jusqu'à la surface durant l'hiver. Une vanne ferme leurs exutoires dès que le niveau de la nappe est supérieur au bord des lysimètres, afin de les empêcher de récolter des eaux par une dynamique de percolation en association à du drainage. Le niveau de la nappe est suivi par des piézomètres en place. Des études ponctuelles annexes ont suivis le niveau piézométrique de la nappe. D'autres mesures ont analysé les teneurs en nitrate dans les drains avoisinants et ont justifié la fréquence hebdomadaire de l'échantillonnage lors de la première subvention. L'un de ces deux lysimètres qui capte une nappe de remontée temporaire et sa frange capillaire n'a pas du être fermé durant ces troisième et quatrième saisons de drainage. Le bilan hydrologique est faussé mais sans débordement excessif, la récolte de cette eau de percolation et drainage permet des mesures ponctuelles de la teneur en azote nitrique contenue dans ces eaux qui approvisionneront en partie les eaux de surface et/ou de profondeur. La remontée de la nappe à un niveau inférieur aux années précédentes témoigne d'un cycle globalement plus sec.

Les sites lysimétriques non influencés par une remontée de nappe en surface, percolent de quelques pourcent à 30% de la pluviométrie enregistrée lors de toutes les saisons de drainage, et plus particulièrement la quatrième saison de 2006-2007. Cette gamme correspond au pourcentage de la pluviométrie totale qui participe à la recharge des nappes par migration vers les horizons profonds. La récolte de ce pourcentage d'eau dans les lysimètres témoigne de leur bon fonctionnement, étant de moins en moins sensibles aux perturbations dues à l'installation.

Aucune corrélation directe n'est possible entre la pluviométrie quotidienne ou hebdomadaire et les volumes récoltés hebdomadairement par percolation à 2 m de profondeur. Le phénomène « pluviométrie/percolation » n'est pas du type « impulsion/réponse » et explique le recours habituel aux modèles mathématiques, qui intègrent des paramètres tels que le ruissellement, l'interception, la redistribution dans le sol, l'état hydrique du sol, l'évaporation, etc. L'habitude du terrain montre que le délai habituel entre une forte pluie et une quantité d'eau de percolation plus importante varie entre une semaine à 10 jours.

A l'exception des deux lysimètres qui interceptent la nappe ou la frange capillaire, les quatre lysimètres installés présentent des eaux de percolation dont des teneurs en nitrate sont souvent supérieures à la norme de potabilité de l'eau.

Ces mesures correspondent à quatre années de récolte d'eau de percolation par la technique lysimétrique. La validité de cette technique repose sur un suivi sur de plus longues périodes, afin de permettre au sol de se remettre en place et de corrélérer les actions en surface avec les phénomènes observés à 2 m de profondeur. L'impact des nouvelles normes et pratiques agricoles doit également faire l'objet d'un suivi sur un plus long terme.

Les premières observations obtenues par ce suivi lysimétrique in situ en conditions réelles d'exploitation, permettent de dégager quelques grands points. Les rotations classiques betteraves – céréales tendent à donner 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 cultures CIPAN permettent d'atténuer le phénomène dans des proportions acceptables. Par contre, malgré l'implantation de culture CIPAN et une gestion fractionnée 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 pouvant être très élevés. Outre les bonnes pratiques de gestion tels que le fractionnement azoté, l'implantation de cultures CIPAN, une couverture hivernale du sol, etc. les rotations et successions culturales semblent avoir un impact prépondérant sur la qualité des eaux observées dans les lysimètres.

L'objectif de cette étude est également de contribuer à valider l'indicateur environnemental APL. Au terme de ces années, il apparaît en première approximation qu'il existe une correspondance entre le reliquat azoté mesuré dans le sol et la concentration en nitrate mesurée dans l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres. Le temps de réponse (reliquat – concentration) est généralement de l'ordre d'un an. Cet aspect devra cependant être confirmé par l'expérimentation (en cours) sur deux des six lysimètres à base d'azote marqué (N^{15}).

En plus de sa qualité d'indicateur d'une bonne gestion de l'azote, il apparaît, grâce aux observations réalisées dans les lysimètres, que l'APL est également un bon indicateur de la qualité de l'eau de percolation. Il conviendrait maintenant de modifier les pratiques agricoles (succession de culture plus adaptée et présence régulière de CIPAN) sur certains des lysimètres pour valider l'impact prépondérant des pratiques agricoles sur la concentration en nitrate de l'eau de lixiviation.

La Structure d'encadrement Nitrawal a, à l'initiative de GRENeRA, proposé en 2007 une révision des classes de cultures pour pouvoir mieux évaluer les reliquats azotés qui seront, dans les années à venir, mesurés entre autres dans un échantillon aléatoire d'exploitations agricoles en zone vulnérable.

Cette révision devrait conduire à l'abandon des classes de culture C1, C2 et C3 au profit de classes plus 'explicités' (betterave, pomme de terre, maïs, ...). De la sorte, un maïs ne sera plus évalué sur base de la médiane des observations faites dans le Survey Surfaces Agricoles pour les cultures classées en C3 (pomme de terre, maïs, légumes, ...) mais bien sur les seules observations faites en maïs.

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 sachant toutefois qu'il s'agit d'un artefact qui simule mais ne représente pas la réalité. L'idéal serait de combiner la modélisation mathématique des transferts de flux locaux à cet outil, qui à montrer ses possibilités mais aussi ses limites.

Les informations fournies par ces suivis lysimétrique confirment la fiabilité et la pertinence des APL de références. Les valeurs mesurées en terme de lixiviation d'azote nitrique montrent la nécessité et la pertinence de 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 de rotations légumières. Ces valeurs qui peuvent être importantes, incitent à continuer les investigations et recherches en matière de gestion de l'azote et de nos sols. Les premiers bilans azotés établis sur des parcelles qui font partie du Survey Surface Agricole sont proches de l'équilibre, montrant qu'une bonne gestion de l'azote est en place.

6 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. **Ballif J.L., Herre C.** 1991. 17 années de mesures lysimétriques en sol de craie non remanié. 1973-1974 à 1989-1990. Trvx. St. Agro. INRA. Châlon sur Marne. Publ. N°202.
3. **Bear J., Verruijt A.** (1987). Modeling groundwater flow and pollution. Ed reidel, Dordercht.
4. **Billen G.** (1991). Le rôle des milieux aquatiques dans le cycle global de l'azote. Actes du séminaire organisé à la FUL « Gestion de l'azote agricole et qualité des eaux », mai 1991.
5. **Canter L.W.** (1997). Nitrates in groundwater. CRC press LLC, USA. 263p.
6. **Castany G.** (1967). Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris,. p.148-173.
7. **Chapot J-Y. et col.** *Incidence de l'introduction d'une culture intercalaire entre blé et maïs sur les flux d'azote et d'eau. Etude sur lysimètres pour deux types de sols.* INRA Colmar, 1993, 21p.
8. colloque organisé par le Comifer et l'Académie d'Agriculture de France. Avril 1995. 207p.
9. **Darthout R., Courtemanche P.** (1994). Description détaillée de l'installation des nouvelles cases lysimétriques. Document technique, INRA C.R. Orléans, Station de Science du sol, 1994, 10p.
10. **Dautrebande S.** (1983). Transfert d'humidité dans les sols. Notes de cours dispensés à la FUSAGx, partim Agro-hydrologie, 1^{ère} Ing TC. 115p.
11. **Dautrebande S.** (1996). Programme action – Hesbaye. Rapport scientifique. FUSAGx. 68 p.
12. **Dautrebande S.** (2003). Hydrologie générale. Compléments de physique du sol. Notes de cours dispensés à la FUSAGx. 110p.
13. **De Backer L.W. et al.** (1991). Contamination des eaux souterraines. Actes du séminaire organisé à la FUL « Gestion de l'azote agricole et qualité des eaux », mai 1991.
14. **Fonder N., Vandenberghe C., Xanthoulis D., Marcoen J-M.** (2003). Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture. Rapport d'activités intermédiaire. Période du 1^{er} avril 2003 au 30 septembre 2003. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 48p.
15. **Fonder N., Xanthoulis D.** (2005). *Le bilan azoté évalué par l'outil lysimétrique.* In : Soudi B., Debouche C., Khrim L., Vanoverstraeten M., Ettalibi M. Edts (2005). Maîtrise des flux de matières et rationalisation des pratiques agricoles. Actes Editions, Rabat 2005. (ISBN : 9981-801-67-4), pp 203-216.
16. **Felix R.** (2003) Optimisation de l'irrigation et de la fertilisation azotée : stratégie limitant la pollution des nappes souterraines par les nitrates. Etude et conception d'un projet de recherche. FUSAGx. 30p.
17. **Gego E.** (1991). Modélisation de la dynamique de l'azote dans un sol. Actes du séminaire organisé à la FUL « Gestion de l'azote agricole et qualité des eaux », mai 1991.

18. **Haynes R.J.** (1986). Mineral nitrogen in the soil plant system. Academic press, London.
19. **Hillel D.** (1984). L'eau et le sol. Ed Cabay, Louvain-La-Neuve.
20. **IHD-WHO working group on Quality of water.** – OMS (1978). Water quality surveys. UNESCO, WHO, p148-178.
21. **Muller J.C.** (1996). Un point sur ... trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). INRA, Comifer, 1996. 389p
22. **Nitrawal.** (2007). Le nouveau Programme de Gestion Durable de l'Azote. Edition février, 2007. 4p.
23. **Sohier C.** (2007). Présentation à Nitrawal *Dynamique des eaux de lessivage dans la zone vadose : processus et modélisation.*
24. **Thirion M., Mulders Ch.** (2006). Le programme de gestion durable de l'azote *change.* Les cahiers de l'agriculture, n°42, Novembre 2006.
25. **Tychon B.** (1991). Modélisation du mouvement de l'eau et de l'azote nitrique dans un sol. Actes du séminaire organisé à la FUL « Gestion de l'azote agricole et qualité des eaux », mai 1991.
26. **UNESCO.** (1986). Pollution et protection des aquifères. Etude et rapport d'hydrologie 30. Projet 8.3 du programme Hydrologique International, 434p.
27. **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.
28. **Vanderheyden V., Stockart P.** (1997). Quantification, pour les eaux de surface de Wallonie, des apports en nutriments issus de l'activité agricole. Etude réalisée pour le Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Direction des Eaux de Surface. 48p.
29. **Warin A., Bernaerdt R., Delcarte E., Maesen P., Naud J., Marcoen J-M.** Développement d'un système harmonisé de surveillance de la qualité des terres agricoles en Région Wallonne anticipant la future directive européenne sur les sols. Biotechnologie Agronomie Société Environnement (BASE). 2004 **8** (2), 69-82. Fac. Univ. Sc. Agr. Gembloux.
- 30.

Sites Web consultés:

Europa, portail de l'Union européenne : http://www.europa.eu.int/index_fr.htm

US EPA (Environmental Protection Agency) : <http://www.epa.gov/>

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

7 Bibliographie complémentaire

(sans référence directe dans le texte)

1. **Barriuso E. et col.** *Résidus d'atrazine et de pendiméthaline dans les sols : influence du mode de fertilisation.* Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv., Gent 53/3b, 1988.
2. **Chapot J-Y. et col.** *Incidence de l'introduction d'engrais verts dans une rotation blé-maïs sur les flux d'azote et d'eau. Résultats obtenus sur cases lysimétriques et au champ.* INRA Colmar, 1988, 36p.
3. **Citeau L. et col.** *Nature des sols et nature des colloïdes circulant dans les eaux gravitaires : étude in situ.* C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes 332(2001) 657-663.
4. **Copin A. et col.** *Methodology for microlysimeters set up in semi-controlled or field conditions.* Pesticide/soil interactions. Cornejo J., Jamet P, coord, p 261-266. INRA, 2000.
5. **Deleu R. et Copin A.** *Analyse de résidus de pesticides par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Application au dosage du carbofuran et de l'atrazine.* Bulletin de Recherches Agronomiques de Gembloux (1987) 22 (2). p121-132.
6. **Deleu R., Copin A. et col.** *Répartition de l'atrazine dans les sols après applications répétées. Cas d'une monoculture de maïs pour l'ensilage d'un verger.* Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv., Gent 57/3b, 1992.
7. *Environment* 221 (1998) 159-169.
8. **Giraud G. et col.** *Cases lysimétriques de Cadarache : minéralisation et organisation de l'azote dans un agro-système de la basse vallée de la Durance. Impact d'une culture dérobée.*
9. **Griessbach E. et col.** *Assessment of pesticide mobility by packed soil columns and soil thin-layer chromatography.* Pesticide/soil interactions, Cornejo J., Jamet P, coord. p 49-55. INRA, 2000.
10. **Griessbach E.F.C. et col.** *Mobility of a silicone polyether studied by leaching experiments through disturbed and undisturbed soil columns.* The Science of the Total
11. **J.E. Delphin, Schenck C.** *Observation de longue durée des principaux paramètres intervenant dans le transfert de l'eau et des nitrates dans les sols cultivés en Alsace.* INRA Colmar, 1997, 28p.
12. **Semlali R.M. et col.** *Accumulation and redistribution of trace metals in soils affected by diffuse atmospheric deposition.* Pollution atmosphérique n°172, p545-556, oct-déc 2001.
13. **Simon J.C. et col.** *Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole : recherche d'indicateurs de fonctionnement.* Agronomie 20 (2000), p175-195.
14. **Taras M.J., Greenberg A.E. et col.** *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater.* American Public Health Association. Thirteenth edition, 2000, p350-369.

8 Annexes

ANNEXE Ia : Etapes de l'installation d'un lysimètre en sol non remanié

ANNEXE Ib : Etapes de l'installation d'un lysimètre en sol remanié

ANNEXE II : Fiche de terrain, remplie lors de chaque passage sur les sites