



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

RAPPORT FINAL

Période 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2009

Ce document doit être mentionné comme suit :

Deneufbourg M.¹, Vandenberghe C.¹, Fonder N.², Heens B.³, Bernaerdt R.³, Xanthoulis D.², Marcoen J.M.¹, (2009). Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrates et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique. Rapport final, période du 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2009. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech. 83p + annexes.

Le Comité d'Accompagnement est composé de :

- un représentant du Ministre de l'Agriculture et de la ruralité;
- un représentant de la Direction générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement;
- un représentant de l'asbl Nitrawal;
- deux représentants de la cellule GRENeRA – laboratoire de géopédologie (GxABT);
- un représentant de l'asbl EPUVALEAU;
- un représentant de l'asbl CPL Végémar;
- deux agriculteurs chez qui se déroule le projet.

¹ Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech – Laboratoire de Géopédologie – Groupe de Recherche Environnement et Ressources Azotées (GRENeRA)

² Epuvaleau ASBL

³ Services Agricoles de la province de Liège - Centre Provincial Liégeois des Productions Végétales et Maraîchères ASBL

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	3
1 INTRODUCTION.....	7
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE	7
1.2 OBJECTIFS DE LA CONVENTION.....	9
1.3 TACHES SPECIFIQUES.....	10
2 HISTORIQUE DES PRECEDENTES SUBVENTIONS	11
2.1 PREMIERE SUBVENTION (PERIODE DU 1 ^{ER} MARS 2003 AU 28 FEVRIER 2005)	11
2.2 DEUXIEME SUBVENTION (PERIODE DU 1ER MARS 2005 AU 31 MAI 2007)	12
2.3 SUBVENTION ANNEXE : « UTILISATION DU TRACEUR ISOTOPIQUE ¹⁵ N POUR AFFINER LES BILANS AZOTES REALISES DANS LE CADRE DE LA SUBVENTION SUIVI LYSIMETRIQUE » (REF 2798/1) (PERIODE DU 1ER JANVIER 2006 AU 30 JUIN 2008).....	13
3 MATERIEL ET METHODE.....	15
3.1 INSTALLATION DES LYSIMETRES	15
3.2 DESCRIPTION DES SITES RETENUS.....	15
3.2.1 <i>Critères de choix</i>	17
3.2.2 <i>Localisation et caractérisation pédologique</i>	17
3.3 METHODOLOGIE DES PRELEVEMENTS ET ANALYSES.....	17
3.3.1 <i>Méthodologie des prélèvements</i>	17
3.3.2 <i>Analyses</i>	18
3.4 DEPLACEMENT D'UN LYSIMETRE.....	19
3.5 DESCRIPTION DES ESSAIS MENES SUR LES SITES LYSIMETRIQUES	21
3.5.1 <i>Description du plan et du calendrier d'expérimentation par parcelle</i>	22
4 RESULTATS	29
4.1 CARACTERISATION CLIMATOLOGIQUE	29
4.2 DONNEES D'IRRIGATION.....	31
4.3 RESULTATS PAR PARCELLES.....	32
4.3.1 <i>Sole 4</i>	32
4.3.2 <i>Grosse Pierre Chemin de fer</i>	40
4.3.3 <i>Gros Thier Bovenistier</i>	47
4.3.4 <i>Grosse Pierre Petit Pont</i>	54
4.3.5 <i>PL1</i>	57
4.3.6 <i>PL3</i>	64
4.3.7 <i>Lysimètres de Gembloux</i>	70
5 VULGARISATION DES ENSEIGNEMENTS	76
5.1 SUR PAPIER.....	76
5.2 EN CHAMBRE.....	76
5.3 SUR LE TERRAIN	77
6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	79
7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	82

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET GRAPHIQUES

Tableau 1. Données météo mensuelles à la station de mesure de Geer	29
Tableau 2. Irrigations sur les parcelles suivies en 2009	31
Tableau 3. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 – 2008.....	32
Tableau 4. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf essai) – 2008	32
Tableau 5. Rendements et poids moyen par carotte obtenus sur la parcelle Sole 4 en 2008.....	34
Tableau 6. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 – 2009.....	34
Tableau 7. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf l’essai) – 2009 ..	34
Tableau 8. Rendements en haricot et rapport grain/gousse obtenus sur la parcelle Sole 4 en 2009.....	35
Tableau 9 : Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	37
Tableau 10. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fève des marais) - 2008	40
Tableau 11. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (chou frisé) - 2008.....	40
Tableau 12. Rendements et tendérométries obtenus sur l’essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fève des marais) - 2008	42
Tableau 13. Rendements et poids moyen par chou obtenus sur l’essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (chou frisé) - 2008	42
Tableau 14. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (poireau)- 2009	42
Tableau 15. Rendements et poids moyen par poireau obtenus sur l’essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer - 2009.....	43
Tableau 16 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	44
Tableau 17. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur la parcelle Gros Thier Bovenistier (froment + Cipan) –2008.....	47
Tableau 18. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Gros Thier Bovenistier (fève des marais) - 2009.....	48
Tableau 19. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Gros Thier Bovenistier (épinard) - 2009.....	48
Tableau 20. Rendements et tendérométries obtenus sur l’essai de la parcelle Gros Thier Bovenistier (fève des marais) - 2009	49
Tableau 21. Rendements et rapports tige-feuille obtenus sur l’essai de la parcelle Gros Thier Bovenistier (épinard d’automne) - 2009	49
Tableau 22 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	51
Tableau 23. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur Grosse Pierre Petit Pont (poireau) – 2008.....	54

Tableau 24. Rendements et poids moyens obtenus sur la parcelle Grosse Pierre Petit Pont (poireau)	55
Tableau 25. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL1 (froment + CIPAN) - 2008	57
Tableau 26. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL1 (fève des marais) - 2009	58
Tableau 27. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL1 (épinard d'automne) - 2009	59
Tableau 28. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle PL1 (fève des marais) - 2009	59
Tableau 29. Rendements et rapports tige-feuille obtenus sur l'essai de la parcelle PL1 (épinard d'automne) - 2009	59
Tableau 30 : Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	61
Tableau 31. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de PL3 (betterave) -2008.....	64
Tableau 32. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle PL3 (excepté l'essai) (betterave)-2008.....	65
Tableau 33. Rendement total et rendement sucre obtenus sur PL3 - betterave.....	66
Tableau 34 : Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	67
Tableau 35. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur les deux lysimètres de Gembloux	71
Tableau 36. Rendements en betterave obtenus sur les lysimètres de Gembloux en 2009	71
Tableau 37 : Lysimètre 1, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	72
Tableau 38. Lysimètre 2, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	73

Figure 1. Carte de localisation des lysimètres PL1, PL3 et Sole 4	16
Figure 2. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Petit Pont et Haute Bova	16
Figure 3. Plan d'expérimentation de la parcelle PL1	23
Figure 4. Plan d'expérimentation de la parcelle PL3	24
Figure 5. Plan d'expérimentation de la parcelle Sole 4	25
Figure 6. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer.....	26
Figure 7. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont	27
Figure 8. Plan d'expérimentation sur la parcelle Gros Thier Bovenistier.....	28
Figure 9. Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de mesure de Geer en 2008 et 2009	30
Figure 10. Pluviométrie, évapotranspiration potentielle et déficit hydrique (mm/mois) en 2008 et 2009 à Geer	30
Figure 11. Résultats APL de la parcelle Sole 4 par rapport aux APL de référence 2008	33
Figure 12. Synthèse des mesures et observations, parcelle sole 4	39
Figure 13. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer par rapport aux APL de référence 2008.....	41

Figure 14. Synthèse des mesures et observations, parcelle Grosse Pierre Chemin de fer	46
Figure 15. Résultats APL de la parcelle Gros Thier Bovenistier par rapport aux APL de référence 2008	48
Figure 16. Synthèse des mesures et observations, parcelle Gros Thier Bovenistier	53
Figure 17. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont par rapport aux APL de référence 2008	55
Figure 18. Résultats APL de la parcelle PL1 par rapport à l'APL de référence 2008	58
Figure 19. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1	63
Figure 20. Résultats APL de la parcelle PL3 par rapport à l'APL de référence 2008	66
Figure 21. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3	69
Figure 22. Synthèse des mesures et observations, lysimètres de Gembloux	75

1 Introduction

Ce rapport finalise (période du 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2009) l'étude réalisée dans le cadre de l'« **Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrate et la validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique** ». Cette subvention (réf. 3523/3) a été allouée par le Service Public de Wallonie à la cellule GRENeRA (laboratoire de Géopédologie – Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech) en collaboration avec l'ASBL Epuvaleau et l'ASBL Centre Provincial Liégeois des Productions Végétales et Maraîchères (CPL Végémar), pour une période de 2 ans (1^{er} janvier 2008 – 31 décembre 2009).

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

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

1.1 Contexte de l'étude

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

La Région wallonne s'est mise en règle face à ces exigences par l'élaboration, suivie de l'application en 2002, du premier Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA), transposition de la Directive Nitrate dans la législation belge. Ce premier programme d'action quadriennal a entre autre fixé des normes en matière d'épandage d'azote minéral et organique ainsi qu'un code de bonnes pratiques agricoles. L'accompagnement des agriculteurs dans ces démarches est réalisé par l'ASBL Nitrawal, créée en 2000 à l'initiative des Ministres de l'Environnement et de l'Agriculture de la Région wallonne. Nitrawal est composé d'une quinzaine d'agents spécialistes de la gestion de l'azote, répartis dans 4 centres d'action régionaux et un centre de coordination situé à Gembloux, de 2 cellules d'appui scientifique (département de Biologie Appliquée et des Productions Agricoles de l'UCL et GRENeRA, Groupe de Recherche Environnement et Ressources Azotées de Gembloux Agro-Bio Tech, ULg), et de 2 partenaires qui assurent le relais auprès des secteurs d'activité de l'eau (AQUAWAL s.a., Union professionnelle des opérateurs publics du cycle de l'eau en Wallonie) et de l'agriculture (FWA, la Fédération Wallonne de l'Agriculture). La surveillance

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

Fin 2005, comme d'autres Etats membres de l'Union européenne, la Région wallonne a été condamnée par la Commission européenne pour transcription incomplète de la Directive Nitrates 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, 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 le deuxième programme d'action 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 Sambre et Meuse, le Pays de Herve et le Sud Namurois étendu dans sa partie nord. Environ 50% de la superficie agricole de la Région wallonne se retrouve dorénavant incluse en zone vulnérable.

Comme dans de nombreuses régions d'Europe, depuis plusieurs décennies, les teneurs en nitrate ne cessent d'augmenter dans les nappes phréatiques wallonnes. En Wallonie, 10% des prises d'eau souterraine échantillonnées en 2002-2003 dépassaient la norme maximale de 50 milligrammes de nitrate par litre d'eau définie comme limite de potabilité par l'OMS. Les différents secteurs de la société (domestique, industriel, agricole) contribuent de manière plus ou moins importante à la pollution des eaux par le nitrate. Chacun pour leur part sont soumis à des obligations spécifiques en la matière.

Le rapport final de la convention « Programme Action Hesbaye » (Dautrebande et al, 1996) a clairement montré qu'à côté de l'agriculture, les secteurs industriel et domestique avaient également un impact sur la qualité des eaux souterraines. Des améliorations sont également en cours dans la gestion des eaux résiduaires issues de ces deux secteurs (traitement tertiaire).

Le « Survey nitrate », tel qu'il est réalisé, présente une vue d'ensemble de l'état (en terme de concentration en nitrate) des eaux souterraines mais ne permet pas de distinguer l'impact d'une politique environnementale mise en place dans l'un ou l'autre secteur d'activité. De plus, le contexte géo-pédologique de certaines régions (en particulier la Hesbaye) est tel que les résultats du Programme de Gestion Durable de l'Azote ne seront mesurables que dans une dizaine d'années ou plus. Le transit des ions lixiviés dans la zone vadose (entre sol superficiel et aquifère saturé) constitue la véritable « inconnue » du système.

Les études précédentes (3523/1 et 3523/2) ont mis en place et exploité six lysimètres en système remanié et non remanié sur des parcelles agricoles dans la région de Hesbaye, principalement à vocation légumière. Ces lysimètres constituent un outil qui permet un suivi quantitatif de la percolation du nitrate au-delà de la zone racinaire. Cette quantification de la

lixiviation de l'azote nitrique a le double but de fournir rapidement et de manière ciblée au secteur agricole une assurance quant à la pertinence des normes et des valeurs d'APL de référence et de permettre de vérifier l'adéquation entre ces valeurs de référence, les conseils de fumure et l'objectif de préservation de la qualité des eaux.

1.2 Objectifs de la Convention

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

Les objectifs de l'étude étaient donc :

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

Le projet était articulé autour de 3 axes :

1. axe « expérimentation » : l'objectif des activités d'expérimentation consistait en la mise au point de successions culturales, incluant en moyenne au minimum une culture légumière sur 2 ans, qui permettent d'obtenir une teneur en nitrate dans les eaux souterraines la plus basse possible. Chacune des 6 parcelles où a été installé un lysimètre a fait l'objet d'un essai. Ces essais se sont sur une durée de 2 ans. Un suivi APL⁴ a permis de rendre compte chaque année du risque de lixiviation de l'azote lié à chacun des scénarios testés sur les différentes parcelles. Pour répondre aux attentes de la Commission européenne, les corrélations APL/azote lixivié ont également été établies. Le scénario testé au droit du lysimètre était celui jugé potentiellement le plus favorable à l'objectif de réduction de la teneur en nitrate de l'eau percolée.
2. axe « analyse technico-économique » : l'objectif de cet axe était d'évaluer de manière chiffrée les impacts technico-économiques des modifications apportées aux pratiques culturales de l'agriculteur. En effet, le bénéfice environnemental des différents scénarios testés ont été mis en balance avec l'impact économique de ces mêmes scénarios, et ce afin d'en évaluer la possibilité de généralisation. L'étude technico-économique impliquait donc notamment la récolte séparée des différentes sous-parcelles, en vue de la quantification individuelle de leur rendement.
3. axe « vulgarisation » : les trois objectifs en sont décrits ci-après :

⁴ Azote Potentiellement Lessivable: mesure du reliquat en azote nitrique dans le sol (0 – 90cm) en début de période de lixiviation du nitrate

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

1.3 Tâches spécifiques

Les tâches spécifiques du projet reprennaient les points suivants :

1. Etablir un plan de fertilisation et des successions culturales adaptées à l'objectif de qualité des eaux.
2. Mettre en place les essais sur lesquels les scénarios culturaux sont testés.
3. Suivre les percolats, essentiellement NO_3^- et volume.
4. Collecter les données de rendement et de reliquat azoté obtenues sur les différentes parcelles suivies.
5. Communiquer les résultats et enseignements du projet à destination des acteurs de la problématique nitrate en culture légumière en Région wallonne.

2 Historique des précédentes subventions

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

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

La première étape au démarrage de cette subvention a été une étude bibliographique sur la lysimétrie en général, les principes 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 en sol remanié et un système en sol non remanié. Il a été décidé que trois lysimètres seraient installés en système sol remanié, et les trois autres en système sol non remanié. Tous sont installés en plein champ, dits *in situ*, sous conditions agricoles réelles et sans gêne pour les agriculteurs.

La méthodologie d'échantillonnage a été mise en place au cours de cette subvention. Quelques problèmes techniques se sont présentés lors de son déroulement. Ceux-ci ont été des intrusions d'eau dans les chambres de visite, soit par le fond, soit par le haut de ces dernières, soit encore par débordement des bidons de récolte à l'intérieur de celles-ci. Des produits d'étanchéité ont été appliqués sur les fonds des chambres de visite présentant une porosité. Des ré-hausses ont été ajoutées aux chambres existantes lorsque le dénivelé du terrain induisait des entrées d'eau de ruissellement par le couvercle. Afin d'éviter le débordement des bidons de récolte, la fréquence des prélèvements a été augmentée (jusqu'à devenir quotidienne) et plusieurs bidons ont été placés en série dans la chambre de visite, reliés par un by-pass. La quantité d'eau récoltée dans les bidons de deux sites étant supérieure aux capacités de drainage des sols de ces sites, mis en relation avec les données de pluviométrie, un réseau de piézomètres a été installé afin de suivre une éventuelle remontée temporaire de nappe. Il en est ressorti que 2 lysimètres, installés partiellement dans la nappe, captent celle-ci lors de fortes remontées hivernales. Lors de ces remontées, l'écoulement de ces 2 lysimètres est stoppé à l'aide de vannes pour éviter le drainage de la nappe. Le suivi hebdomadaire des piézomètres, localisés à proximité immédiate, permet de connaître en permanence la hauteur de la nappe et indique le moment idéal de la réouverture des exutoires.

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

A la fin de la première saison de drainage (2003-2004), seuls 3 lysimètres sur les 6 installés ont permis la récolte d'eau à 2m de profondeur en raison des conditions de sécheresse exceptionnelle au cours de l'été 2003. Tous les sites entrent en phase de percolation pour le second hivernage (2004-2005), moyennant une mise à saturation par remontée capillaire pour deux d'entre eux. A l'exception des 2 lysimètres qui interceptent la nappe ou la frange capillaire, les 4 lysimètres installés présentent des eaux de percolation avec des teneurs en nitrate trop élevées par rapport à la norme de potabilité de l'eau (50 mg NO₃⁻/l). Ces mesures

correspondent à 2 années pour certains sites et une première année pour d'autres, de récolte d'eau de percolation par la technique lysimétrique.

Les premières observations obtenues par ce suivi lysimétrique en conditions réelles d'exploitation ont permis de dégager quelques grands points. Les rotations classiques betterave – céréale donnent des eaux de percolation respectueuses de la norme. L'introduction d'une culture légumière dans cette rotation induit une augmentation des teneurs en nitrate migrant en profondeur. Une bonne gestion de la fertilisation et l'implantation de CIPAN permettent d'atténuer le phénomène dans des proportions acceptables. Par contre, malgré l'implantation de CIPAN et une gestion fractionnée de l'azote, les rotations légumières successives de cultures fortement exigeantes en azote alternées avec d'autres fixatrices d'azote atmosphérique laissent des reliquats azotés dans le sol inacceptables d'un point de vue environnemental et préjudiciables dans les zones qualifiées de vulnérables en matière de protection des eaux souterraines.

En conclusion, les lysimètres ont rempli leur fonction d'outil de suivi de la lixiviation de l'azote nitrique, avec une utilisation ponctuelle ou sur de plus longues périodes. Les informations fournies par ce premier suivi lysimétrique coïncident et confirment la fiabilité et la pertinence des APL de référence du PGDA et du code de bonnes pratiques agricoles.

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

Nous renvoyons au rapport d'activités final de cette subvention (Fonder et al., 2007) pour l'ensemble des résultats, interprétations et conclusions.

Les mesures, observations, prélèvements et récoltes de données se sont poursuivis au cours de la période mars 2005 – mai 2007.

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

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

De nouveau, à l'exception des 2 lysimètres qui interceptent la nappe ou sa frange capillaire, les 4 lysimètres installés présentent des eaux de percolation dont les teneurs en nitrate sont souvent supérieures à la norme de potabilité de l'eau. On a également pu observer durant cette période que, outre les bonnes pratiques de gestion tels le fractionnement azoté, l'implantation de 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.

Au terme de ces années, il apparaît en première approximation qu'il existe une correspondance entre le reliquat azoté mesuré dans le sol (exprimé en kg N-NO₃⁻/ha) en novembre et la concentration moyenne en nitrate (exprimée en mg NO₃⁻/l) de l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres. Le temps de réponse (reliquat – concentration) est généralement de l'ordre d'un an. En plus de sa qualité d'indicateur d'une bonne gestion de l'azote, il apparaît, grâce aux observations réalisées dans les lysimètres au cours de cette période, que l'APL est également un bon indicateur de la qualité de l'eau de percolation.

En conclusion, les lysimètres installés remplissent leur fonction d'outil de suivi. Ils récoltent la fraction de la pluviométrie qui migre vers les horizons profonds et permettent d'en faire un suivi qualitatif et quantitatif. Les informations fournies par ces suivis lysimétriques confirment la fiabilité et la pertinence des APL de référence. Les valeurs mesurées en terme de lixiviation d'azote nitrique montrent la nécessité et la pertinence des normes d'épandage et du code de bonnes pratiques agricoles, mais ouvrent aussi un débat sur les rotations culturales elles-mêmes, et plus spécifiquement dans le cas des rotations légumières.

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

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

Au 1er janvier 2006 a démarré une recherche annexe menée par le CRA-W, département Production Végétale, pour le suivi d'un engrais azoté marqué afin d'affiner le bilan azoté sur les sites lysimétriques.

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

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

Trois types d'expérimentation ont été mis en place :

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

3. Un suivi de la percolation d'un reliquat automnal simulé (application d'une dose d'engrais marqué) dans les 2 lysimètres installés dans le périmètre irrigué de Hesbaye (Remicourt et Omal).

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

Les évolutions des profils en azote minéral du sol en placeaux, où avait été appliquée à l'automne une fumure azotée marquée, ont montré que l'azote se distribuait rapidement dans le profil et se retrouvait déjà à 90cm et au-delà au printemps.

Les concentrations en nitrate des percolats issus des 2 lysimètres situés à Remicourt et Omal augmentent à la même période, soit plus d'un an après la simulation du reliquat. Malheureusement, comme à Gembloux, il n'a pas été possible d'y détecter la part d'azote provenant de l'engrais marqué.

3 Matériel et méthode

3.1 Installation des lysimètres

L'analyse des avantages et inconvénients des systèmes lysimétriques a orienté le choix vers un système semi-fermé, c'est-à-dire un système fermé enfoncé à 50cm sous la surface du sol. Ce système permet de mesurer simultanément le volume et la concentration de la solution de drainage tout en permettant une exploitation en plein champ, sans gêne pour les opérations culturales. 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.

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 ont été installés en plein champ dans des exploitations suivies pour la gestion de l'azote. Les systèmes non remaniés ont été mis en place par enfoncement vertical du cylindre inox lysimétrique, à l'aide d'un bras de pelle hydraulique. La plaque de fond a ensuite été chassée horizontalement, l'étanchéité a été réalisée par des joints de soudure. Les systèmes remaniés ont été installés en creusant une fosse dans laquelle la cuve lysimétrique préalablement soudée en atelier a été déposée. La cuve est remplie des couches successives de sol, soigneusement séparées lors du creusement, sur base des observations du profil pédologique (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, constitué de deux couches de gravier séparées par un géotextile et 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 (Photo 1 à Photo 4).

3.2 Description des sites retenus

Les lysimètres sont installés en Hesbaye, au sein de trois fermes faisant partie du « Survey Surfaces Agricoles », réseau de 35 exploitations situées sur le territoire wallon et dans lesquelles plus de 200 parcelles sont suivies en matière de gestion de l'azote, dans le but d'établir annuellement les valeurs d'APL de référence. Les lysimètres sont implantés dans un périmètre d'irrigation et sous cultures légumières industrielles en rotation avec les grandes cultures classiques.

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 CPL Végémar, soit PL1, PL3, Sole 4, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Chemin de Fer et Grosse Pierre Petit Pont (maintenant remplacée par Haute Bova) (Figure 1 et Figure 2).

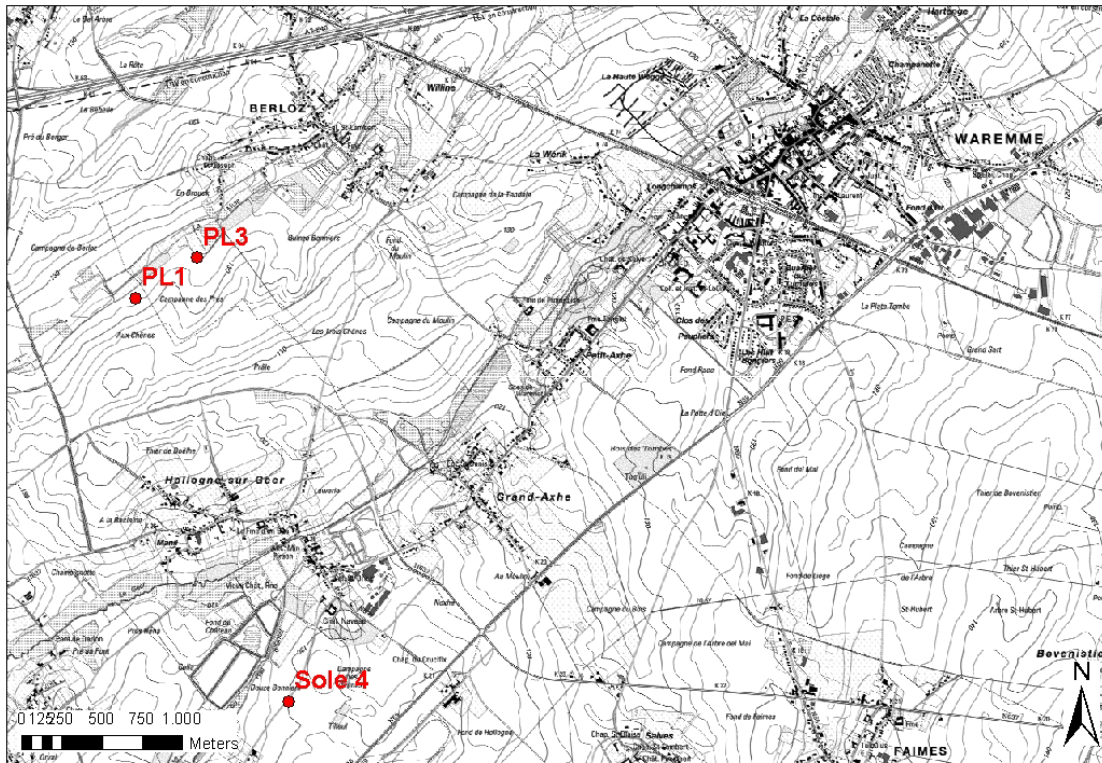


Figure 1. Carte de localisation des lysimètres PL1, PL3 et Sole 4

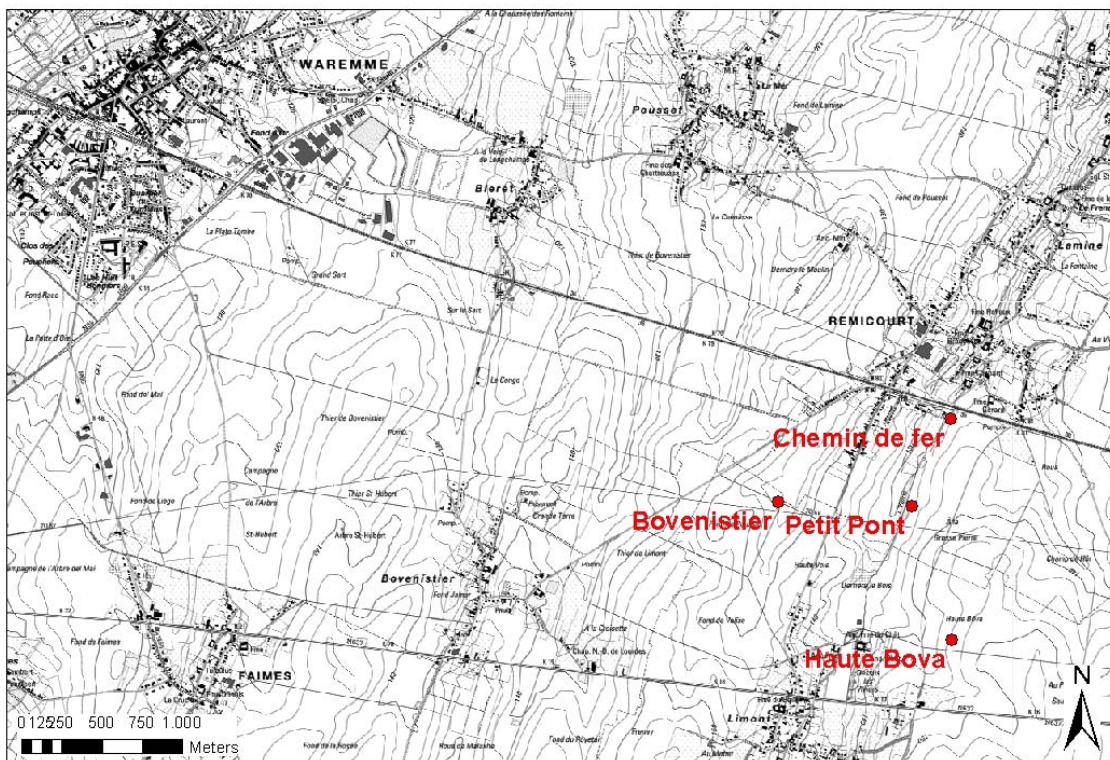


Figure 2. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Petit Pont et Haute Bova

3.2.1 Critères de choix

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

1. faire partie des fermes de référence suivies par GRENeRA en Hesbaye ;
2. suite à l'excellente collaboration déjà réalisée par le passé⁵ avec les Services agricoles de la Province de Liège (Centre Provincial Liégeois des Productions Végétales et Maraîchères, CPL Végémar), les sites doivent également être suivis par le CPL Végémar, au travers d'une convention. Ce dernier permet l'obtention de données supplémentaires, ainsi qu'un appui logistique et technique non négligeable. Le CPL Végémar 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 agriculteurs ayant leur propre réseau d'irrigation, avec des eaux de pompage ou de bassin de récolte. Les sites font partie de réseaux d'irrigation (avec des eaux claires ou usées) gérés par le CPL Végémar ;
3. les sites doivent être représentatifs de la région, d'un point de vue pédologique. Les sols caractéristiques de la région sont des limons profonds (plusieurs mètres d'épaisseur);
4. enfin, *last but not least*, avoir l'accord des agriculteurs pour la réalisation de telles installations, et leur suivi, sur leurs terres.

3.2.2 Localisation et caractérisation pédologique

Au cours d'une visite de terrain, les sites ont été caractérisés d'un point de vue pédologique par sondage à la tarière, jusqu'à la profondeur de 2m (Fonder et al., 2005). Ce diagnostic a été confronté aux indications de la carte des sols de Belgique.

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

3.3 Méthodologie des prélèvements et analyses

3.3.1 Méthodologie des prélèvements

L'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 ;

⁵ Projet INCO, financé par l'UE, « Sustainability and optimisation of treatments and use of wastewater in agriculture », 1998-2002.

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

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

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

Dès l'ouverture de la chambre de visite, la température minimale et maximale est relevée. Le bidon de récolte est sorti de la chambre de visite et le contenu est versé dans une éprouvette graduée 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 les pH, CE et teneur en nitrate avec des appareillages de terrain. Cette dernière est ensuite également mise dans le frigo box.

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

Toutes ces opérations sont réalisées par le personnel cadre, technique et ouvrier d'Epuvaleur.

3.3.2 Analyses

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

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

- le pluviomètre est 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 électrique ;
- le kit de terrain, système « Nitratecheck », mesure la teneur en nitrate par méthode colorimétrique.

pHmètre et conductimètre

Le pHmètre et conductimètre de terrain utilisé est l'appareil de mesure multiparamètres portables « Sension 156 » de la société Hach. La mesure est électrochimique. Un témoin signale la nécessité de calibrer l'appareil. Le calibrage est effectué par le laboratoire Epuvaleur.

L'appareil résiste à des températures comprises entre -10°C et 110°C . La plage de mesure du pH est de 2.0 à 19.99. La température est automatiquement prise en compte lors de l'affichage de la mesure.

La conductivité est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$, la plage de mesures déterminée est de 0 à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'électrode est calibrée avec des solutions étalons de NaCl.

Nitracheck

Le Nitracheck 404 est un boîtier de lecture mis au point par la société française « Challenge Agriculture ». Une bandelette réactive « Nitra-test » de la société Merk est introduite dans le boîtier Nitracheck avant toute mesure, afin de calibrer l'appareil en fonction du lot des bandelettes et de la température. Le mode opératoire doit respecter un timing très strict. La bandelette réactive est trempée 3 secondes dans la solution à analyser. Elle est égouttée pendant 5 secondes et laissée au repos pendant une minute. Durant les 10 dernières secondes, elle doit être introduite dans la fente de lecture du boîtier Nitracheck. La mesure de la concentration est donnée en $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$. Trois mesures consécutives sont répétées pour chaque solution à analyser. Si un écart supérieur à 10% est observé entre les mesures obtenues, le mode opératoire est recommencé.

Les bandelettes réactives comprennent 2 zones réactives : l'une sert à déterminer la teneur de la solution à analyser en NO_3^- et la seconde signale des interférences, dues à la présence de nitrites par exemple, en changeant de coloration. Dans le cas où la seconde zone réactive réagit, la mesure donnée par le Nitracheck n'est pas valide et la solution doit être analysée par un laboratoire. Le Nitracheck a une gamme de lecture de 5 à 500 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$.

Le laboratoire Epuvaleur

La mesure de la concentration en nitrate d'une solution est réalisée par le laboratoire Epuvaleur par la méthode « Test'N tube Vials » de la société Hach. La gamme de lecture est de 0.2 à 30.0 $\text{mg N-NO}_3^-/\text{l}$. La mesure préalable au Nitracheck permet de déterminer si une dilution est nécessaire.

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

3.4 Déplacement d'un lysimètre

Parmi les 6 lysimètres installés en 2003, le lysimètre situé sur la parcelle Grosse Pierre Petit Pont n'a fonctionné qu'au cours de l'hiver 2004-2005. Par après, suite à une récolte de carottes opérée dans de très mauvaises conditions et malgré les tentatives ultérieures de décompactage du sol, aucun percolat n'a été récolté. Des tarières réalisées à proximité du lysimètre ont d'ailleurs confirmé l'existence d'une couche plus argileuse à la profondeur 60 – 75 cm.

Cette parcelle a été emblavée en pois en 2009. Après la récolte en juillet, le lysimètre a été déterré et ramené aux Services Agricoles de la province de Liège. La chambre de visite a également été déterrée d'un seul tenant.

Suite à un contact fructueux avec un agriculteur faisant également partie du Survey Surfaces Agricoles, il a été décidé de réinstaller ce lysimètre sur sa parcelle "Haute Bova", située à Limont.

Le choix de cet agriculteur est lié à son comportement proactif en matière de gestion de l'azote et au fait qu'il utilise plus de matière organique que les deux autres agriculteurs, tout en restant conforme aux prescriptions du PGDA.

Le choix de la parcelle "Haute Bova" est lié à des critères de quatre natures :

- "sol" : la parcelle est représentative des sols limoneux profonds de Hesbaye, tout en limitant le risque de nappe temporaire superficielle qui pourrait être drainée en hiver (Aba1 : sols limoneux à drainage favorable);
- "proximité" : la parcelle se situe à moins d'un kilomètre à vol d'oiseau de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont d'où a été extrait le lysimètre (Figure 2). Ceci permet de limiter les déplacements entre lysimètres lors des opérations de collecte des percolats et d'entretien des chambres de visites ;
- "accessibilité" : la parcelle était libre d'accès cet été suite à la récolte de froment ;
- "topographie" : la chambre de visite se situe légèrement en contrebas de la parcelle pour éviter qu'elle ne soit trop profonde afin d'assurer la pente nécessaire du tuyau qui relie le lysimètre à la chambre de visite.

L'installation a eu lieu le 13 août, suite à la récolte du froment sur la parcelle. La chambre de visite a été amenée d'un seul tenant depuis l'ancienne parcelle où elle était située (Photo 1) et enterrée en bordure de parcelle (Photo 2). Le lysimètre a ensuite été réinstallé suivant les étapes décrites dans le premier rapport d'activités (Fonder et al., 2005) pour un système remanié (Photo 3 et Photo 4).

Photo 1. Acheminement de la chambre de visite



Photo 2. Chambre de visite installée en bordure de parcelle



Photo 3. Installation du lysimètre dans la fosse creusée en séparant les horizons de sol



Photo 4. Creusement de la tranchée entre le lysimètre et la chambre de visite



3.5 Description des essais menés sur les sites lysimétriques

Au cours de l'année 2008, quatre des six parcelles équipées d'un lysimètre ont fait l'objet d'un essai. Les deux autres parcelles étaient emblavées en froment, culture pour laquelle la fertilisation azotée est bien maîtrisée. En 2009, un dispositif expérimental a été implanté sur quatre des six parcelles. Les sous-parcelles sont récoltées séparément en vue de la quantification de leur rendement. Le reliquat azoté est mesuré dans chacune des sous-parcelles par la prise d'un échantillon composite composé de huit carottes de sol jusqu'à 90 cm de profondeur, en trois couches de 30 cm.

Le parcellaire est constitué de micro-parcelles de 30 à 40 m² selon les situations. L'expérimentation porte sur deux niveaux de fertilisation azotée : un niveau de fumure qualifié de 'normal' basé sur un conseil de fumure établi sur base d'une mesure du reliquat azoté au semis et un niveau de fumure qualifié de 'minimal' basé sur une réduction du conseil de fumure pouvant aller jusqu'au niveau "zéro azote". Quatre répétitions par niveau de fertilisation sont mises en place.

L'apport d'azote sur le parcellaire expérimental est réalisé par le CPL Végémar ; l'apport d'azote sur l'ensemble de la parcelle, à l'exception du parcellaire expérimental, est réalisé par l'agriculteur sur base des conseils de fumure du laboratoire provincial ou du CPL Végémar.

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

Parcelle PL1

La parcelle PL1 a été emblavée en froment en 2008 et en fève des marais suivie d'épinard d'automne en 2009.

2008 (froment)

Pas d'essai en 2008 sur cette parcelle

2009 (fève des marais – épinard d'automne)

Le semis des fèves des marais a été effectué le 25 avril. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 6 mai.

Un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 3) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 50 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 15 mai. Les sous-parcelles sont de dimension 8x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 1m.

Les fèves des marais ont été récoltées le 23 juillet et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 28 juillet. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et la tendérométrie ont été quantifiés individuellement.

Les épinards ont été semés le 28 juillet. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 18 août.

40 UN minéral ont été appliqués sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre le 21 août, 80 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 à la même date. Les épinards ont été récoltés le 10 septembre et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu à cette même date. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le rapport tige/feuille ont été quantifiés individuellement.

2010 (froment)

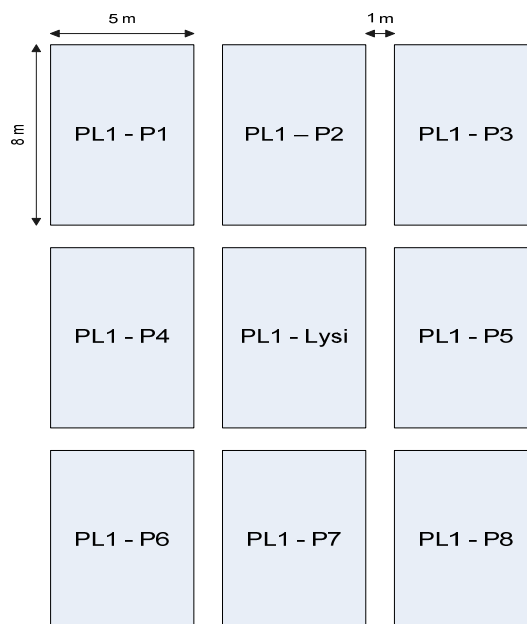


Figure 3. Plan d'expérimentation de la parcelle PL1

Parcelle PL3

La parcelle PL3 a été emblavée en betterave en 2008 et en froment en 2009.

2008 (betterave)

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

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

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

2009 (froment)

Pas d'essai en 2009 sur cette parcelle.

2010 (fève des marais)

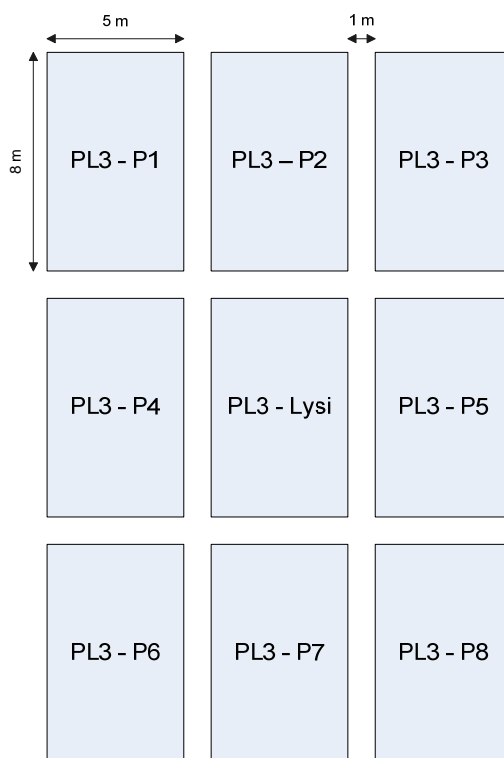


Figure 4. Plan d'expérimentation de la parcelle PL3

Parcelle Sole 4

La parcelle Sole 4 a été emblavée en carotte en 2008 et en haricot en 2009.

2008 (carotte)

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

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

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

2009 (haricot)

Le semis des haricots a été effectué le 3 juin. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 12 juin.

Un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 5) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 37 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 16 juin.

Les haricots ont été récoltés le 17 août et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 18 août. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le rapport grain/gousse ont été quantifiés individuellement.

Une avoine brésilienne a été semée le 4 septembre et un échantillon de sol a été prélevé le 13 octobre pour établir le profil azoté.

2010 (froment)

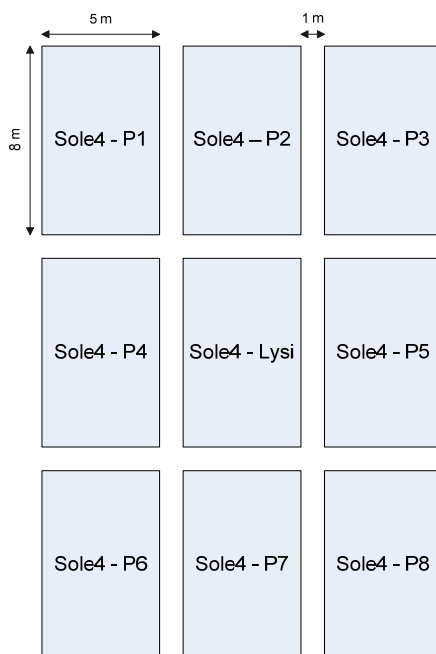


Figure 5. Plan d'expérimentation de la parcelle Sole 4

Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer

La parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer a été emblavée en fève des marais suivie de chou frisé en 2008 et en poireau en 2009.

2008 (fève des marais – chou frisé)

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

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

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

Les choux frisés ont été repiqués le 1er août. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 4 septembre.

80 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 9 septembre. Les choux frisés ont été récoltés le 28 novembre et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 9 décembre. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le poids moyen par chou ont été quantifiés individuellement.

2009 (poireau)

Le repiquage des poireaux a été effectué les 20 et 21 mai. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 19 mai.

Une première fraction de 50 UN minéral a été appliquée le 29 mai sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 6) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 80 UN minéral ont été appliquées à la même date sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7. Suite à un profil azoté établi le 30 juillet, une seconde fraction de 50 UN minéral a été appliquée le 7 août sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre et une seconde fraction de 80 UN minéral a été appliquée à la même date sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7.

Les poireaux ont été récoltés le 28 septembre et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 18 novembre. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le poids moyen par poireau ont été quantifiés individuellement.

2010 (pois)

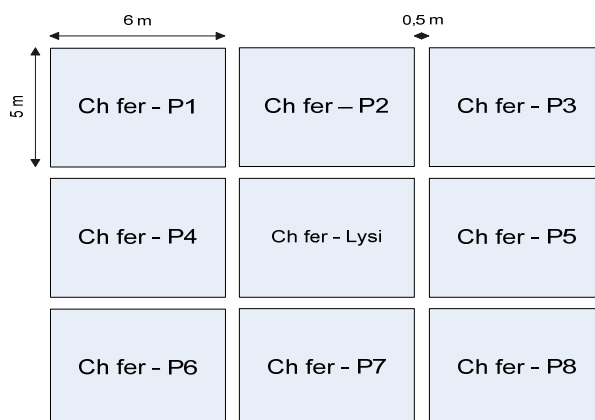


Figure 6. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer

Parcelle Grosse Pierre Petit Pont

La parcelle Grosse Pierre Petit Pont a été emblavée en poireau en 2008 et en pois en 2009.

2008 (poireau)

Le repiquage des poireaux a été effectué le 20 juin. L'essai a été piqueté le 27 juin et le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 6 août.

Suite à une erreur de fertilisation de l'agriculteur sur les sous-parcelles, le scénario 0 UN initialement prévu sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 7) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre a été remplacé par une application de 100 UN minéral sur l'ensemble des sous-

parcelles le 15 juin. Les sous-parcelles sont de dimension 6x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 0,5m.

Les poireaux ont été récoltés le 14 octobre et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 4 novembre. Le rendement et le poids moyen par poireau ont été quantifiés sur le parcellaire par 4 mesures et sur le reste de la parcelle par 4 mesures également.

2009 (pois)

Pas d'essai en 2009 sur cette parcelle (le lysimètre a été déterré en juillet).

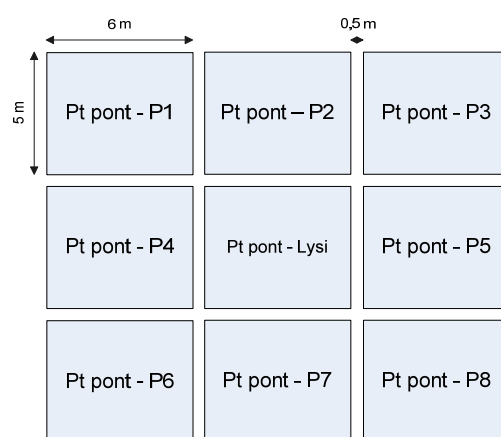


Figure 7. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont

Parcelle Gros Thier Bovenistier

La parcelle Gros Thier Bovenistier a été emblavée en froment en 2008 et en fève des marais suivie d'épinard d'automne en 2009.

2008 (froment)

Pas d'essai en 2008 sur cette parcelle

2009 (fève des marais – épinard d'automne)

Le semis des fèves des marais a été effectué le 23 avril. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 30 avril.

Un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 8) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 51 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 15 mai. Les sous-parcelles sont de dimension 8x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 1m.

Les fèves des marais ont été récoltées le 16 juillet et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 20 juillet. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et la tendérométrie ont été quantifiés individuellement.

Les épinards ont été semés le 22 juillet. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 20 juillet.

100 UN minéral ont été appliqués sur l'ensemble du parcellaire le 22 juillet. Suite à un profil azoté établi le 18 août, 33 UN minéral ont été appliquées en seconde fraction sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 21 août. Les épinards ont été récoltés le 17 septembre et le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 18 septembre. Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le rapport tige/feuille ont été quantifiés individuellement.

2010 (poireau)

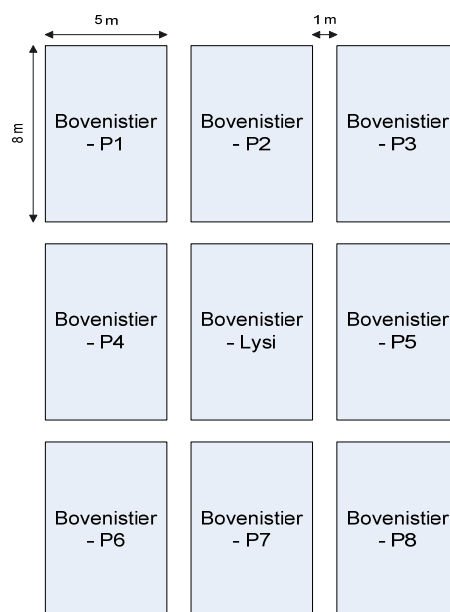


Figure 8. Plan d'expérimentation sur la parcelle Gros Thier Bovenistier

4 Résultats

4.1 Caractérisation climatologique

Les données météo (température minimale, température maximale, température moyenne et précipitations) mesurées à la station de météo située sur le site de la s.a. Hesbayefrost à Geer sont reprises dans le Tableau 1. Le diagramme ombrothermique construit à partir de ces valeurs est présenté dans la Figure 9.

En résumé, l'hiver et le printemps météorologiques 2008 ont connu des températures moyennes très anormalement élevées. Les mois de janvier et mai 2008 en particulier ont connu des excès de températures particulièrement remarquables. Les précipitations en 2008 furent conformes aux valeurs normales observées dans la région.

L'année 2009 a connu des températures moyennes particulièrement élevées, principalement au printemps et à l'automne. L'excès de température rencontré au printemps et à l'automne 2009, associé à une pluviométrie normale, a permis un bon développement des cultures à cette époque. Les mois d'août et de septembre ont vu un déficit anormal des précipitations, laissant des profils asséchés à ce moment.

L'évapotranspiration potentielle et le déficit hydrique ($P - ETP$) ont été calculés à partir des données de la station de mesure de Geer (Figure 10). L'évapotranspiration a été calculée à partir de la formule empirique de Thornthwaite, qui ne nécessite que la connaissance de la température moyenne mensuelle. On peut voir que globalement de mai 2008 à octobre 2008 on entre dans une phase de déficit hydrique ($P < ETP$) et d'assèchement du sol. En 2009, la période de déficit hydrique s'étend d'avril à octobre et se marque particulièrement durant les mois de septembre et d'octobre.

Tableau 1. Données météo mensuelles à la station de mesure de Geer

mois	T° min (°C)	T° max (°C)	T° moyenne (°C)	Pluvio (mm)
janv-08	0,6	8,6	5,5	50
févr-08	-6,1	14,9	5,1	26
mars-08	-2,6	14,4	5,7	97
avr-08	-2,1	23,1	8,6	52
mai-08	4,3	26,8	15,4	63
juin-08	4,7	27,4	15,9	82
juil-08	7,8	32,1	17,4	84
août-08	8,5	29,0	17,4	80
sept-08	0,6	26,0	12,9	41
oct-08	-1,0	21,9	10,0	39
nov-08	-2,2	15,2	6,2	39
déc-08	-8,2	10,3	1,9	31
janv-09	-20,9	10,2	-0,9	25
févr-09	-4,4	10,8	2,9	51
mars-09	-3,4	13,8	5,7	55
avr-09	0,9	24,1	11,8	36
mai-09	2,2	26,5	13,9	49
juin-09	5	28,4	15,7	43

juil-09	9,1	30,1	18,4	89
août-09	9,2	34,4	18,9	25
sept-09	4,1	29,2	14,9	15
oct-09	-1,2	21	10,5	52
nov-09	2,2	16,5	9,2	65

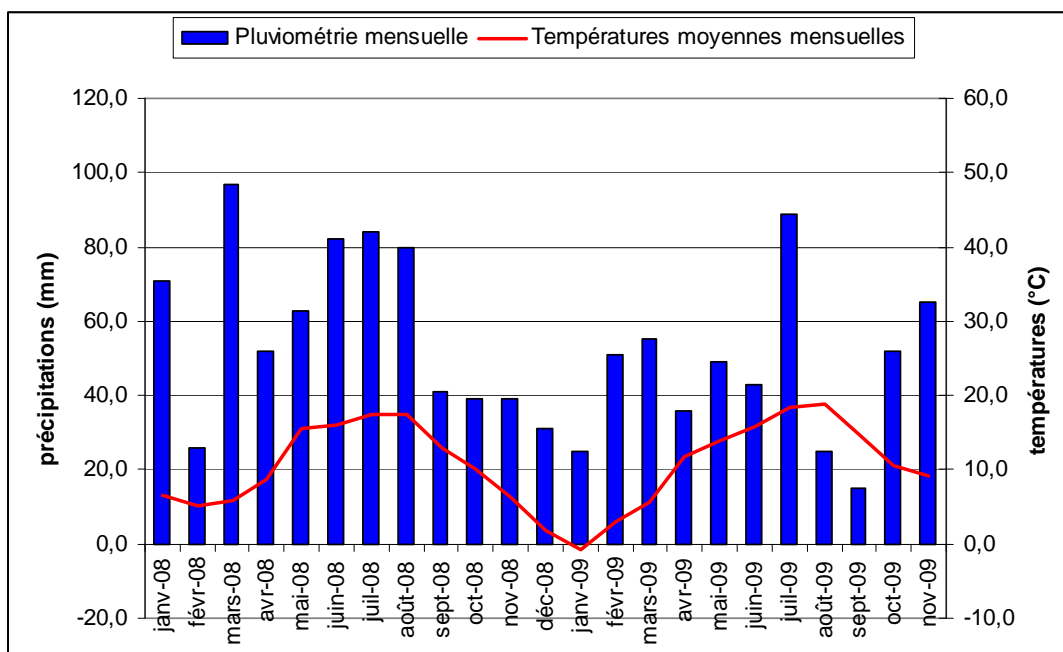


Figure 9. Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de mesure de Geer en 2008 et 2009

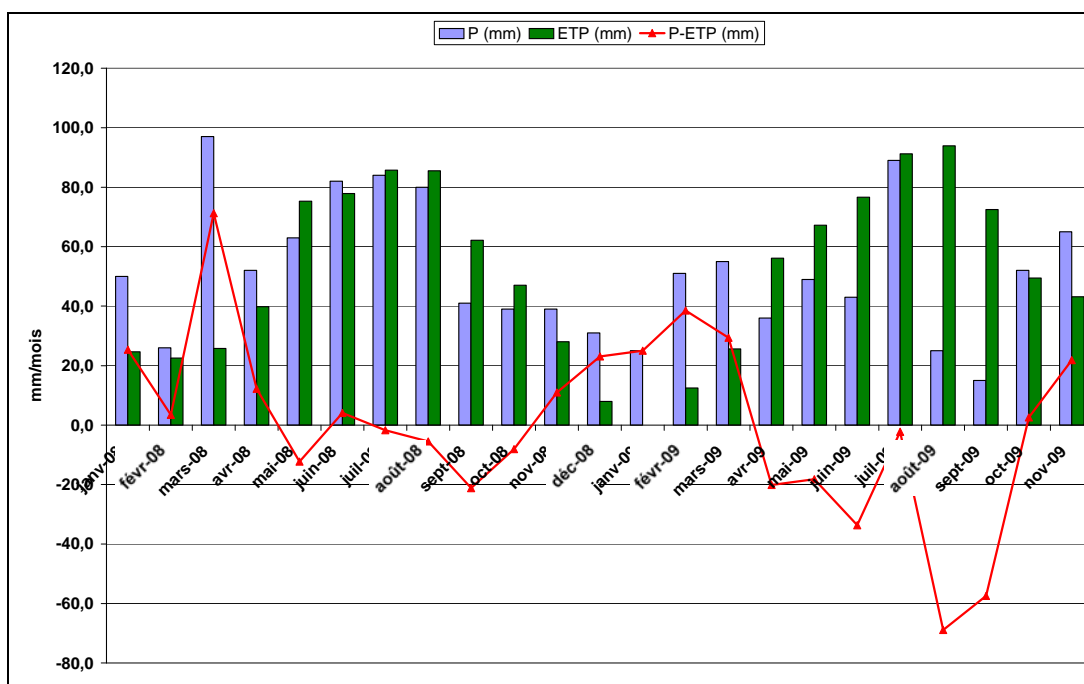


Figure 10. Pluviométrie, évapotranspiration potentielle et déficit hydrique (mm/mois) en 2008 et 2009 à Geer

4.2 Données d'irrigation

En 2008, les parcelles suivies n'ont pas été irriguées.

En 2009, suite à un été plus chaud et surtout moins pluvieux, les parcelles suivies ont été irriguées soit à l'eau claire, soit à l'eau usée (Tableau 2). Seule la parcelle PL1 a été irriguée avec les eaux usées de l'usine Hesbayefrost. Il est cependant très difficile de dire ce qu'une irrigation d'eaux usées apporte en azote car lorsque la demande est forte comme en 2009, l'irrigation se fait à l'eau de puits et à l'eau usée simultanément. Une irrigation uniquement à l'eau usée peut apporter jusqu'à 1 UN par mm d'eau.

Tableau 2. Irrigations sur les parcelles suivies en 2009

	date	culture	quantité (mm)	type
Bovenistier				
	25-juin	fève	15	eau claire
	1-juil	fève	15	eau claire
	28-juil	épinard	12	eau claire
	30-juil	épinard	12	eau claire
	20-août	épinard	17	eau claire
	25-août	épinard	15	eau claire
	9-sept	épinard	20	eau claire
Chemin de Fer				
	16-août	poireau	20	eau claire
	24-août	poireau	20	eau claire
	11-sept	poireau	20	eau claire
	19-sept	poireau	20	eau claire
	26-sept	poireau	20	eau claire
PL1				
	26-juin	fève	15	eau usée
	1-juil	fève	15	eau usée
	18-juil	fève	15	eau usée
	30-juil	épinard	12	eau usée
	20-août	épinard	17	eau usée
	27-août	épinard	17	eau usée
	5-sept	épinard	15	eau usée
	12-sept	épinard	20	eau usée
	21-sept	épinard	20	eau usée
	30-sept	épinard	20	eau usée
Sole 4				
	5-août	haricot	20	eau claire
	11-août	haricot	20	eau claire

4.3 Résultats par parcelles

4.3.1 Sole 4

Le lysimètre est de type remanié, installé en date du 8 août 2003. La parcelle a été emblavée en froment en 2007, suivi par des carottes en 2008 et des haricots en 2009. Un froment a été semé à l'automne 2009.

Sur la période qui nous occupe (2008/2009), le lysimètre a repris sa première saison de drainage en janvier 2008 pour se tarir en août 2008. La deuxième saison de drainage s'est étalée de mars 2009 à juin 2009.

4.3.1.1 Enseignements de l'essai 2008 (carotte)

Profils de concentration en azote nitrique

Un profil azoté a été établi sur les sous-parcelles de l'essai le 14 mai en vue du conseil de fumure. Un second profil azoté a été établi sur le parcellaire expérimental en date du 10 décembre, afin d'évaluer l'azote potentiellement lessivable présent dans le profil après la culture de carotte (Tableau 3).

Sur l'ensemble de la terre, à l'exception du parcellaire expérimental, un profil azoté a été établi le 7 mars 2008 pour le conseil de fumure ; l'APL a été mesuré le 1^{er} décembre (Tableau 4).

Tableau 3. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 – 2008

	Carotte – parcellaire expérimental			
	14/5/2008		10/12/2008	
	0 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	20 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	20 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	55	57	3	2
30-60cm	48	48	4	3
60-90cm	43	42	5	8
total	146	147	12	13

Tableau 4. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf essai) – 2008

	Carotte – parcelle sauf essai	
	7/3/2008	1/12/2008
	39 UN à appliquer	39 UN appliquées
0-30cm	30	9
30-60cm	44	8
60-90cm	49	7
total	123	24

Le reliquat azoté mesuré en mai 2008 sur l'essai en vue du conseil de fumure sont chargés (Tableau 2) montre une augmentation de la quantité d'azote nitrique présente dans le sol par rapport à l'analyse (profil azoté) réalisée le 7 mars sur l'ensemble de la terre (Tableau 4). Ceci justifie donc le prélèvement d'azote plus tard dans la saison en vue de réaliser un conseil de

fumure plus adapté. Les températures élevées de la première quinzaine de mai ont permis une reprise de la minéralisation assez tôt dans la saison, qui se marque par un horizon 0-30 cm fort chargé en azote avant la culture de carotte. De plus, ce profil a été réalisé après le semis des carottes sur buttes, c'est-à-dire un travail en profondeur et un affinage du sol important qui favorisent également la minéralisation. Sur base de ce profil de printemps, 20 UN minéral ont été appliquées sur 4 sous-parcelles, les autres sous-parcelles (dont la sous-parcelle à l'aplomb du lysimètre) ne recevant pas de fumure azotée. Pour rappel, l'agriculteur a appliqué 39 UN minéral sur l'ensemble de sa terre, à l'exception du parcellaire expérimental.

Les profils établis sur les sous-parcelles de l'essai en décembre 2008 sont peu chargés en azote en raison de l'exportation lors de la récolte des carottes. La carotte laisse donc un APL faible après récolte, pour autant que la fumure appliquée soit raisonnée. Par ailleurs, l'analyse statistique ne révèle pas de différence significative d'APL après une culture de carotte entre les 2 objets testés sur le parcellaire expérimental en 2008 (fumure 0 UN et fumure 20 UN). Le supplément d'azote appliqué sur la parcelle entière par rapport à l'essai (39 UN >> 20 UN) se retrouve en partie dans l'APL (24 kg N-NO₃⁻/ha >> 13 kg N-NO₃⁻/ha), justifiant ainsi la date plus tardive de prélèvement de sol sur l'essai pour une meilleure prise en compte de la minéralisation. La valeur de l'APL après carotte sur l'ensemble de la parcelle reste cependant faible en valeur absolue.

Les APL mesurés sur les sous-parcelles de l'essai sont comparés à l'APL de référence de 2008 en légumes (Figure 11). Les APL mesurés sur l'essai de la parcelle Sole 4 sont qualifiés de bons en décembre.

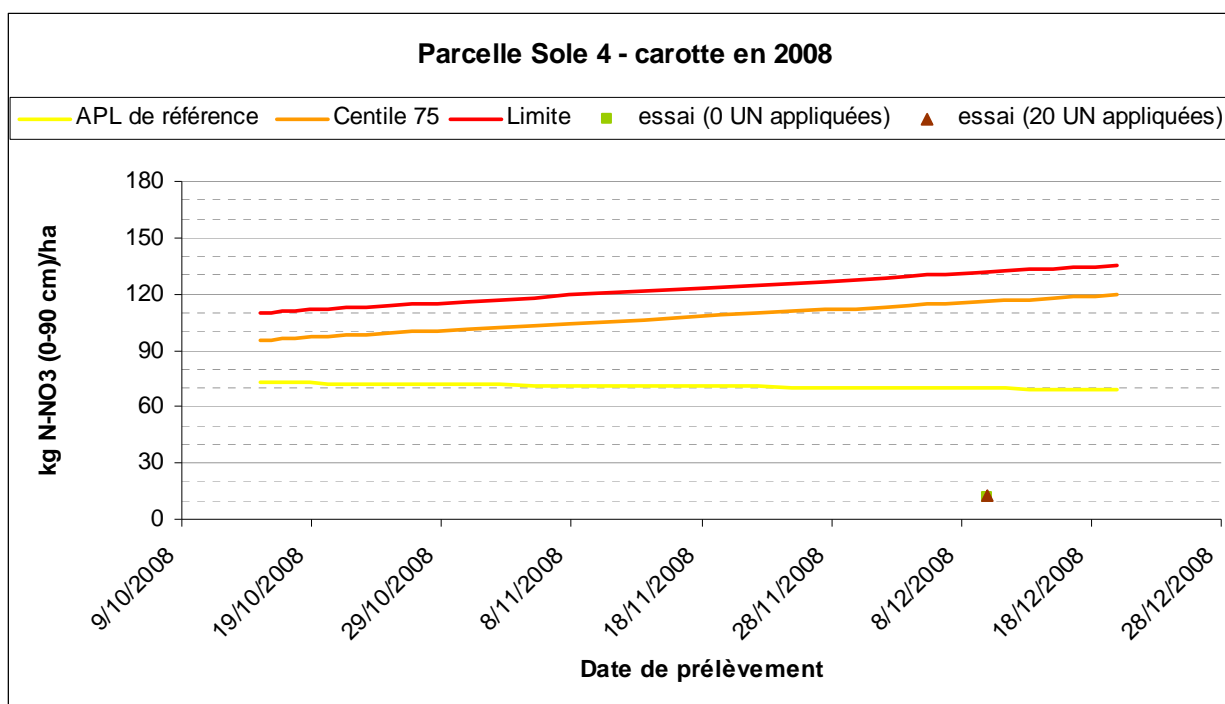


Figure 11. Résultats APL de la parcelle Sole 4 par rapport aux APL de référence 2008

Rendements

Les rendements obtenus en carotte sur la parcelle Sole 4 en 2008 sont repris dans le Tableau 5, ainsi que le poids moyen par carotte.

Tableau 5. Rendements et poids moyen par carotte obtenus sur la parcelle Sole 4 en 2008

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

On remarque directement que les rendements obtenus pour les deux objets sont très proches l'un de l'autre, tout comme les poids moyen par carotte. L'analyse de la variance effectuée sur ces résultats confirme qu'il n'existe pas de différence significative de rendement entre les deux objets testés (0 et 20 UN).

Conclusion

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2008, les 20 kg N/ha appliqués sur 4 sous-parcelles de l'essai en carotte n'ont engendré ni gain de rendement ni augmentation d'APL ; le conseil de fumure s'est donc révélé excessif d'au moins 20 kg N/ha à posteriori.

4.3.1.2 Enseignements de l'essai 2009 (haricot)

Profils de concentration en azote nitrique

Trois profils azotés ont été établis sur le parcellaire expérimental en 2009 (Tableau 6) :

- le 12 juin avant la culture de haricot en vue du conseil de fumure ;
- le 18 août après la récolte ;
- le 13 octobre après la CIPAN (avoine).

Sur l'ensemble de la parcelle (sauf l'essai), le reliquat azoté a été mesuré le 13 octobre et le 1^{er} décembre (Tableau 7).

Tableau 6. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 – 2009

	12/6/2009		18/8/2009		13/10/2009	
	0 UN sur 5 sous-parcelles	37 UN sur 4 sous-parcelles	0 UN sur 5 sous-parcelles	37 UN sur 4 sous-parcelles	0 UN sur 5 sous-parcelles	37 UN sur 4 sous-parcelles
0-30cm	69	66	36	25	55	46
30-60cm	19	22	22	23	36	39
60-90cm	11	12	11	14	12	14
total	99	100	69	62	103	99

Tableau 7. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf l'essai) – 2009

	13/10/2009	1/12/2009
	85 UN appliquées	
0-30cm	126	49
30-60cm	48	75
60-90cm	18	30
total	192	154

Les profils azotés établis le 12 juin montrent des quantités importantes d'azote nitrique dans l'horizon de surface, en raison de la minéralisation de printemps, période pendant laquelle la parcelle n'était pas cultivée. La culture du haricot a prélevé une partie de l'azote présent au semis au cours de son cycle de croissance, ce prélèvement d'azote étant d'autant plus important sur les sous-parcelles ayant reçu un apport de 37 UN minéral. Les profils azotés établis après la destruction de l'avoine (13 octobre) montrent un enrichissement des horizons de surface (0-30 cm) et intermédiaire (30-60 cm), conséquence d'une importante minéralisation des résidus de la culture de haricot. La CIPAN implantée après le haricot a cependant permis de limiter cet enrichissement en prélevant une partie de l'azote présent dans les 90 premiers centimètres de sol. L'analyse statistique menée sur les reliquats azotés mesurés après la récolte de haricot ne montre pas de différence significative entre les deux objets testés (0 UN et 37 UN).

Le reliquat azoté mesuré le 13 octobre sur l'ensemble de la parcelle (sauf l'essai) est particulièrement important dans les 60 premiers centimètres de sol. La différence de reliquat observée entre les sous-parcelles de l'essai et le reste de la parcelle (+ 90 kg N-NO₃⁻/ha) s'explique par :

- la différence de fertilisation (85 kg N/ha >> 37 kg N/ha ou 0 kg N/ha) ;
- l'absence de CIPAN après haricot sur le reste de la parcelle.

Une fertilisation raisonnée et l'introduction d'une CIPAN entre la culture de haricot et celle de froment ont donc permis de maintenir les APL dans des valeurs moins élevées que celles obtenues sans la mise en œuvre de ces bonnes pratiques.

Le reliquat azoté mesuré le 1^{er} décembre sur l'ensemble de la parcelle montre :

- un appauvrissement en azote nitrique de l'horizon de surface, conséquence du prélèvement par le froment d'une part et d'une migration en profondeur d'autre part ;
- un enrichissement en azote nitrique des horizons intermédiaire et profond, dans lesquels l'azote ne pourra plus être récupéré par le froment.

Rendements

Les rendements obtenus en haricot sur la parcelle Sole 4 en 2009 sont repris dans le Tableau 8, ainsi que le rapport grain/gousse.

Tableau 8. Rendements en haricot et rapport grain/gousse obtenus sur la parcelle Sole 4 en 2009

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (t/ha)	Rapport grain / gousse (%)
0	19,76	5,3
37	20,74	6,3

L'application de 37 kg N/ha a donc permis de gagner 1 t/ha de haricot et d'obtenir un nombre moyen de grains par gousse plus élevé par rapport aux sous-parcelles n'ayant pas reçu d'apport d'azote. L'analyse statistique ne révèle cependant pas de différence significative entre les rendements obtenus.

Conclusion

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturelles, climatiques,...) de 2009, l'application du conseil de 37 UN sur 4 sous-parcelles de l'essai était justifié, permettant d'obtenir un reliquat azoté post-récolte moyen plus faible et un rendement moyen plus élevé, même si ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

4.3.1.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 9 : Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie	Irrigation	Volumes récoltés	Ions nitrate percolés	Azote nitrique percolé
	(mm)	(mm)	(l)	(mg NO ₃ ⁻ /l)	kg N-NO ₃ /ha
Août 2007	96	-	0	-	-
Septembre	72	-	0	-	-
Octobre	64	-	0	-	-
Novembre	61	-	0	-	-
Décembre	73	-	0	-	-
Janvier 2008	50	-	34,9	23	2
Février	26	-	22,6	143	7
Mars	97	-	43,5	132	13
Avril	52	-	29,6	129	9
Mai	63	-	0	-	-
Juin	82	-	20,6	173	8
Juillet	84	-	8,9	147	3
Août	80	-	0,9	176	0
DRAINAGE 2007 - 2008	900	0	161	116	42
Septembre 2008	41	-	0	-	-
Octobre	39	-	0	-	-
Novembre	39	-	0	-	-
Décembre	31	-	0	-	-
Janvier 2009	25	-	0	-	-
Février	51	-	0	-	-
Mars	55	-	11,1	192	5
Avril	36	-	13,3	228	7
Mai	49	-	3,9	215	2
Juin	43	-	1,3	151	0,5
Juillet	89	-	0,5	295	0,5
DRAINAGE 2008 - 2009	498	0	30,1	211	15

Les données de pluviométrie sont celles données par la station IRM de Waremmes avant 2008 et par la station de Geer pour 2008 et 2009.

Au cours de la saison de drainage 2007-2008, 18% de la pluviométrie totale a été récoltée à l'exutoire du lysimètre de la parcelle Sole 4. Cette valeur est comparable à celles observées au cours des saisons de drainage précédentes. La saison de drainage s'est amorcée relativement tardivement (janvier 2008) et s'est étalée jusqu'en juin, après un bref arrêt au mois de mai. La teneur moyenne en nitrate observée dans l'eau de percolation est relativement élevée (> 100 mg NO₃⁻/l). Au total, au cours de cette saison de drainage, ce sont 42 kg N-NO₃⁻/ha qui ont migré en profondeur vers les eaux souterraines.

Durant la saison de drainage 2008-2009, seulement 6% de la pluviométrie totale a été récoltée à l'exutoire du lysimètre. La culture de carotte implantée en 2008 a laissé un sol asséché à la fin de l'automne ; les faibles précipitations de décembre et janvier n'ont pas permis de réhumidifier le sol en suffisance pour permettre une reprise de la percolation durant ces mois. La saison de drainage s'est étalée de mars à juillet 2009. La teneur moyenne en nitrate observée dans l'eau de percolation est élevée (> 200 mg NO₃⁻/l) et confirme la tendance à la hausse déjà observée durant la période de drainage précédente. Au total, au cours de cette saison de drainage, 15 kg N-NO₃⁻/ha ont migré en profondeur vers les eaux souterraines.

4.3.1.4 Graphique récapitulatif

La Figure 12 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Sole 4. Ce graphique reprend pour les mois de septembre 2006 à octobre 2009 les volumes d'eau récoltée dans les lysimètres (données cumulées) en parallèle avec le drainage potentiel cumulé (= pluie – évapotranspiration potentielle), les teneurs en nitrate mesurées dans l'eau de percolation ainsi que les profils azotés. 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. Les apports et les profils azotés à partir de 2008 correspondent aux mesures effectuées à l'aplomb du lysimètre.

Les reliquats azotés mesurés après froment en 2007 sont élevés suite au travail du sol en surface favorisant la minéralisation de l'humus. En l'absence de CIPAN, on n'observe pas de diminution de ce reliquat azoté en automne. L'évolution du profil en automne montre une migration de l'azote nitrique vers les horizons profonds, où il ne sera plus disponible pour la culture suivante. Les teneurs en nitrate mesurées dans l'eau de percolation dès janvier 2008 sont relativement élevées (~ 150 mg NO₃⁻/l) et continuent d'augmenter au cours de la saison de drainage, confirmant ainsi la tendance observée au cours de l'hiver précédent. Ces concentrations sont du même ordre de grandeur que les APL d'automne 2007, après un froment non-suivi d'une CIPAN. Les teneurs en nitrate observées dans les eaux de percolation sont donc beaucoup plus élevées en l'absence de CIPAN après le froment .

La culture de carotte implantée en 2008, et qui n'a pas reçu d'apport azoté à l'aplomb du lysimètre, a permis de diminuer le reliquat azoté élevé présent dans le sol au semis après un travail important du sol. Malgré le faible reliquat azoté post-récolte, les teneurs en nitrate observées dans l'eau de percolation au cours de la saison de drainage 2008-2009 sont élevées (> 200 mg NO₃⁻/l en moyenne) et confirment la tendance à la hausse des concentrations observée au cours des deux saisons de drainage précédentes. Ces concentrations élevées peuvent être liées aux reliquats azotés élevés mesurés début 2008, avant la culture de carotte. Il est probable qu'il faille attendre la reprise de la prochaine saison de drainage pour observer une diminution des concentrations dans les percolats.

En 2009, le semis d'une avoine brésilienne sur le parcellaire expérimental après la récolte des haricots a permis de prélever une partie de l'azote libéré par la minéralisation des résidus de culture. Une différence d'APL de 90 kg N/ha est ainsi observée entre le parcellaire expérimental, avec une CIPAN, et le reste de la parcelle, sans CIPAN. L'implantation de l'avoine entre le haricot et le froment s'est donc justifiée pour limiter l'impact négatif de la minéralisation des résidus de culture sur l'APL.

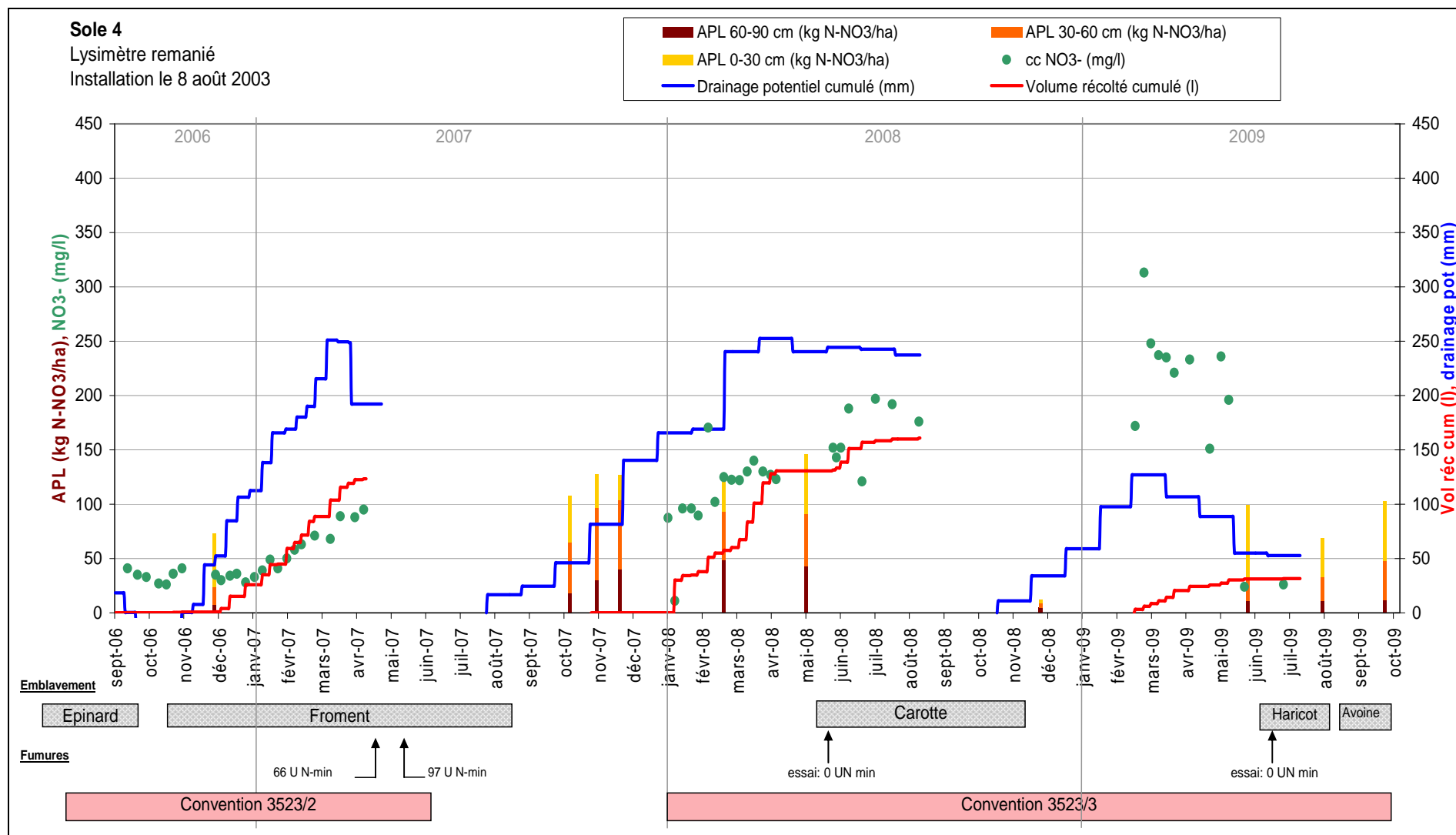


Figure 12. Synthèse des mesures et observations, parcelle sole 4

4.3.2 Grosse Pierre Chemin de fer

Ce lysimètre de type remanié a été installé le 4 juillet 2003. La parcelle a été emblavée en carotte en 2007, suivie par de la fève des marais et du chou frisé en 2008 et du poireau en 2009. Une culture de pois sera implantée en 2010.

La saison de drainage 2007-2008 a débuté en juin 2007. De l'eau a été régulièrement récoltée à l'exutoire du lysimètre tout au long de la saison de drainage jusque juin 2008. La saison de drainage 2008 - 2009 a débuté en décembre 2008. De l'eau a été récoltée jusque juin 2009, mois au cours duquel le lysimètre s'est tari.

4.3.2.1 Enseignements de l'essai 2008 (fève des marais – chou frisé)

Profils de concentration en azote nitrique

Un premier profil azoté a été établi sur les sous-parcelles le 7 mai en vue d'élaborer le conseil de fumure. Un second profil azoté a été réalisé le 31 juillet, afin de mesurer le reliquat azoté présent dans le profil après la culture de fève des marais (Tableau 10). Un nouveau profil a été établi après repiquage des choux frisés le 4 septembre, soit le plus près possible de la date d'application de l'engrais azoté, en vue du conseil de fumure. Enfin, un profil azoté a été établi le 9 décembre pour évaluer l'APL après choux frisés (Tableau 11).

Tableau 10. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fève des marais) - 2008

	7/5/2008		31/7/2008	
	0 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	52 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	52 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	33	29	18	17
30-60cm	33	28	19	22
60-90cm	27	25	22	25
total	93	82	59	64

Tableau 11. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (chou frisé) - 2008

	4/9/2008		9/12/2008	
	0 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	80 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	80 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	56	61	8	9
30-60cm	28	31	8	9
60-90cm	-	-	7	9
total	84	92	23	27

Le profil réalisé en mai 2008 avant le semis des fèves des marais est relativement chargé en azote (Tableau 10). La culture de fèves a permis de ramener la quantité d'azote nitrique dans des valeurs plus acceptables, avec un prélèvement d'azote principalement dans les couches 0-30 et 30-60 cm en raison du faible enracinement de cette culture.

Le profil azoté en vue du conseil de fumure pour le chou frisé a été réalisé le 4 septembre (Tableau 11), soit un mois après le repiquage des choux frisés. Les besoins en azote de la

culture étant faibles durant cette période, il a ainsi été possible de tenir compte de la minéralisation des résidus de la culture de fève des marais au cours du mois d'août et d'ajuster au mieux le conseil pour le chou frisé. Cette minéralisation se marque dans le profil dans les deux premiers horizons, avec un enrichissement important de ces couches en azote nitrique. La quantité importante d'azote nitrique dans la couche 0-60 cm est ainsi directement disponible pour la culture et un conseil mieux adapté à l'objectif de préservation de l'eau a ainsi pu être fourni. Le chou frisé laisse un sol pauvre en azote nitrique après récolte, soulignant là une bonne utilisation de l'azote par cette culture au cours de l'essai. On peut également noter que l'APL mesuré en décembre sur l'ensemble de la terre (28 kg N-NO₃⁻/ha) est du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur le parcellaire expérimental (23 et 27 kg N-NO₃⁻/ha).

L'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative de reliquat azoté post-récolte entre les deux objets testés (fertilisation minimale et fertilisation raisonnée), aussi bien après la culture de fève des marais qu'après la culture de chou frisé.

Les APL obtenus sur cette parcelle sont comparés à l'APL de référence de 2008 en légumes (Figure 13). Les APL mesurés sur les essais de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer sont qualifiés de bons en décembre.

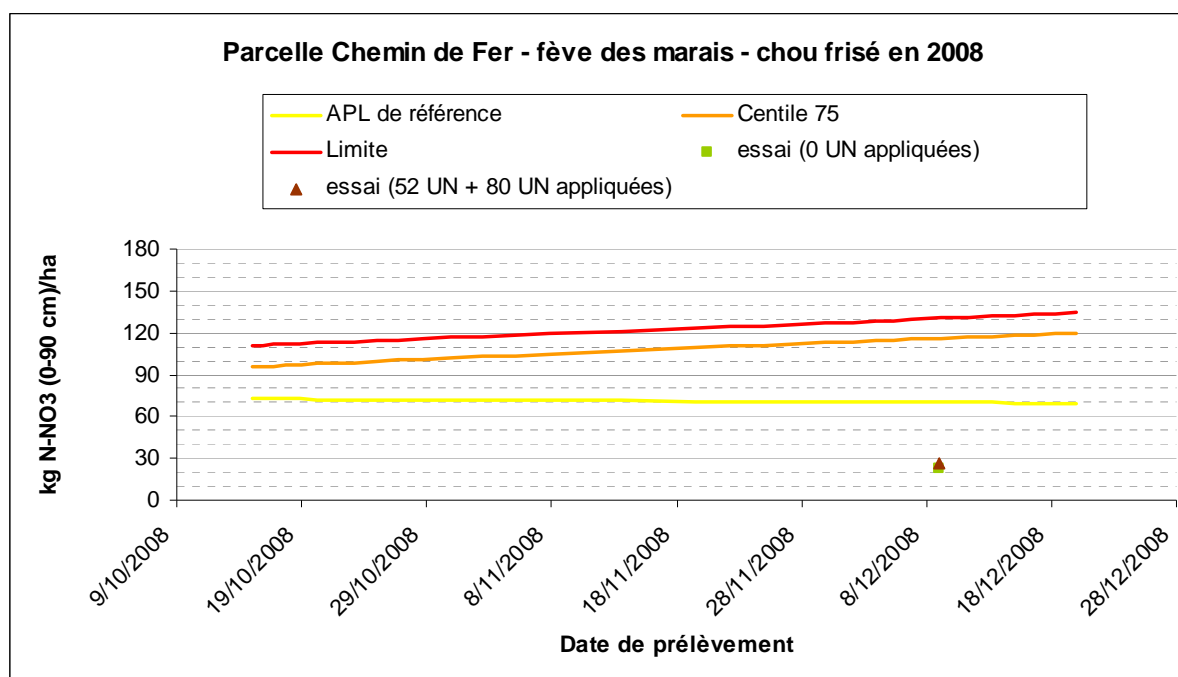


Figure 13. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer par rapport aux APL de référence 2008

Rendements

Les rendements obtenus sur les sous-parcelles de l'essai mené sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer en 2008 sont repris dans les Tableau 12 et Tableau 13. On y retrouve les rendements et les tendérométries pour la fève des marais et les rendements et les poids moyens pour le chou frisé.

Tableau 12. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fève des marais) - 2008

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (kg/ha)	Tendérométrie
0	5246	102,8
52	5225	102,5

Tableau 13. Rendements et poids moyen par chou obtenus sur l'essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (chou frisé) - 2008

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (t/ha)	Poids moyen/chou (g)
0	25,9	840
80	30,2	989

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative de rendement en fève des marais entre les deux objets testés (0 UN et 52 UN). Par contre, les différences de rendements observées en chou frisé sont significatives.

Conclusion

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2008, le conseil de 52 kg N/ha pour 4 sous-parcelles de l'essai en fève des marais n'a engendré ni gain de rendement ni augmentation d'APL ; le conseil de fumure s'est donc révélé excessif d'au moins 52 kg N/ha à posteriori. Par contre, le conseil de 80 kg N/ha en chou frisé en deuxième culture était justifié, amenant un gain de rendement sans augmentation d'APL.

4.3.2.2 Enseignements de l'essai 2009 (poireau)

Profils de concentration en azote nitrique

Trois profils azotés ont été établis sur le parcellaire expérimental en 2009 (Tableau 14) :

- le 19 mai avant la culture de poireau en vue du conseil de fumure ;
- le 30 juillet en cours de culture pour déterminer la seconde fraction azotée à apporter ;
- le 18 novembre après la culture de poireau.

Tableau 14. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (poireau)- 2009

	19/5/2009		30/7/2009		18/11/2009	
	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 4 sous-parcelles	50 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	80 UN appliquées sur 4 sous-parcelles	100 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	160 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	51	46	79	93	12	19
30-60cm	51	44	46	44	7	20
60-90cm	28	29	/	/	7	11
total	130	119	125	137	26	50

Les profils azotés établis le 30 juillet montrent des quantités importantes d'azote nitrique dans la couche de surface. Les poireaux n'ont donc prélevé à ce stade de leur développement qu'une partie de la première fraction qui leur a été apporté. En revanche, la seconde fraction

(appliquée début août) a été mieux valorisée par la culture de poireau, comme l'indique l'appauvrissement des profils entre le 30 juillet et le 18 novembre, à moins qu'une partie de l'azote nitrique ait migré en profondeur après la récolte des poireaux.

Les APL observés dans les sous-parcelles de l'essai qui ont reçu une fertilisation de 160 UN sont supérieurs à ceux observés dans les sous-parcelles qui ont reçu une fertilisation de 100 UN. Une partie de ce surplus de fumure se retrouve donc dans le sol après la récolte. L'analyse statistique ne révèle cependant pas de différence significative de reliquat azoté post-récolte entre les deux objets testés (100 UN et 160 UN).

Rendements

Les rendements obtenus sur les sous-parcelles de l'essai mené sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer en 2009 sont repris dans le Tableau 15.

Tableau 15. Rendements et poids moyen par poireau obtenus sur l'essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer - 2009

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (t/ha)	Poids moyen/poireau (g)
100	68,9	360
160	68,8	358

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative de rendement ni de qualité de la récolte en poireau entre les deux objets testés (100 UN et 160 UN).

Conclusion

En conclusion, sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2009, la réduction du conseil de 60 kg N/ha pour les poireaux était justifiée, amenant une baisse (non-significative) des APL sans diminution de rendement.

4.3.2.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 16 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Irrigation (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés (mg NO ₃ -/l)	Azote nitrique percolé kg N-NO ₃ /ha
Août 2007	96	-	19,8	64	3
Septembre	72	-	22,5	63	3
Octobre	64	-	21,3	74	4
Novembre	61	-	36,5	85	7
Décembre	73	-	27	88	5
Janvier 2008	50	-	36,5	268	22
Février	26	-	23,1	283	15
Mars	97	-	74,7	323	55
Avril	52	-	30,3	307	21
Mai	63	-	8,5	323	6
Juin	82	-	45,5	407	42
Juillet	84	-	3,2	220	2
Août	80	-	0	-	-
DRAINAGE 2007 - 2008	900	0	348,8	234	185
Septembre 2008	41	-	0	-	-
Octobre	39	-	0	-	-
Novembre	39	-	0	-	-
Décembre	31	-	33,2	342	26
Janvier 2009	25	-	21,5	388	19
Février	51	-	11,3	360	9
Mars	55	-	2,8	347	2
Avril	36	-	4,9	337	4
Mai	49	-	1,9	316	1
Juin	43	-	1,2	215	0,5
Juillet	89	-	0	-	-
DRAINAGE 2008 - 2009	498	0	76,7	355	61,5

Au cours de la saison de drainage 2007-2008, 39% de la pluviométrie totale a été récoltée à l'exutoire du lysimètre de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer. Ce pourcentage est particulièrement élevé par rapport à ceux observés dans les autres lysimètres. La saison de drainage s'étale de août 2007 à juillet 2008, avec une récolte régulière et conséquente d'eau à l'exutoire du lysimètre. La teneur en nitrate observée dans l'eau de percolation augmente nettement dès le début de l'année 2008, conséquence d'un « accident » de fertilisation survenu à l'automne 2006 avec l'application d'un compost qui s'est révélé à posteriori beaucoup plus riche que prévu. Le nitrate a ainsi mis 15 mois pour atteindre le fond de la cuve lysimétrique, sur une période plus pluvieuse que la normale. La vitesse du front d'avancement peut ainsi être estimée à 1,6 m par an pour cette période et sur ce site lysimétrique.

Durant la saison de drainage 2008-2009, 15% de la pluviométrie totale a été récoltée à l'exutoire du lysimètre. La percolation a repris en décembre 2008 et s'est poursuivie jusque juin 2009. Les teneurs en nitrate de l'eau de percolation restent très élevées (355 mg NO₃⁻/l en moyenne), même si on observe une diminution en fin de saison. Au total, au cours des saisons de drainage 2007-2008 et 2008-2009 et après un apport de 640 kg N/ha sous forme organique, près de 250 kg N-NO₃⁻/ha en phase de migration vers les eaux souterraines ont été récupérés à l'exutoire du lysimètre, représentant ainsi une menace considérable pour celles-ci.

4.3.2.4 Graphique récapitulatif

La Figure 14 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer. Il met en évidence l'impact d'un "accident" de fertilisation survenue à l'automne 2006 sur les concentrations en nitrate dans l'eau de percolation récoltée au cours des années 2008 et 2009. En effet, 640 UN organique avaient été apportées à cette époque sous forme de compost qui s'était révélé à posteriori plus riche en azote que prévu. Les APL de l'automne 2006, ont été extrêmement élevés (entre 200 et 250 kg N-NO₃/ha). La culture de carotte suivie d'une moutarde en 2007 n'a pas permis de récupérer cette importante quantité d'azote nitrique présente dans le sol. Le nitrate s'est retrouvé dans les eaux de percolation récoltées à 2m de profondeur dès janvier 2008. La teneur en nitrate dans les eaux récoltées en 2008 est supérieure à 300 mg NO₃⁻/l et a continué à s'amplifier au cours de la saison de drainage. L'azote nitrique appliqué à l'automne 2006 a donc mis 15 mois pour atteindre les 2m de profondeur du fond du lysimètre et être récolté à son exutoire. Le lysimètre a arrêté de débiter en juin 2008.

L'APL mesuré après la succession fève des marais / chou frisé (sans apport azoté à l'aplomb du lysimètre) est faible et indique une bonne gestion de l'azote au cours de cette succession. Les choux frisés ont pu valoriser l'importante quantité d'azote nitrique présente dans la couche de surface suite à la minéralisation des résidus de récolte des fèves des marais. Après un pic à la reprise de la percolation en janvier 2009 (> 400 mg NO₃⁻/l), les teneurs en nitrate dans les percolats ont baissé régulièrement au cours de l'année 2009, tout en restant élevées en valeurs absolues. L'eau de percolation récoltée lors de cette période a donc continué à lessiver le profil particulièrement chargé en azote suite à un apport azoté excessif survenu plus de deux ans et demi auparavant.

En 2009, les poireaux cultivés à l'aplomb du lysimètre ont bien valorisé les deux fractions de 50 UN apportées en mai et en août, comme l'atteste l'APL peu élevé obtenu en novembre. Ceci permet d'espérer la poursuite de la diminution des concentrations en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre en 2010.

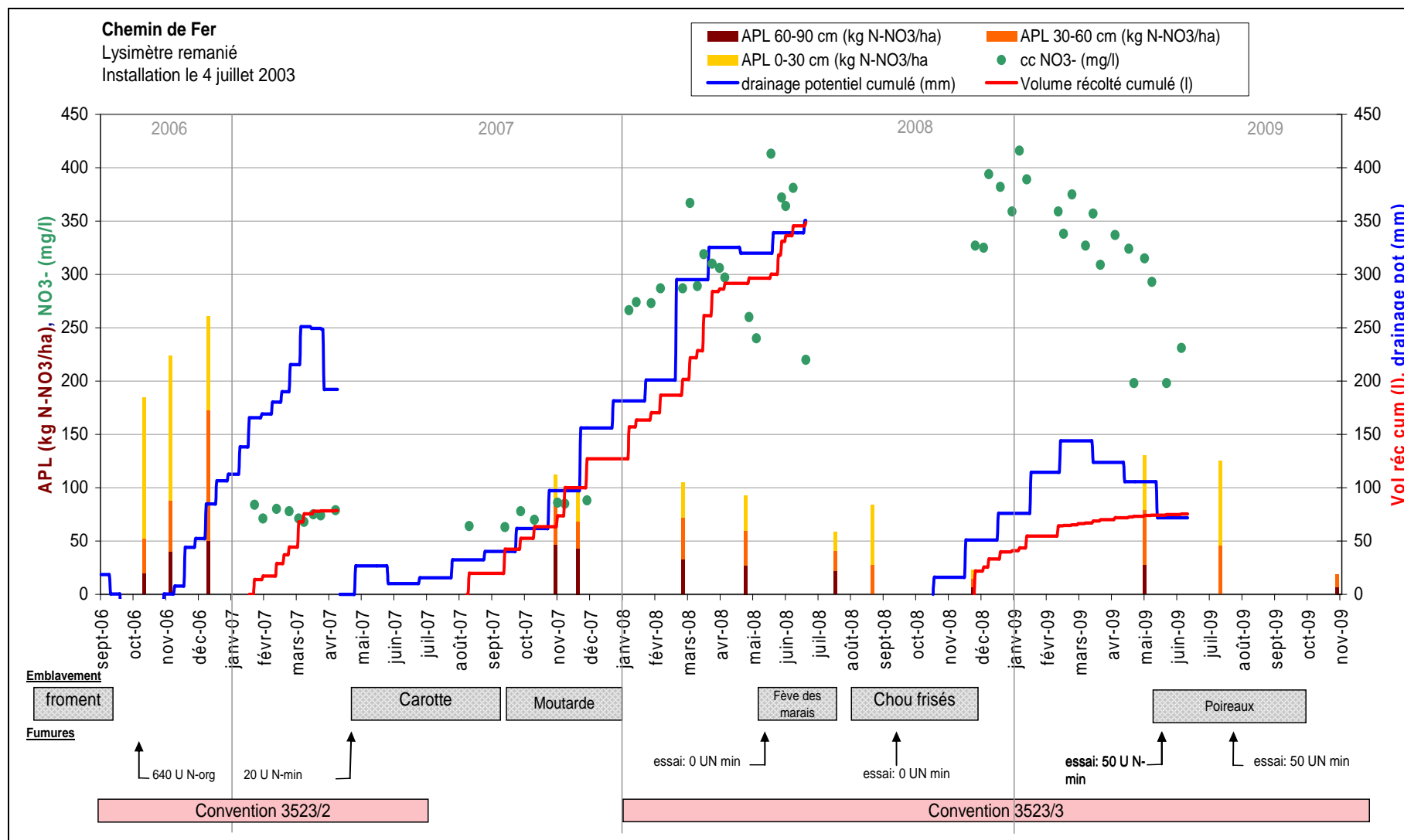


Figure 14. Synthèse des mesures et observations, parcelle Grosse Pierre Chemin de fer

4.3.3 Gros Thier Bovenistier

Ce lysimètre de type non remanié a été le dernier installé, le 14 août 2003. La parcelle a été emblavée en betterave en 2007, en froment en 2008 et en fève des marais suivie d'un épinard d'automne en 2009. Une culture de poireau est prévue en 2010.

La saison de drainage 2007 – 2008 s'est amorcée en novembre 2007. La récolte d'eau de percolation s'est poursuivie jusque mai 2008 avec un tarissement du lysimètre à la fin de ce mois. La saison de percolation 2008-2009 a repris en août 2008 et a permis la récolte d'eau jusque mai 2009.

4.3.3.1 Enseignements de l'année 2008 (froment)

Le profil azoté post-récolte du froment en 2008 montre un début de minéralisation de l'humus du sol (Tableau 17). L'APL d'octobre montre une migration vers la profondeur de l'azote nitrique, qui ne sera plus disponible pour la culture suivante. L'APL réalisé le 1^{er} décembre prouve l'efficacité de la moutarde qui a récupéré une partie de la quantité d'azote présente dans le sol à la récolte de froment. De manière générale, on peut à nouveau observer l'intérêt d'une rotation betterave/céréale en association avec une CIPAN dans l'optique de la préservation de la qualité des eaux souterraines, comme l'attestent les reliquats azotés très faibles, particulièrement dans la couche 60-90 cm.

Tableau 17. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle Gros Thier Bovenistier (froment + Cipan) –2008

	26/8/2008	24/10/2008	1/12/2008
0-30cm	22	14	8
30-60cm	16	20	5
60-90cm	3	20	5
total	41	54	18

Les APL obtenus sur cette parcelle sont comparés à l'APL de référence de 2008 pour les céréales avec CIPAN (Figure 15). L'APL mesuré sur la parcelle Gros Thier Bovenistier est qualifié de limite en octobre et de bon en décembre.

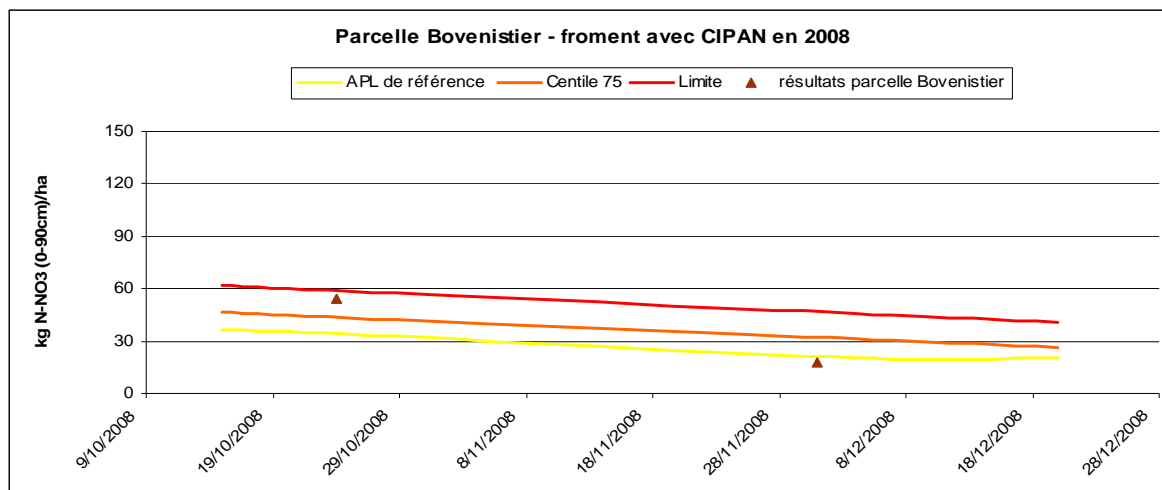


Figure 15. Résultats APL de la parcelle Gros Thier Bovenistier par rapport aux APL de référence 2008

4.3.3.2 Enseignements de l'essai 2009 (fève des marais – épinard)

Profils de concentration en azote nitrique

Un premier profil azoté a été établi sur les sous-parcelles le 30 avril en vue d'élaborer le conseil de fumure en fève des marais. Un second profil azoté a été réalisé le 20 juillet, afin de mesurer le reliquat azoté présent dans le profil après la culture (Tableau 18). La quantité d'azote nitrique présente dans les 40 premiers centimètres de sol et disponible pour l'épinard a été mesurée le 18 août afin de déterminer une éventuelle seconde fraction à apporter suite à l'application par l'agriculteur de 100 UN sur l'essai le 22 juillet. Enfin, un profil azoté a été établi le 18 septembre pour évaluer l'APL après l'épinard (Tableau 19).

Tableau 18. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Gros Thier Bovenistier (fève des marais) - 2009

	30/4/2009		20/7/2009	
	0 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	51 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	51 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	41	36	20	24
30-60cm	33	26	32	32
60-90cm	21	14	24	19
total	95	76	76	75

Tableau 19. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Gros Thier Bovenistier (épinard) - 2009

	18/8/2009		18/9/2009		
	100 UN déjà appliquées sur 5 sous-parcelles	100 UN déjà appliquées sur 4 sous-parcelles		100 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	133 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-40cm	175	201	0-30cm	42	66
	-	-	30-60cm	15	21
	-	-	60-90cm	10	16
total	175	201	total	67	103

L'analyse statistique menée sur les profils azotés établis après la culture de fève en juillet ne révèle pas de différences significatives de reliquat azoté entre les deux objets testés (0 UN et 51 UN). L'évolution des profils montre un prélèvement d'azote par la fève dans l'horizon de surface.

Le stock d'azote nitrique présent dans les 40 premiers centimètres de sol et disponible pour les épinards le 18 août est important (Tableau 19), conséquence de l'application par l'agriculteur de 100 UN sur le parcellaire expérimental au semis des épinards et de la minéralisation des résidus de culture de fève. Suite à cette mesure, une seconde fraction de 33 UN ont été appliquées sur 4 sous-parcelles de l'essai, tandis que les 5 autres sous-parcelles de l'essai (dont celle située à l'aplomb du lysimètre) ne recevaient pas de seconde fraction.

On remarque que cette seconde fraction se retrouve dans le sol à la récolte (reliquat azoté moyen supérieur de 36 kg N/ha sur les sous-parcelles fertilisées à 133 UN par rapport au sous-parcelles fertilisées à 100 UN). Cette différence est d'ailleurs considérée comme significative par l'analyse statistique. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les épinards ont été récoltés avant d'avoir pu exprimer pleinement leur potentiel de rendement.

Rendements

Les rendements en fève des marais obtenus sur les essais de la parcelle Gros Thier Bovenistier en 2009 sont repris dans le Tableau 20. Les rendements obtenus en épinard sur les essais de cette même parcelle sont repris dans le Tableau 21.

Tableau 20. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle Gros Thier Bovenistier (fève des marais) - 2009

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (kg/ha)	Tendérométrie
0	8990	109,3
51	8819	106,8

Tableau 21. Rendements et rapports tige-feuille obtenus sur l'essai de la parcelle Gros Thier Bovenistier (épinard d'automne) - 2009

Fumure appliquée (kg N/ha)	Epinard	
	Rendement (t/ha)	Rapport tige – feuille (%)
100	13,8	0,6
133	13,8	0,6

Les rendements obtenus sur cette parcelle en fève des marais sont élevés et reflètent les rendements élevés obtenus globalement dans la région en 2009. La réduction du niveau de fertilisation en fève n'a pas induit de baisse du rendement ni de qualité de la récolte, au contraire. L'analyse statistique renseigne ainsi que les différences de rendement observées en fève des marais ne sont pas significatives.

Les rendements obtenus en épinard d'automne sont faibles. En effet, les épinards ont été récoltés tôt en première coupe, avant d'avoir pu exprimer pleinement leur potentiel de rendement. Le faible rapport tige-feuille démontre d'ailleurs la très bonne qualité de la récolte. L'apport d'une seconde fraction de 33 UN n'a pas permis d'obtenir de gain de

rendement ni de qualité de la récolte ; ceci peut à nouveau s'expliquer par le fait que les épinards ont été récoltés avant leur pleine maturité.

Conclusions

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturelles, climatiques,...) de 2009, le conseil de 51 kg N/ha pour 4 sous-parcelles de l'essai en fève des marais n'a engendré ni gain de rendement ni augmentation d'APL ; le conseil de fumure s'est donc révélé excessif d'au moins 51 kg N/ha à posteriori.

En épinard, l'application d'une seconde fraction de 33 UN n'a pas permis d'obtenir un gain de rendement. Par contre, cette seconde fraction se retrouvait dans le sol à la récolte. Rappelons cependant que les épinards ont été récoltés avant d'avoir exprimé leur potentiel de rendement, comme l'indique la très bonne qualité de la récolte.

4.3.3.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

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

Mois	Pluviométrie (mm)	Irrigation (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés (mg NO ₃ ⁻ /l)	Azote nitrique percolé kg N-NO ₃ ⁻ /ha
Août 2007	96	-	5	96	1
Septembre	72	-	0	-	-
Octobre	64	-	0	-	-
Novembre	61	-	56,5	13	2
Décembre	73	-	0	-	-
Janvier 2008	50	-	24,7	82	5
Février	26	-	14,2	15	0,5
Mars	97	-	58,5	16	2
Avril	52	-	18	17	1
Mai	63	-	2,9	19	0
Juin	82	-	0	-	-
DRAINAGE 2007 - 2008	736	0	179,8	26	11,5
Juillet 2008	84	-	0,6	82	0
Août	80	-	12,7	40	1
Septembre	41	-	5,9	15	0
Octobre	39	-	10,2	18	0,5
Novembre	39	-	12,2	20	0,5
Décembre	31	-	31,5	22	2
Janvier 2009	25	-	17	30	1
Février	51	-	64,3	36	5
Mars	55	-	6,4	40	0,5
Avril	36	-	6,8	35	0,5
Mai	49	-	5,1	37	0,5
Juin	43	15	0,8	26	0
Juillet	89	39	0,2	37	0
DRAINAGE 2008 - 2009	662	54	173,7	31	11,5

Au cours de la saison de drainage 2007-2008, 21% de la pluviométrie totale a été récoltée à l'exutoire du lysimètre de la parcelle Gros Thier Bovenistier. La saison de drainage s'étale de novembre 2007 à mai 2008. La teneur en nitrate des percolats est faible (26 mg NO₃⁻/l en moyenne) et la quantité d'azote nitrique lessivé l'est également (11,5 kg N-NO₃⁻/ha).

Durant la saison de drainage 2008-2009, 24% du total de la pluviométrie et de l'irrigation a été récolté à l'exutoire du lysimètre. La percolation a repris en juillet 2008 et s'est poursuivie régulièrement jusque juillet 2009. Les teneurs en nitrate de l'eau de percolation restent faibles (31 mg NO₃⁻/l en moyenne), tout comme la quantité d'azote nitrique lessivé (11,5 kg N-NO₃⁻/ha).

4.3.3.4 Graphique récapitulatif

La Figure 16 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Gros Thier Bovenistier. Ce graphique souligne l'intérêt d'une succession betterave – céréale – CIPAN pour obtenir des eaux de percolation présentant des faibles concentrations en nitrate. La saison de drainage 2007-2008 s'est initiée en novembre 2007. Les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation récoltée à l'été 2007 sont élevées (~100 mg NO₃⁻/l) et du même ordre de grandeur que les APL 2006 après pomme de terre (~100 kg N-NO₃⁻/ha). Le lysimètre récupère l'azote nitrique qui a migré sous les 90cm au cours de l'hiver 2006. La betterave semée en 2007 a bien utilisé l'azote nitrique présent dans le profil en début de culture et laisse un APL faiblement chargé en novembre (23 kg N-NO₃⁻/ha). Les concentrations en nitrate dans les eaux récoltées à l'exutoire du lysimètre en 2008 sont du même ordre de grandeur que cette mesure APL (30 mg NO₃⁻/l).

Les APL après froment en 2008 sont corrects (40 kg N-NO₃⁻/ha) et la moutarde implantée après froment joue son rôle de CIPAN en prélevant une partie de l'azote nitrique présent dans le profil et en empêchant ainsi sa migration vers les couches profondes. Les concentrations en nitrate de l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre en 2009 restent faibles (~ 40 mg NO₃⁻/l), ce qui confirme à nouveau l'intérêt d'une succession betterave – froment – CIPAN pour obtenir des eaux de percolation faiblement concentrées en nitrate.

L'augmentation de l'APL en 2009 après les épinards à l'aplomb du lysimètre et le risque d'une minéralisation importante des résidus de culture d'épinard d'automne laissent présager d'une augmentation des teneurs en nitrate des percolats au cours des mois à venir.

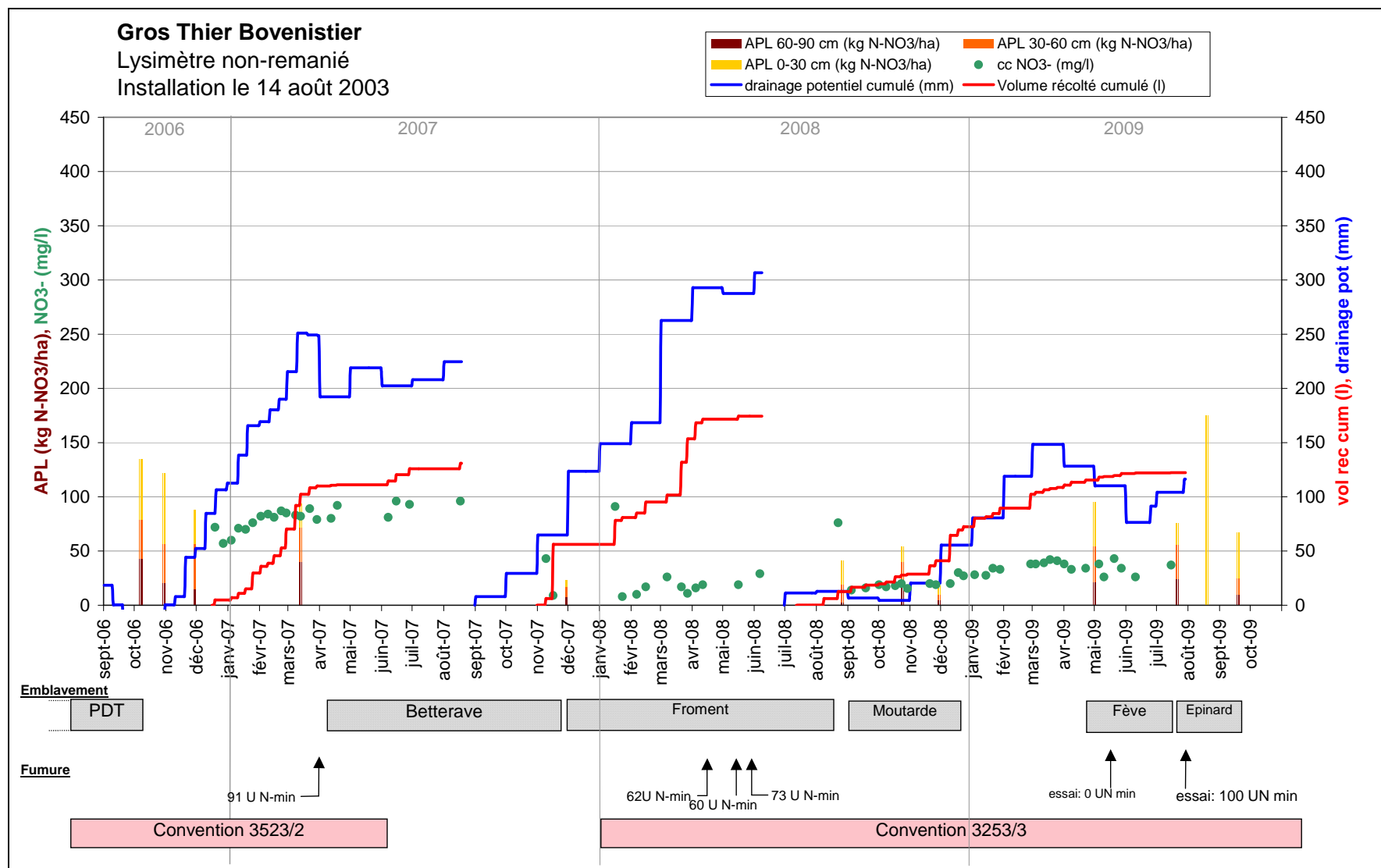


Figure 16. Synthèse des mesures et observations, parcelle Gros Thier Bovenistier

4.3.4 Grosse Pierre Petit Pont

Le lysimètre de type remanié a été installé le 27 mai 2003. La parcelle a été emblavée en fève des marais suivie de chou frisé en 2007. En 2008, des poireaux ont été repiqués en bande sur cette parcelle, en alternance avec un froment. On y retrouvait une bande de poireaux à l'aplomb du lysimètre. Des pois ont été cultivés en 2009.

Aucune eau de percolation n'a été récoltée durant l'hiver 2007-2008 et 2008-2009, malgré un sous-solage effectué à l'aplomb du lysimètre au printemps 2008. Dès lors, et au vu des antécédents au niveau de son fonctionnement, le lysimètre de cette parcelle a été déterré en juillet 2009 après la récolte des pois (cf § 3.4).

4.3.4.1 Enseignements de l'essai 2008 (poireau)

Profils de concentration en azote nitrique

Des profils azotés ont été établis les 6 août et 9 octobre 2008 (jusque 60 cm) afin de déterminer le conseil de fumure en poireau. Les reliquats azotés post-récolte après la culture de poireau ont été mesurés le 4 novembre 2008 sur les sous-parcelles de l'essai ainsi que sur le reste de la parcelle de l'agriculteur (Tableau 23)

Tableau 23. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur Grosse Pierre Petit Pont (poireau) –2008

	6/8/2008	9/10/2008	4/11/2008	4/11/2008
	parcelle expérimental (100 UN appliquées)			parcelle sauf essai (180 UN appliquées)
0-30cm	57	24	19	19
30-60cm	82	65	40	71
60-90cm	49	-	40	50
total	188	89	99	140

Le reliquat azoté mesuré le 6 août sur les sous-parcelles de l'essai est fort chargé. 100 UN minéral avaient été appliquées par l'agriculteur sur l'ensemble des sous-parcelles de l'essai, ce qui peut expliquer la quantité importante d'azote nitrique dans le sol à ce moment. Suite à ce profil, il a été décidé de ne plus appliquer d'azote sur aucune des sous-parcelles de l'essai et de considérer l'ensemble de celles-ci comme un objet unique (fertilisation = 100 UN minéral). Un second profil jusque 60 cm a été réalisé le 9 octobre sur l'ensemble des sous-parcelles. Ce profil montre un appauvrissement des horizons 0-30 et 30-60 cm associé au prélèvement de l'azote nitrique par la culture.

Les reliquats azotés post-récolte mesurés sur le parcellaire expérimental et sur le reste de la parcelle en novembre montrent des quantités d'azote nitrique particulièrement importantes dans les horizons profonds (30-60 et 60-90 cm). Cet azote en cours de migration n'a pas pu être utilisé par la culture au cours de son développement et on peut raisonnablement s'attendre à le retrouver dans l'eau de percolation au cours de l'année 2009. L'APL mesuré sur la parcelle dans la couche 30-90 cm présente 41 kg N-NO₃⁻/ha de plus que celui mesuré sur le parcellaire expérimental. Ceci marque l'effet des 80 UN minéral appliquées par l'agriculteur sur sa terre en juillet et qui n'ont pu être qu'en partie valorisées par la culture. Cet azote se retrouvera à terme dans les eaux souterraines. L'analyse statistique relative aux reliquats

azotés post-récolte renseigne que la différence observée entre le parcellaire expérimental et le reste de la parcelle n'est pas significative.

L'APL mesuré sur le parcellaire expérimental avec 100 UN appliquées est qualifié de satisfaisant selon l'APL de référence de 2008 en légumes tandis que l'APL obtenu sur l'ensemble de la parcelle avec 180 UN est qualifié de non-conforme (Figure 17).

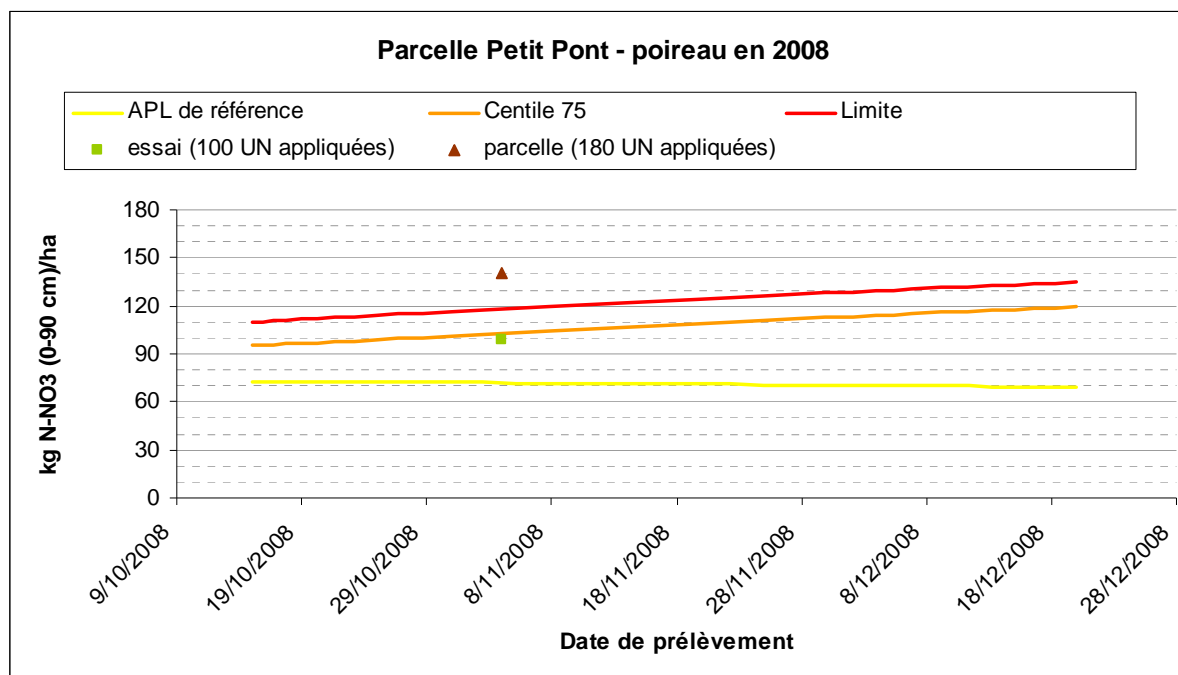


Figure 17. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont par rapport aux APL de référence 2008

Rendements

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

Tableau 24. Rendements et poids moyens obtenus sur la parcelle Grosse Pierre Petit Pont (poireau)

	Rendement (t/ha)	Poids moyen/poireau (g)
parcellaire expérimental (100 UN min)	80,6	405
parcelle entière sauf essai (180 UN min)	88,3	443

Le rendement obtenu sur la terre est supérieur de 7,7 t/ha par rapport à celui obtenu sur l'essai et la différence s'élève à 38 g/poireau en ce qui concerne le poids moyen. L'analyse statistique révèle que les rendements obtenus sur le parcellaire expérimental et sur l'ensemble de la parcelle ne sont pas significativement différents. Ceci peut s'expliquer par une variabilité importante entre les rendements observés sur le parcellaire expérimental. En revanche, les poids moyens par poireau sont considérés comme significativement différents.

Conclusion

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2008, l'application de 80 UN supplémentaires sur l'ensemble de la parcelle à l'exception de l'essai a permis d'obtenir un rendement (non significativement) supérieur ; ce gain de rendement est cependant accompagné d'une hausse des APL, ne permettant plus d'obtenir dans ce cas un APL conforme.

4.3.5 PL1

Ce lysimètre a été le premier installé, le 17 avril 2003. Il est de type non-remanié. Une culture de haricot a été implantée au cours de l'année 2007 suivie en 2008 par un froment. La parcelle a été emblavée en fève des marais suivie d'un épinard d'automne en 2009. Un froment a été semé à l'automne 2009.

Le bord supérieur de ce lysimètre capte la nappe ou sa frange capillaire lors de la remontée de nappe en hiver, comme l'a confirmé le réseau de piézomètres installé en février 2004. Le comportement du lysimètre peut alors être considéré comme un drain. Afin d'obtenir des mesures reflétant au mieux la quantité réelle d'ions nitrate qui migrent sous 2m de profondeur, l'exutoire du lysimètre est fermé à l'aide d'une vanne dès que les piézomètres indiquent une remontée de la nappe telle que la frange capillaire est captée.

Au cours de l'automne 2007-2008, la chambre de visite a été régulièrement inondée et il a été décidé de fermer la vanne du 5 octobre 2007 au 31 mars 2008. La saison de drainage suivante a repris en mai 2008. Suivant les indications de remontée de nappe par les piézomètres, l'exutoire du lysimètre a été fermé de début octobre 2008 jusque mai 2009. Le lysimètre est refermé depuis fin septembre 2009.

4.3.5.1 Enseignements de l'année 2008 (froment + CIPAN)

Tableau 25. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur PL1 (froment + CIPAN) - 2008

	11/8/2008	29/10/2008	11/12/2008
0-30cm	20	8	6
30-60cm	8	8	5
60-90cm	3	7	3
total	31	23	14

La culture de froment en 2008 laisse un profil de sol pauvre en azote nitrique (Tableau 25). La phacélie a joué son rôle de CIPAN en prélevant l'azote restant dans le sol après récolte du froment, comme le montre la diminution de la quantité d'azote nitrique dans le profil au cours de l'automne. Les résultats APL obtenus en 2008 sur la parcelle PL1 sont qualifiés de bons et indiquent une bonne gestion de l'azote par l'agriculteur (Figure 18).

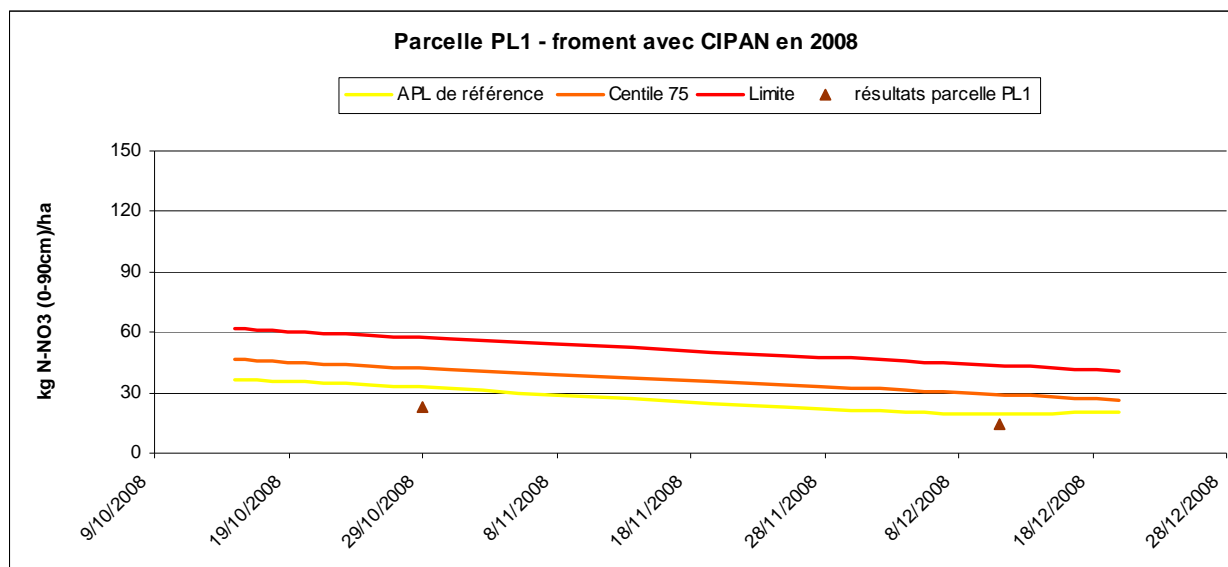


Figure 18. Résultats APL de la parcelle PL1 par rapport à l'APL de référence 2008

4.3.5.2 Enseignements de l'essai 2009 (fève des marais – épinard)

L'essai en épinard d'automne a été touché par d'importants dégâts de mouches ; trois sous-parcelles de l'essai ont ainsi été particulièrement touchées. Ces trois sous-parcelles n'ont pas été comptabilisées dans les rendements moyens pour ne pas biaiser l'interprétation. Il convient donc de se rappeler que les moyennes de rendement d'épinard d'automne sont calculées sur deux sous-parcelles pour l'objet « fumure minimale » et sur trois sous-parcelles pour l'objet « fumure normale ».

Profils de concentration en azote nitrique

Un premier profil azoté a été établi sur les sous-parcelles le 6 mai en vue d'élaborer le conseil de fumure en fève des marais. Un second profil azoté a été réalisé le 28 juillet, afin de mesurer le reliquat azoté présent dans le profil après la culture (Tableau 26). La quantité d'azote nitrique présente dans les 40 premiers centimètres de sol et disponible pour l'épinard a été mesurée le 18 août afin de déterminer le conseil de fertilisation. Enfin, un profil azoté a été établi le 10 septembre pour évaluer l'APL après l'épinard (Tableau 27).

Tableau 26. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL1 (fève des marais) - 2009

	6/5/2009		28/7/2009	
	0 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	50 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	50 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	45	41	28	37
30-60cm	23	20	17	22
60-90cm	16	16	8	8
total	84	77	53	67

Tableau 27. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL1 (épinard d'automne) - 2009

	18/8/2009		10/9/2009		
	40 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	83 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles		40 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	83 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-40cm	128	133	0-30cm	40	71
	-	-	30-60cm	25	25
	-	-	60-90cm	13	13
total	128	133	total	78	109

Le reliquat azoté post-récolte mesuré après fève en juillet est plus important après l'apport de 50 UN. L'analyse statistique révèle cependant que ces différences ne sont pas significatives. L'évolution des profils montre un prélèvement d'azote par les fèves dans l'horizon de surface.

Le stock d'azote nitrique présent dans les 40 premiers centimètres de sol et disponible pour les épinards le 18 août est important (Tableau 27), conséquence de la minéralisation des résidus de la culture de fève et des apports d'azote liés aux irrigations avec les eaux usées de Hesbayefrost. Suite à cette mesure, 40 UN ont été appliquées sur 4 sous-parcelles de l'essai, tandis que les 5 autres sous-parcelles de l'essai (dont celle située à l'aplomb du lysimètre) recevaient un apport de 83 UN.

On remarque que la différence de fertilisation entre les deux objets testé (+ 43 UN) se retrouve en partie dans le sol à la récolte (+ 23 kg N-NO₃⁻/ha) ; cette différence de reliquat azoté post-récolte n'est cependant pas considérée comme significative par l'analyse statistique.

Rendements

Les rendements en fève des marais obtenus sur les essais de la parcelle PL1 en 2009 sont repris dans le Tableau 28. Les rendements obtenus en épinard sur les essais de cette même parcelle sont repris dans le Tableau 29.

Tableau 28. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle PL1 (fève des marais) - 2009

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (kg/ha)	Tendérométrie
0	8279	122
50	7974	118,8

Tableau 29. Rendements et rapports tige-feuille obtenus sur l'essai de la parcelle PL1 (épinard d'automne) - 2009

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (t/ha)	Rapport tige – feuille (%)
40	26,4	12,3
83	33,2	14,1

Les rendements obtenus en fève des marais sont bons, reflétant la tendance générale de l'année. La qualité de la récolte obtenue sur le parcellaire est également très bonne, avec des tendérométries élevées. L'analyse statistique renseigne que les différences de rendement et de tendérométrie observées entre les deux objets (0 UN et 50 UN) ne sont pas significatives.

Pour rappel, l'essai en épinard a été touché par d'importants dégâts de mouches ; trois sous-parcelles de l'essai ne sont ainsi pas comptabilisées dans les calculs de rendement moyen. On observe une augmentation du rendement et du rapport tige-feuille avec l'application de 43 UN supplémentaires. L'analyse de la variance révèle cependant que ces différences ne sont pas significatives.

Conclusions

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2009, le conseil de 50 kg N/ha pour 4 sous-parcelles de l'essai en fève des marais n'a engendré ni gain de rendement ni augmentation significative d'APL ; le conseil de fumure s'est donc révélé excessif d'au moins 50 kg N/ha à posteriori.

En épinard, l'application de 43 UN supplémentaires s'accompagnait d'un gain (non-significatif) de rendement ainsi que d'une hausse (non-significative) des reliquats azotés post-récolte. Rappelons cependant l'essai en épinard a été touché par des dégâts de mouches, entraînant une importante perte de pieds sur trois sous-parcelles de l'essai ; la robustesse de la comparaison s'en trouve donc diminuée.

4.3.5.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 30 : Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie (mm)	Irrigation (mm)	Volumes récoltés (l)	Ions nitrate percolés (mg NO ₃ ⁻ /l)	Azote nitrique percolé kg N-NO ₃ /ha
Août 2007	96	-	1300	-	-
Septembre	72	-	700	-	-
Octobre	64	-	fermé	-	-
Novembre	61	-	fermé	-	-
Décembre	73	-	fermé	-	-
Janvier 2008	50	-	fermé	-	-
Février	26	-	fermé	-	-
Mars	97	-	fermé	-	-
Avril	52	-	0	-	-
Mai	63	-	61,2	177	24
Juin	82	-	199	112	50
Juillet	84	-	48,5	111	12
Août	80	-	0	-	-
DRAINAGE 2007 - 2008	900	0	2308,7	125	86
Septembre 2008	41	-	0	-	-
Octobre	39	-	fermé	-	-
Novembre	39	-	fermé	-	-
Décembre	31	-	fermé	-	-
Janvier 2009	25	-	fermé	-	-
Février	51	-	fermé	-	-
Mars	55	-	fermé	-	-
Avril	36	-	fermé	-	-
Mai	49	-	22	124	6
Juin	43	15	9,4	69	1
Juillet	89	42	3	60	0,5
DRAINAGE 2008 - 2009	498	57	34,4	103	7,5

Au cours de la saison de drainage 2007-2008, la chambre de visite du lysimètre a été retrouvée inondée à plusieurs reprises en août et septembre. Ce constat, ajouté aux mesures de niveau d'eau dans les piézomètres installés à proximité, indique que le bord supérieur du lysimètre capte la nappe ou sa frange capillaire et il a dès lors été décidé de fermer la vanne à l'exutoire du lysimètre début octobre. La vanne est restée fermée jusqu'en fin mars 2008. Après réouverture de la vanne, le lysimètre a recommencé à débiter au mois de mai. De l'eau de percolation a été régulièrement récoltée dans la chambre de visite jusqu'au mois de juillet, clôturant ainsi la saison de drainage 2007-2008. Les teneurs en nitrate sont élevées à la reprise de la percolation au mois de mai (180 mg NO₃⁻/l), avant de baisser quelque peu (110 mg NO₃⁻/l).

Les indications des piézomètres en octobre 2008 renseignaient l'entrée du lysimètre dans une dynamique de drainage d'une partie de la parcelle associée à la percolation et la vanne à l'exutoire a été fermée jusqu'en avril 2009. A la réouverture de la vanne en mai 2009, les concentrations en nitrate de l'eau de percolation étaient plus faibles (~ 70 mg NO₃⁻/l).

4.3.5.4 Graphique récapitulatif

La Figure 19 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle PL1. Au cours de la première saison de drainage, la chambre de visite de ce lysimètre a régulièrement été inondée durant les mois d'août et septembre. Ce constat associé aux mesures dans les piézomètres indique une interception de la nappe. Il a dès lors été décidé de fermer la vanne à l'exutoire du lysimètre début octobre. La vanne est restée fermée jusque fin mars 2008. La culture de haricot semée en 2007 a permis de récupérer le profil azoté particulièrement élevé en mai. Les APL d'automne 2007 montrent un prélèvement par le froment d'hiver de l'azote nitrique présent dans la couche de surface suite à la restitution au sol des résidus de récolte des haricots. Les teneurs en nitrate mesurées dans l'eau de percolation à la reprise de la percolation en mai 2008 sont élevées puis baissent quelque peu par la suite et se stabilisent aux alentours de 110 mg NO₃⁻/l.

La culture de froment suivie d'une CIPAN en 2008 permet d'obtenir des APL faibles (14 kg N-NO₃⁻/ha le 11 décembre). Suite à cette culture de froment, les teneurs en nitrate dans les percolats récoltés en 2009 se situent aux alentours de 60 mg NO₃⁻/l, valeur un peu plus élevée que celles obtenues avec la même culture (froment + CIPAN) au cours de ce projet. On observe cependant une baisse des concentrations en nitrate dans les percolats à la reprise de la percolation en septembre 2009. Suite au débordement des bidons de récolte dans la chambre de visite et aux mesures du niveau d'eau dans les piézomètres, il a été décidé de fermer la vanne à l'exutoire de ce lysimètre fin septembre 2009.

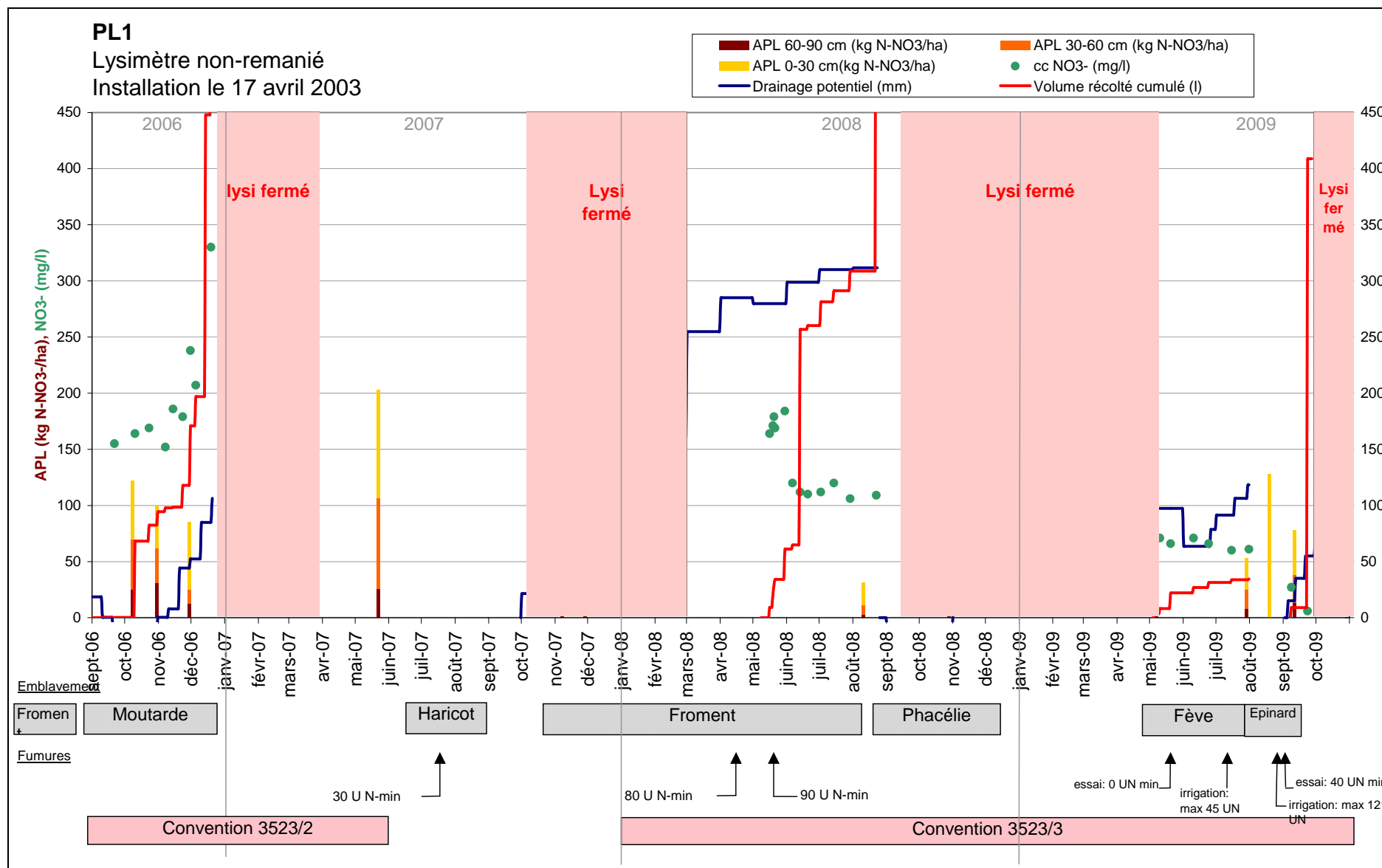


Figure 19. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1

4.3.6 PL3

Ce lysimètre est de type non remanié, installé en date du 8 août 2003. La parcelle a été emblavée en froment suivi d'une phacélie en 2007, en betterave en 2008 et à nouveau en froment suivi d'une phacélie en 2009. Une culture de fève des marais est prévue en 2010.

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

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

Après réouverture du lysimètre, la récolte d'eau dans les bidons de la chambre de visite a repris en mai 2008. Elle s'est poursuivie régulièrement pour se tarir lentement au mois de septembre, période pour laquelle la culture de betterave, à enracinement profond, a laissé un profil hydrique fortement asséché. Après la récolte d'une quantité importante d'eau, l'exutoire du lysimètre a été fermé de décembre 2008 jusque mai 2009.

4.3.6.1 Enseignements de l'essai 2008 (betterave)

Profils de concentration en azote nitrique

Des profils azotés ont été établis sur les sous-parcelles de l'essai et sur l'ensemble de la parcelle avant et après la culture de betterave (Tableau 31 et Tableau 32).

Tableau 31. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de PL3 (betterave) -2008

	6/5/2008		9/10/2008	
	0 UN à appliquer sur 5 sous-parcelles	72 UN à appliquer sur 4 sous-parcelles	0 UN appliquées sur 5 sous-parcelles	72 UN appliquées sur 4 sous-parcelles
0-30cm	58	56	17	17
30-60cm	45	43	5	5
60-90cm	26	24	2	2
total	129	123	24	24

Tableau 32. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle PL3 (excepté l'essai) (betterave)-2008

	7/2/2008	29/11/2008
	120 UN à appliquer sur la parcelle (sauf l'essai)	120 UN appliquées sur la parcelle (sauf l'essai)
0-30cm	30	27
30-60cm	20	9
60-90cm	12	7
total	62	43

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

Le profil établi en novembre dans la parcelle présente une vingtaine d'unités d'azote de plus que ceux réalisés sur le parcellaire expérimental en octobre; la minéralisation des résidus de culture entre la récolte des betteraves le 22 septembre et le prélèvement de l'échantillon de sol le 29 novembre se marque principalement dans l'horizon de surface. La parcelle aurait été qualifiée de « limite » par rapport à l'APL de référence de 2008 (Figure 20) ; cependant, les parcelles de betterave arrachées hâtivement (avant le 15 octobre), comme c'est le cas sur cette parcelle, n'entrent pas en ligne de compte pour la comparaison avec la valeur d'APL de référence en raison de la minéralisation parfois importante des résidus de culture entre l'arrachage et la période d'échantillonnage.

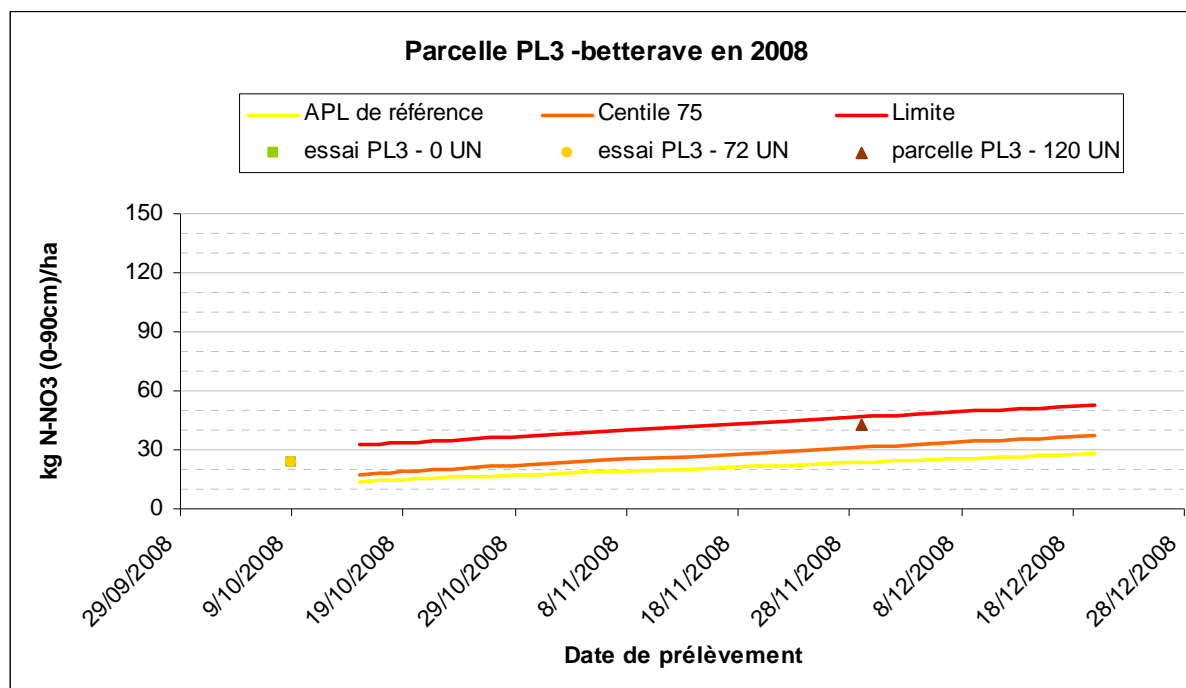


Figure 20. Résultats APL de la parcelle PL3 par rapport à l'APL de référence 2008

Rendements

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

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

Fumure appliquée (kg N/ha)	Rendement (t/ha)	Rendement sucre (t/ha)
0	90,0	15,25
72	87,2	15,29

On voit que la réduction du conseil de fumure jusque 0 UN n'induit pas de baisse de rendement total ni de rendement sucre ; ceci est d'ailleurs confirmé par l'analyse statistique qui ne révèle pas de différence significative de rendement entre les deux objets testés sur le parcellaire (0 UN et 72 UN).

Conclusion

Sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2008, le conseil de 72 kg N/ha sur 4 sous-parcelles de l'essai en betterave n'a engendré ni gain de rendement ni augmentation d'APL ; le conseil de fumure s'est donc révélé excessif d'au moins 72 kg N/ha à posteriori.

4.3.6.2 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 34 : Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie	Irrigation	Volumes récoltés	Ions nitrate percolés	Azote nitrique percolé
	(mm)	(mm)	(l)	(mg NO ₃ -/l)	kg N-NO ₃ /ha
Août 2007	96	-	0	-	-
Septembre	72	-	0	-	-
Octobre	64	-	98,5	55	12
Novembre	61	-	145,5	88	29
Décembre	73	-	125	92	26
Janvier 2008	50	-	fermé	-	-
Février	26	-	fermé	-	-
Mars	97	-	fermé	-	-
Avril	52	-	fermé	-	-
Mai	63	-	88,8	59	12
Juin	82	-	272,7	102	63
Juillet	84	-	27,1	100	6
Août	80	-	2,1	108	0,5
DRAINAGE 2007 - 2008	900	0	759,7	82	148,5
Septembre 2008	41	-	0,6	41	0
Octobre	39	-	0	-	-
Novembre	39	-	0	-	-
Décembre	31	-	fermé	-	-
Janvier 2009	25	-	fermé	-	-
Février	51	-	fermé	-	-
Mars	55	-	fermé	-	-
Avril	36	-	fermé	-	-
Mai	49	-	18,4	22	1
Juin	43	-	1	24	0
Juillet	89	-	0,4	26	0
DRAINAGE 2008 - 2009	498	0	20,4	23	1

La première saison de drainage reprend au mois d'octobre 2007. La percolation se poursuit au cours des mois de novembre et de décembre. Cependant, les volumes récoltés étant plus importants que la pluviométrie, il a été décidé de fermer la vanne située à l'exutoire du lysimètre au début du mois de janvier 2008. Le bord supérieur du lysimètre captait en effet la nappe ou sa frange capillaire à ce moment-là, comme l'a confirmé l'observation du niveau de la nappe dans les piézomètres. Après réouverture de la vanne située à l'exutoire du lysimètre au mois de mai 2008, les volumes d'eau récoltés dans les bidons de la chambre de visite étaient supérieurs à la pluviométrie, avec débordement fréquent des ces bidons, signes de l'interception de la nappe. Il a cependant été décidé de maintenir le lysimètre ouvert afin de pouvoir mesurer les teneurs en nitrate entraînées avec l'eau de la nappe et sa frange capillaire. La teneur moyenne en nitrate des percolats s'élevait à 82 mg NO₃⁻/l au cours de cette saison de drainage.

Suivant les mesures dans les piézomètres, le lysimètre a ensuite été fermé de décembre 2008 à avril 2009. La percolation a repris en mai jusque juillet avec des concentrations en nitrate dans l'eau de percolation très basses (23 mg NO₃⁻/l en moyenne).

4.3.6.3 Graphique récapitulatif

La Figure 21 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle PL3. La saison de drainage 2007-2008 s'est étalée d'octobre à décembre 2007. Par la suite, étant donné que le bord supérieur du lysimètre captait la nappe ou sa frange capillaire, il a été décidé de fermer la vanne à l'exutoire de celui-ci. Les eaux captées à cette période présentent des concentrations en nitrate plutôt élevées (80 mg NO₃⁻/l). Une diminution par rapport aux teneurs de l'eau captée en cours de l'hiver et du printemps 2007 est quand même observée. La phacélie implantée après froment en 2007 permet de récupérer une partie de l'azote nitrique présent dans le sol à la récolte (70 kg N-NO₃⁻/ha).

Le profil réalisé en avril 2008 avant betterave est chargé en azote nitrique (~125 kg N-NO₃⁻/ha), conséquence d'une reprise de minéralisation hâtive en raison d'un mois d'avril particulièrement chaud et de l'apport de 200 UN organique à l'automne 2007. La betterave a utilisé cet azote au cours de son cycle de culture, comme le prouve le reliquat azoté post-récolte faible (24 kg N-NO₃⁻/ha). Les teneurs en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre en 2008 sont de l'ordre de 100 mg NO₃⁻/l. On peut donc dire que la succession céréale – CIPAN – betterave avec apport de matière organique après céréale ne permet pas d'obtenir systématiquement et en permanence des teneurs en nitrate dans les eaux de percolation inférieures à 50 mg NO₃⁻/l.

La saison de drainage 2008-2009 a repris en décembre. Cependant, étant donné que le bord supérieur du lysimètre captait la nappe ou sa frange capillaire, il a été décidé de fermer la vanne à l'exutoire de celui-ci fin décembre 2008 pour le rouvrir en mai 2009. De l'eau a été récoltée jusque juillet. Les concentrations en nitrate de l'eau récoltée à l'exutoire de ce lysimètre en 2009 sont basses (~ 20 mg NO₃⁻/l), confirmant à nouveau l'intérêt de la succession betterave – froment – CIPAN pour la récolte d'une eau de percolation peu chargée en nitrate, conformément aux observations déjà réalisées sur plusieurs parcelles au cours de ce projet.

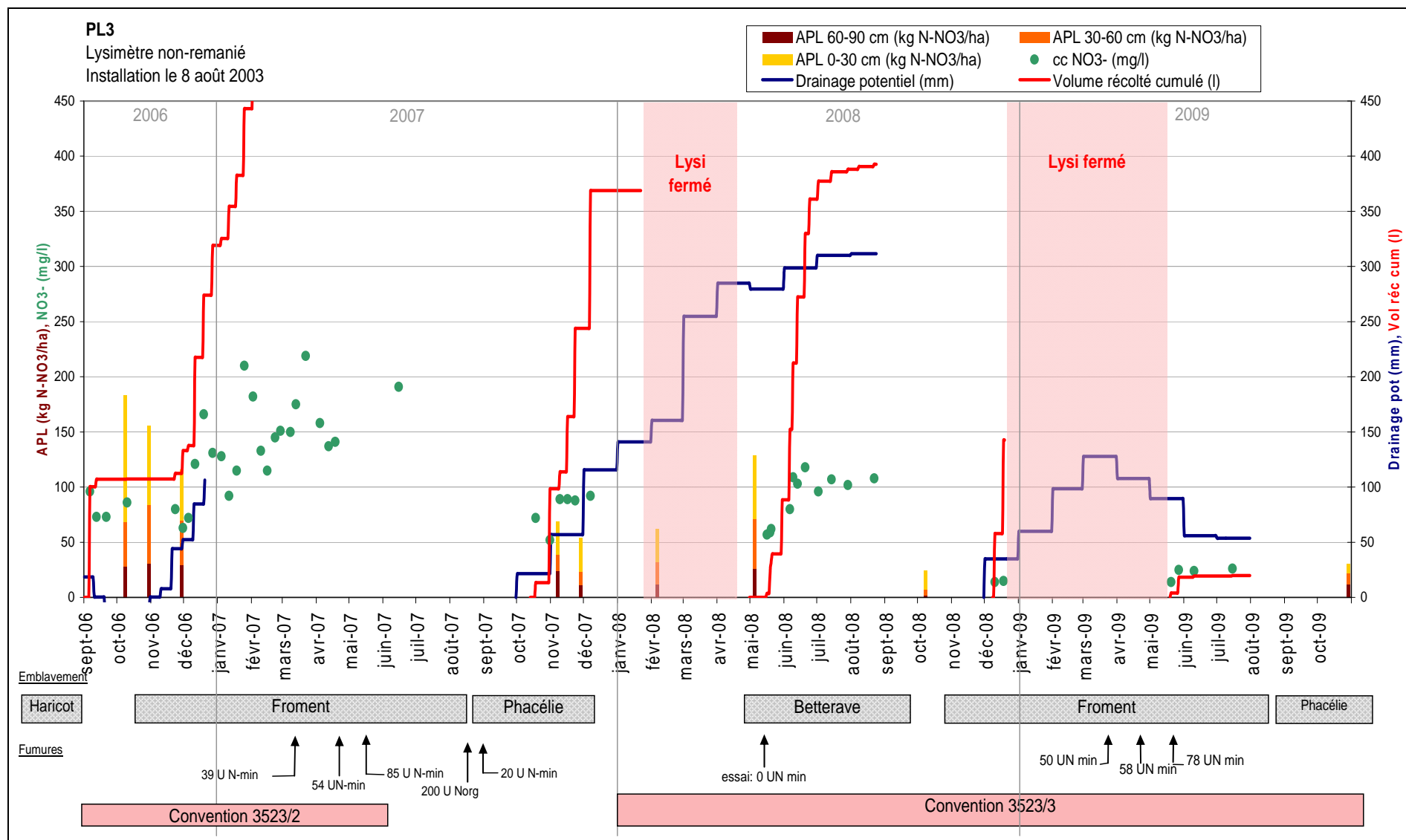


Figure 21. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3

4.3.7 Lysimètres de Gembloux

Parallèlement aux parcelles suivies *in situ* dans la région de Wareme, deux lysimètres ont été suivis à Gembloux. Ces lysimètres sont installés depuis 25 ans sur le site de Gembloux Agro-Bio Tech. Ces lysimètres ont un diamètre de 2m et présentent une profondeur de 2m.

En 2006, une succession épinard – haricot avait été installée sur ces deux lysimètres. En 2007, une culture de froment d’hiver y a été mise en place suivie en 2008 de maïs. Des betteraves ont été cultivées en 2009 et un froment a été semé fin octobre 2009.

Ces lysimètres ont fait l’objet d’un suivi à l’azote marqué ^{15}N dans le cadre d’une convention annexe avec le CRA-W (convention 2798/1). Dans cette optique, 200 kg $^{15}\text{N}/\text{ha}$ ont été appliquées avant la succession épinard/haricot le 3 mai 2006 afin d’en préciser le devenir au cours de la succession. Les enseignements et conclusions quant à ce suivi de l’azote isotopique se trouvent dans le rapport final de cette convention.

Le suivi de la percolation dans ces lysimètres est assuré depuis novembre 2006. La première saison de percolation s’est étalée jusque début avril 2007 pour les deux lysimètres. Le premier lysimètre a recommencé à débiter de l’eau début août 2007 tandis que la deuxième saison de drainage a repris début novembre sur le second lysimètre. Cette deuxième période de drainage s’est poursuivie jusque août 2008, les deux lysimètres se tarissant à la fin de ce mois. La troisième saison de drainage s’est étalée de décembre 2008 à juin 2009 pour le lysimètre 1 et de janvier à juillet 2009 pour le lysimètre 2.

4.3.7.1 Calendrier cultural

2006 Epinard – haricot

2007 Froment d’hiver

2008 Maïs

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

10 octobre 2008 : récolte du maïs

2009 Betterave

3 avril : semis des betteraves, application de 180 UN minéral

15 octobre : récolte des betteraves

2010 Froment

29 octobre 2009 : semis du froment

4.3.7.2 Mesures sur les lysimètres en 2009

Afin de déterminer le conseil de fumure pour la culture de betterave en 2009, un profil azoté a été établi le 20 mars 2009 sur les 2 lysimètres. L’APL a également été mesuré dans les deux lysimètres à la récolte des betteraves le 15 octobre (Tableau 35).

On peut voir dans ce tableau que les profils sont lessivés dans les deux lysimètres. Une migration hivernale de l'azote nitrique présent dans le sol à la récolte du maïs vers les horizons profonds s'est produite. Par ailleurs, on n'observe pas de différence dans les quantités d'azote nitrique mesurées dans les deux lysimètres avant la culture de betterave. Les reliquats azotés mesurés dans le sol à la récolte des betteraves est faible et les différences observées entre les deux lysimètres sont minimales. Les betteraves ont donc utilisé toutes les ressources en azote à leur disposition au cours de leur croissance.

Tableau 35. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur les deux lysimètres de Gembloux

	20/3/2009		15/10/2009	
	lysi 1	lysi 2	lysi 1	lysi 2
0-30cm	4	4	6	6
30-60cm	4	4	3	3
60-90cm	5	4	6	2
total	13	12	15	11

Les rendements obtenus dans les deux lysimètres de Gembloux en 2009 sont présentés dans le Tableau 36. La levée des betteraves a été fort limitée sur le lysimètre 1 ; ceci se marque dans la différence de rendement entre les deux lysimètres. Cette différence au niveau du rendement n'induit toutefois pas de différence d'APL entre les deux lysimètres.

Tableau 36. Rendements en betterave obtenus sur les lysimètres de Gembloux en 2009

	lysi 1	lysi 2
Rendements (t/ha)	53,2	80,6

4.3.7.3 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Tableau 37 : Lysimètre 1, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie		Volumes récoltés l	Ions nitrate percolés mg NO ₃ -l	Azote nitrique percolé kg N-NO ₃ /ha
	mm	l/3,14m ²			
Août 2007	40	126	72,9	37	2
Septembre	10	31	29,1	42	1
Octobre	22	69	10,5	69	0,5
Novembre	24	75	24	90	2
Décembre	45	141	50	108	4
Janvier 2008	50	157	114,7	126	10
Février	34	107	94,8	111	8
Mars	100	314	208,5	118	18
Avril	16	50	36,6	110	3
Mai	11	35	5,1	106	0,5
Juin	76	239	8,9	125	1
Juillet	53	166	6,9	83	0,5
Août	45	140	0,2	120	0
DRAINAGE 2007-2008	525	1650	659,8	103	51
Septembre	36	113	0	-	-
Octobre	36	113	0	-	-
Novembre	68	214	0	-	-
Décembre	43	135	12,4	109	1
Janvier 2009	51	160	78	131	7
Février	57	179	96,4	107	7
Mars	42	132	70,4	116	6
Avril	36	113	80,5	103	6
Mai	65	204	92,5	94	6
Juin	65	204	4,2	84	0
Juillet	38	119	0	-	-
DRAINAGE 2008-2009	575	1686	434,4	109	33

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

La saison de drainage 2007-2008 reprend en août 2007. Au cours de cette saison de drainage, 40% des précipitations se retrouvent à l'exutoire du lysimètre. Les concentrations en nitrate observées augmentent rapidement au cours des mois qui suivent et se stabilisent aux environs des 100/120 mg NO₃⁻/l. On peut donc supposer que l'azote immobilisé dans ce lysimètre au cours des mois précédents en raison de l'enfouissement d'espèces ligneuses est maintenant disponible et est relargué dans les eaux de percolation. Au total, 51 kg N-NO₃⁻/ha ont été lessivés à deux mètres de profondeur au cours de cette saison de drainage contre 3 kg N-NO₃⁻/ha durant la première, durant la phase d'immobilisation.

Au cours de cette saison de drainage, 26% des précipitations se retrouvent à l'exutoire du lysimètre. La concentration en nitrate dans les percolats reste stable au cours de cette saison, avec un fléchissement en fin de période, durant les mois de mai et juin 2009. Au total, 33 kg N-NO₃⁻/ha ont été lessivés à deux mètres de profondeur au cours de cette saison de drainage.

Tableau 38. Lysimètre 2, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate

Mois	Pluviométrie		Volumes récoltés l	Ions nitrate percolés mg NO ₃ -/l	Azote nitrique percolé Kg N-NO ₃ /ha
	mm	l/3,14m ²			
Août 2007	40	126	0	-	-
Septembre	10	31	0	-	-
Octobre	22	69	0	-	-
Novembre	24	75	22,2	355	6
Décembre	45	141	50	251	9
Janvier 2008	50	157	118,1	259	22
Février	34	107	97,5	229	16
Mars	100	314	211,1	220	33
Avril	16	50	83,2	198	12
Mai	11	35	23	184	13
Juin	76	239	58,3	209	9
Juillet	53	166	22,2	184	13
Août	45	140	0,025	200	0
DRAINAGE 2007-2008	525	1650	682,2	230	133
Septembre	36	113	0	-	-
Octobre	36	113	0	-	-
Novembre	68	214	0	-	-
Décembre	43	135	0	-	-
Janvier 2009	51	160	79,7	125	7
Février	57	179	97,9	103	7
Mars	42	132	69,1	110	5
Avril	36	113	84,5	116	7
Mai	65	204	99,3	108	8
Juin	65	204	16,3	84	1
Juillet	38	119	0,8	47	0
DRAINAGE 2008-2009	575	1686	447,5	111	35

Ce lysimètre présente des teneurs en nitrate totalement différentes du premier. En effet, les eaux récoltées dans ce lysimètre sont plus chargées avec une teneur moyenne de 230 mg NO₃⁻/l au cours de la saison 2007-2008, contre 103 mg NO₃⁻/l en moyenne pour le lysimètre 1. Ceci peut s'expliquer par un pic de minéralisation, conséquence du travail du sol de ce lysimètre qui avait été laissé en friche pendant plusieurs années avant sa remise en culture en 2006. Les concentrations dans ce lysimètre baissent cependant régulièrement au cours de cette saison. Au total, 133 kg N-NO₃⁻/ha ont été lessivés à deux mètres de profondeur au cours de cette saison de drainage, soit près de trois fois plus que sur l'autre lysimètre. Au cours de cette saison de drainage, 41% des précipitations se retrouvent à l'exutoire du lysimètre.

Au cours de cette saison de drainage, 27% des précipitations se retrouvent à l'exutoire du lysimètre. La concentration en nitrate dans les percolats reste stable au cours de cette saison, avec un fléchissement en fin de période, durant les mois de juin et juillet 2009. Au total, 35 kg N-NO₃⁻/ha ont été lessivés à deux mètres de profondeur au cours de cette saison de drainage, valeur comparable à celle obtenue sur l'autre lysimètre ; ceci confirme que le régime de fonctionnement des deux lysimètres est maintenant bien comparable.

4.3.7.4 Graphique récapitulatif

La Figure 22 présente une synthèse des mesures et observations pour les lysimètres de Gembloux. Ce graphique illustre bien la différence de comportement entre les deux lysimètres.

La première saison de drainage s'est déroulée de novembre 2006 à mars 2007, avec des volumes récoltés dans le lysimètre 1 plus faibles que dans le lysimètre 2. Les teneurs en nitrate observées dans le lysimètre 1 sont extrêmement faibles (~5 mg NO₃⁻/l) tandis que celles observées dans le lysimètre 2 sont extrêmement élevées (~420 mg NO₃⁻/l). L'explication se situerait dans le travail du sol dans ces lysimètres laissés en friche pendant plusieurs années auparavant. Si un important pic de minéralisation est observé dans le lysimètre 2, celui-ci ne l'est pas dans le lysimètre 1 suite au développement d'espèces ligneuses induisant un processus d'immobilisation microbienne.

La deuxième saison de drainage a repris plus tôt sur le lysimètre 1 que sur le lysimètre 2. Au cours de cette saison de drainage, la teneur en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre 2 diminue régulièrement (~230 mg NO₃⁻/l), tout en restant au dessus des valeurs observées dans le lysimètre 1 (~100 mg NO₃⁻/l). Cette diminution peut être mise en relation avec une baisse de l'intensité du pic de minéralisation observé au cours de la première année. En revanche, les teneurs en nitrate dans les eaux du lysimètre 1 augmentent au cours de cette saison, signe d'une restitution de l'azote immobilisé au cours de l'année précédente.

Les observations réalisées au cours des deux années 2007 et 2008 doivent être interprétées avec précaution. Étant donné que ces lysimètres étaient restés plus de 15 ans en friche, la remise en culture effectuée en 2006 peut être assimilée au labour d'une prairie. Dès lors, la piètre qualité de l'eau observée en 2007 et 2008 sur le lysimètre 2 était partiellement causée par la pratique de labour d'une "prairie permanente".

En 2009, les comportements des deux lysimètres sont comparables. Après trois années de remise en service, on peut maintenant dire que ces lysimètres sont le reflet des conditions de plein champ comme attendu et des scénarios différenciés de fertilisation azotée peuvent maintenant être envisagés sur ces lysimètres.

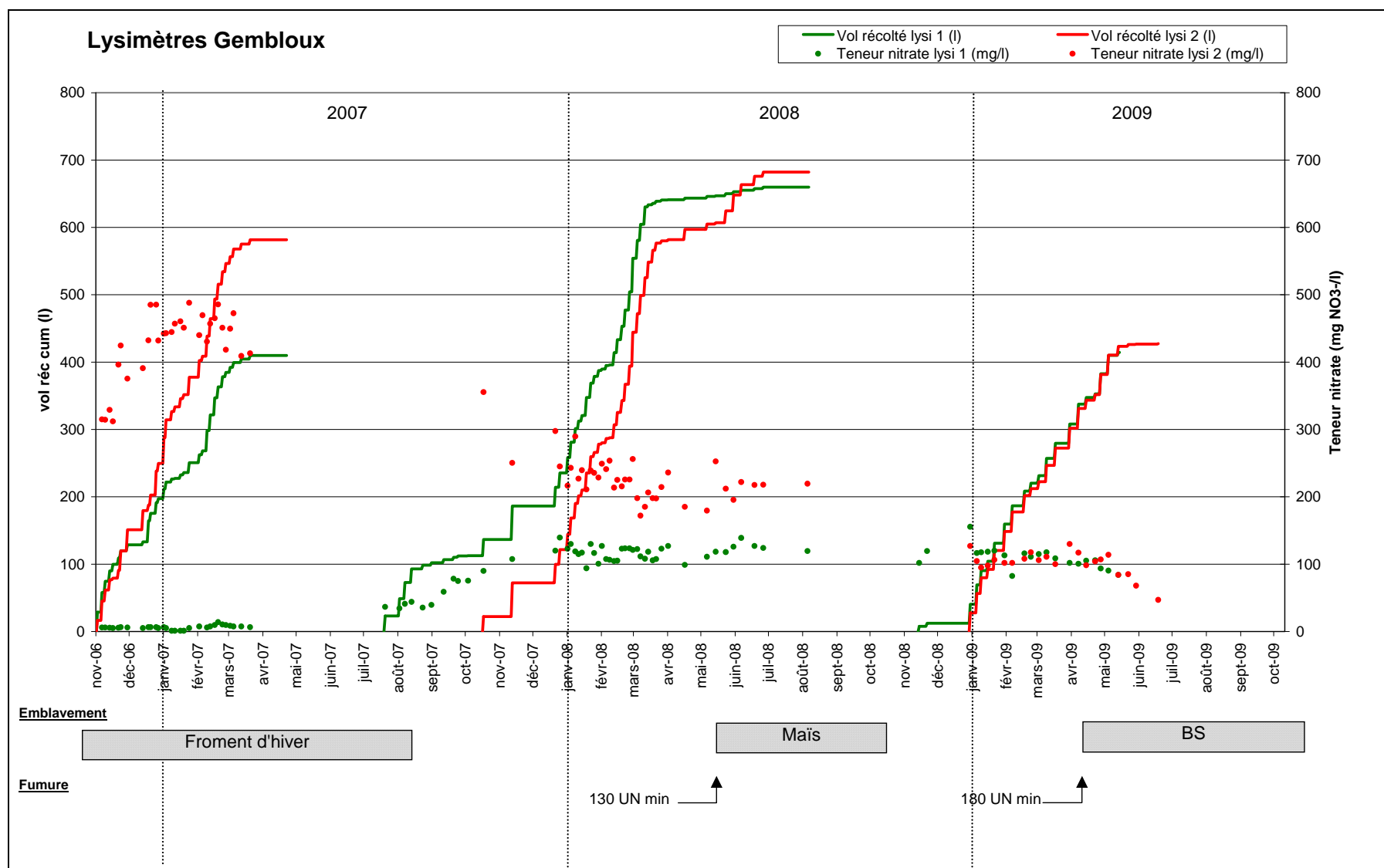


Figure 22. Synthèse des mesures et observations, lysimètres de Gembloux

5 Vulgarisation des enseignements

5.1 Sur papier

Les enseignements des six années du projet ont été exposés au cours de l'atelier "nitrate - eau" organisé par GRENeRA à Peyresq en juin 2009 en vue de l'évaluation et d'une proposition de renouvellement du PGDA. Suite à cet atelier, un numéro spécial de la revue scientifique BASE (Biotechnologie, Agriculture, Société et Environnement) a été publié, synthétisant les différentes études qui y ont été présentées. Deux articles relatifs au projet « lysimètres » ont été publiés dans ce numéro spécial de BASE, qui s'intitulent :

- « Suivi de la percolation du nitrate en terres cultivées par la technique lysimétrique » (Fonder et al, 2010) qui synthétise les observations dans les lysimètres depuis le début du projet et
- « Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrates et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique » (Deneufbourg et al, 2010) qui synthétise les résultats des essais menés depuis deux ans à l'aplomb des lysimètres.

Les enseignements du projet seront également proposés à la publication d'un article synthétique dans un numéro des « Nouvelles de l'Agriculture ». Un projet d'article est joint à ce rapport (annexe 4).

5.2 En chambre

A la demande de Nitrawal et dans le cadre d'une journée d'information destinée aux partenaires de la structure d'encadrement de l'association, GRENeRA et le CPL Végémar ont assuré deux présentations intitulées respectivement :

- impact des successions culturales sur la qualité de l'eau et rotations à risques : enseignements de la convention "lysimètre",
- recommandations en matière de fertilisation azotée pour les principales cultures légumières.

Lors de la première présentation, l'accent a surtout été mis sur les enseignements environnementaux des six années de suivi tels que les rotations à risque ou non.

La seconde présentation a permis de passer en revue les principales cultures légumières sur le plan de la fertilisation azotée, les résultats d'expérimentation et d'insister sur les modifications des pratiques à mettre en œuvre suite aux résultats obtenus.

Un des objectifs de l'axe « vulgarisation » est de sensibiliser les producteurs de légumes wallons, mais surtout du milieu de l'industrie légumière sur les enjeux de la politique nitrate et de les impliquer dans l'élaboration d'itinéraires phytotechniques à faible impact environnemental.

La s.a. Hesbaye Frost située à Geer est l'acteur principal de l'industrie légumière en région wallonne. Elle dispose d'un service agronomique qui a pour mission la planification de la production, le suivi des cultures et la gestion des récoltes.

Une réunion de travail s'est tenue le 19 octobre 2009 avec GRENeRA, le CPL Végémar et le service agronomique de la s.a. Hesbayefrost. Le but de cette réunion était de répondre aux objectifs de sensibilisation et d'implication du secteur du légume industriel dans la problématique nitrate.

L'ordre du jour de cette réunion reprenait les trois points suivants :

- présentation des enseignements du projet "lysimètres" ainsi que ceux de deux autres expérimentations menées en cultures légumières ;
- propositions de modifications des pratiques en termes de fertilisation azotée des cultures légumières
- position de l'usine Hesbaye Frost dans la problématique de la fertilisation azotée des cultures légumières industrielles.

Le procès verbal de cette réunion ainsi que le diaporama de la présentation sont repris en annexe (annexes 1 et 2).

Au terme de cette réunion, les responsables du service agronomique de Hesbaye Frost se disent conscients de la problématique de la gestion de la fertilisation azotée des cultures légumières industrielles tout en soulignant les efforts déjà fournis par le secteur dans ce domaine. Ils se disent également réceptifs aux propositions de modifications des pratiques de fertilisation. Ils soulignent également que ces recommandations doivent être communiquées aux agriculteurs. Jean-Marc Pirard, Directeur du service agronomique de la s.a. Hesbayefrost, propose d'organiser une réunion avec les producteurs pour le début de l'année 2010 en partenariat avec GRENeRA et le CPL Végémar.

Suite à cette réunion, il n'a donc pas été jugé opportun d'organiser une séance d'information à destination des producteurs ; une invitation émanant de l'industrie légumière aura certainement beaucoup plus d'impact en termes de fréquentation et de sensibilisation des producteurs.

5.3 Sur le terrain

Un des objectifs de l'axe « vulgarisation » est d'informer sur l'existence en Wallonie d'une plateforme d'essais permettant l'utilisation d'outils lysimétriques et mise en place grâce au soutien de la Région Wallonne.

Pour se faire, une visite d'essais et d'infrastructures a été organisée sur la parcelle PL1 le 3 septembre dernier. Cette parcelle faisait l'objet d'un essai de fertilisation sur épinard d'automne.

L'invitation était adressée aux producteurs de légumes d'APLIGEER (coopérative de producteurs fournisseuse principale de la s.a. Hesbayefrost), au service agronomique de la s.a. Hesbayefrost ainsi qu'au personnel de la structure d'encadrement Nitrawal.

Cette visite a été l'occasion de présenter :

- un poster sur la mise en place des lysimètres,
- l'infrastructure (chambre de récolte des percolats),
- un poster de synthèse des mesures et observations sur chaque parcelle,
- les protocoles d'expérimentations des deux années,
- les résultats d'expérimentation de 2008 et en partie de 2009, et
- les premiers enseignements de cette convention.

Dans le cadre de cette visite, un document de synthèse repris en annexe (annexe 3) a été remis à chaque participant. Ce document reprend :

- le contexte et les objectifs du projet,
- l'historique du projet,
- un descriptif des lysimètres,
- les itinéraires culturels,
- un descriptif des parcelles expérimentales et
- les premiers enseignements et perspectives.

Le personnel de Nitrawal et le service agronomique de Hesbayefrost s.a. sont venus en nombre. Par contre, à l'exception de Monsieur Pirlot qui nous accueillait sur sa parcelle, aucun producteur n'était présent à la visite.

6 Conclusions et recommandations

La première convention a permis l'installation des lysimètres et l'étude de la percolation de l'azote nitrique en profondeur en conditions réelles (in situ), sur des terres agricoles par la technique lysimétrique. La deuxième convention a assuré un suivi des mesures et interprétations des résultats obtenus. Cette troisième convention a poursuivi les mesures et interprétations dans les eaux de percolation récoltées à 2m de profondeur. Des essais mis en place à l'aplomb du lysimètre permettent de tester l'impact de conseils de fertilisation adaptés sur les rendements, les reliquats azotés et les teneurs en nitrate dans l'eau qui percole sous la zone racinaire.

Ce rapport clôture les deux années d'activités de la convention. Après un rappel des objectifs, un historique des précédentes subventions et subventions annexes est tout d'abord dressé. Le choix des sites et leur caractérisation sont exposés, ainsi que la méthodologie de prélèvement et d'acquisition de données. Les conditions météorologiques ont été décrites pour les années 2008 et 2009. Les plans et les calendriers d'expérimentation ont été décrits en détail. Les résultats obtenus sur les six parcelles de la région de Waremme et sur deux lysimètres de Gembloux sont exposés par la suite, avec une synthèse graphique par parcelle et une discussion des résultats. Les activités de vulgarisation menées au cours de ce projet sont également exposées.

L'intérêt des essais menés en 2008 et 2009 à l'aplomb des lysimètres est de pouvoir quantifier les APL et les rendements individuels des différentes sous-parcelles ayant reçu soit des apports azotés différenciés. Les résultats de ces essais ont été confrontés aux résultats d'expérimentations menées par le CRA-W et par Epuvaleur et le CPL Végémar (projet INCO – Fonder et al, 2010)) en cultures légumières par le passé. Sur base de ces résultats et des bilans de fertilisation en cultures légumières pour les années 2007 à 2009, des modifications de pratiques en matière de fertilisation azotée sont proposées :

- Epinard de printemps : un apport d'une première fraction de maximum 100 kg N/ha est préconisé. Si cette première fraction est sous forme d'azote liquide, elle sera idéalement appliquée deux semaines (ou plus) avant le semis, afin que le nitrate soit disponible pour la plante au moment de son implantation. Cette première fraction devra être incorporée par le travail du sol avant semis. La seconde fraction sera calculée sur base d'un prélèvement de sol au stade 2 feuilles.
- Epinard d'automne : un apport d'une première fraction de maximum 80 kg N/ha (50 kg N/ha pour les parcelles situées dans le réseau d'irrigation par eau usée de Hesbaya Frost) est préconisé. Si cette première fraction est sous forme d'azote liquide, elle sera idéalement appliquée avant la préparation du sol pour le semis. L'établissement d'un profil azoté au stade cotylédonaire avec apport de la seconde fraction le plus tôt possible est conseillé.
- Fève des marais : il a été montré au cours de ce projet (parcelles Grosse Pierre Chemin de Fer en 2008 et Gros Thier Bovenistier et PL1 en 2009), du projet INCO et de l'expérimentation menée par le CRA-W qu'une baisse de la fertilisation de 50 UN en fève des marais n'amène pas de baisse de rendement et que les reliquats azotés post-récolte restent comparables. Une réduction des besoins forfaitaires de la fève des

marais de 120 kg N/ha à 70 kg N/ha est dès lors nécessaire pour le calcul du conseil de fumure par les laboratoires. Une poursuite des expérimentations en fève des marais permettrait de tester si ces besoins pourraient ou non être encore diminués.

- Haricot : étant donné la réponse favorable des rendements de la culture de haricot à la fumure azotée (parcelle Sole 4 en 2009 et projet INCO), il convient de gérer au mieux l'interculture en implantant une CIPAN dès que possible. Si l'implantation d'une céréale d'hiver (ou autre culture d'hiver) est prévue à l'automne, la CIPAN peut également permettre de réduire l'APL mais son efficacité est fortement liée à la date de récolte du haricot. Les données sont trop peu nombreuses que pour pouvoir faire, à ce stade, des recommandations en matière de CIPAN entre haricot et une céréale d'hiver.
- Carotte : il a été montré au cours de ce projet (parcelle Sole 4) et du projet INCO qu'une baisse de la fertilisation jusque 40 UN en carotte n'amène pas de baisse de rendement et que les reliquats azotés post-récolte restent comparables. Une réduction des besoins forfaitaires de la culture de carotte de 150 kg N/ha à 110 kg N/ha est dès lors préconisée. Une poursuite des expérimentations en carotte permettrait de tester si ces besoins pourraient ou non être encore diminués.
- Chou frisé : un apport de 50 kg N/ha maximum en première fraction est préconisé afin de tenir compte au mieux de la minéralisation des résidus de la culture précédente dans le calcul du conseil pour la seconde fraction (cf parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer en 2008).

L'observation de la qualité de l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres en 2008 et 2009 a permis de confirmer les tendances déjà mises en avant depuis le début du projet, à savoir :

- la bonne qualité de l'indicateur environnemental APL : les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation sont du même ordre de grandeur que les APL avec un décalage de 6 à 18 mois en fonction de conditions de la parcelle ;
- les rotations classiques betterave – céréale – CIPAN permettent d'obtenir des eaux de percolation faiblement chargées en nitrate ;
- l'absence de CIPAN après une céréale a pour conséquence une augmentation des teneurs en nitrate dans l'eau de percolation ;
- l'introduction d'une culture légumière dans la rotation classique a pour conséquence une augmentation des teneurs en nitrate dans l'eau de percolation ; cette augmentation peut être atténuée par l'implantation d'une CIPAN après la culture légumière ;
- l'introduction d'une double culture légumière avec légumineuse a pour conséquence une augmentation parfois importante des teneurs en nitrate dans l'eau de percolation ;
- les rotations et successions ont un impact prépondérant sur la qualité des eaux.

En regard des constats sur la qualité de l'eau et plus particulièrement par rapport au dernier point relatif aux rotations et successions culturales, d'autres recommandations sont proposées :

- obligation d'implanter une CIPAN après une céréale afin de réduire l'APL ;
- lorsqu'une culture récoltée à l'automne laisse un APL élevé, la culture suivante devrait avoir un enracinement profond. La culture suivante ne pourra pas être une légumineuse ;
- étendre l'obligation d'implanter une CIPAN après toute culture récoltée avant le 1er septembre.

Un autre enseignement des essais menés sur les parcelles en Hesbaye est l'importance de la date du prélèvement de sol effectué en vue d'établir le conseil de fumure. Durant ces essais, les conseils de fumure ont été établis sur base de prélèvements effectués après le semis, afin de tenir compte d'une reprise de minéralisation parfois importante dans le cas d'un affinage important du sol (cas des carottes par exemple), de températures importantes et/ou d'apport préalable de matières organiques. Il est ainsi possible d'apporter la fumure minérale au moment où la plante en a réellement besoin. Par contre, comme cela a été observé sur deux parcelles au cours de l'essai (Sole 4 et PL3 en 2008), un conseil calculé sur base d'un profil établi trop tôt dans la saison augmentera le risque de surestimation des quantités à apporter par sous-estimation de la minéralisation.

Un lysimètre a été déplacé en cours d'année en raison de son emplacement inapproprié. Le déplacement de ce lysimètre sur une parcelle recevant régulièrement des apports d'azote organique permettra à l'avenir d'observer l'impact de ces apports organiques sur la qualité de l'eau de percolation.

7 Références bibliographiques

1. **Aboukhaled A., Alfaro J.F., Smith M.** (1986). Les Lysimètres. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, n°39 . FAO Rome, 1986.
2. **Deneufbourg M., Vandenberghe C., Heens B., Bernaerdt R., Fonder N., Xanthoulis D., Marcoen J.M.** (2010). Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrates et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **14** (S1), 113-120, <http://popups.ulg.ac.be/Base/document.php?id=4968>
3. **Fonder N., Vandenberghe C., Xanthoulis D., Marcoen J.M.** (2005). Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture. Rapport final. Convention Région wallonne DGA n°3523/1. Période du 1er mars 2003 au 28 février 2005. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 106p.
4. **Fonder N., Debauche O., Vandenberghe C., Xanthoulis D., Marcoen J.M.** (2007). Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture. Rapport final. Convention région wallonne DGA n°3523/2. Période du 1er mars 2005 au 31 mai 2007. Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique. 88 p.
5. **Fonder N., Heens B., Xanthoulis D.** (2010). Optimisation de la fertilisation azotée de cultures industrielles légumières sous irrigation. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **14** (S1), 103-111, <http://popups.ulg.ac.be/Base/document.php?id=4958>
6. **Fonder N., Deneufbourg M., Vandenberghe C., Xanthoulis D., Marcoen J.M.** (2010). Suivi de la percolation du nitrate en terres cultivées par la technique lysimétrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **14** (S1), 17-25, <http://popups.ulg.ac.be/Base/document.php?id=4827>
7. **Muller J.C.** (1996). Un point sur ... trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). INRA, Comifer, 1996. 389p
8. **Nitrawal** (2007). Eau-nitrate, informations et conseils techniques pour la gestion durable de l'azote (2^{ème} édition). 162p.
9. **Nitrawal.** (2007). Le nouveau Programme de Gestion Durable de l'Azote. Edition février, 2007. 4p.
10. **Renard S., Goffart J.-P., Frankinet M.** (2007). Optimisation de l'efficacité de l'azote dans des rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye. Les Dossiers de la Recherche agricole. Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture.

11. **Dautrebande S., Rouxhet F., Guiot J., Dewez A., Hallet V., Monjoie A.** (1996). Programme-Action Hesbaye, Rapport de synthèse. FUSAGx, 167p.
12. **Thirion M., Mulders Ch.** (2006). Le programme de gestion durable de l'azote *change*. Les cahiers de l'agriculture, n°42, Novembre 2006.
13. **Vandenberghé 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. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **8** (2), 111-118. Fac. Univ. Sc. Agr. Gembloux.