



**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 30 juin 2010

Ce document doit être mentionné comme suit :

Deneufbourg M.¹, Vandenberghe C.¹, Fonder N.², Heens B.³, Xanthoulis D.², Marcoen J.M.¹, (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. Rapport final, période du 1^{er} janvier 2008 au 30 juin 2010. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech. 92p + 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 – Unité de Science du Sol (GxABT);
- un représentant de l'asbl EPUVALEAU;
- un représentant de l'asbl CPL Végémar;
- trois agriculteurs chez qui se déroule le projet.

¹ Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Science du Sol – 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.....	8
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE	8
1.2 OBJECTIFS DE LA CONVENTION	10
1.3 TACHES SPECIFIQUES.....	11
2 HISTORIQUE DES PRECEDENTES SUBVENTIONS	12
2.1 PREMIERE SUBVENTION (PERIODE DU 1 ^{ER} MARS 2003 AU 28 FEVRIER 2005)	12
2.2 DEUXIEME SUBVENTION (PERIODE DU 1ER MARS 2005 AU 31 MAI 2007)	13
2.3 SUBVENTION : « 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)	14
3 MATERIEL ET METHODE.....	16
3.1 DESCRIPTION DES SITES RETENUS.....	16
3.2 DEPLACEMENT D'UN LYSIMETRE.....	17
3.3 METHODOLOGIE DES PRELEVEMENTS ET ANALYSES DES ECHANTILLONS D'EAU	19
3.3.1 <i>Prélèvements</i>	19
3.3.2 <i>Analyses</i>	19
3.4 METHODOLOGIE APPLIQUEE AUX ESSAIS MENES SUR LES SITES LYSIMETRIQUES.....	21
3.5 METHODOLOGIE POUR LE CALCUL DE LA FUMURE AZOTEE SUR LES ESSAIS.....	21
4 CONTEXTE CLIMATIQUE.....	23
5 DONNEES D'IRRIGATION	25
6 EXPERIMENTATIONS ET RESULTATS	26
6.1 GROSSE PIERRE CHEMIN DE FER.....	26
6.1.1 2008 : <i>fève des marais – chou frisé</i>	26
6.1.2 2009 : <i>poireau</i>	29
6.1.3 2010 : <i>pois – haricot</i>	31
6.1.4 <i>Analyse des percolats</i>	31
6.1.5 <i>Graphique récapitulatif</i>	33
6.2 GROS THIER BOVENISTIER	35
6.2.1 2008 : <i>froment + moutarde</i>	35
6.2.2 2009 : <i>fève des marais – épinard</i>	36
6.2.3 2010 : <i>poireau</i>	39
6.2.4 <i>Analyse des percolats</i>	39
6.2.5 <i>Graphique récapitulatif</i>	41
6.3 GROSSE PIERRE PETIT PONT.....	43
6.3.1 2008 : <i>poireau</i>	43
6.3.2 2009 : <i>pois</i>	45
6.4 PL1	46
6.4.1 2008 : <i>froment</i>	46
6.4.2 2009 : <i>fève des marais – épinard</i>	47
6.4.3 2010 : <i>betterave</i>	50
6.4.4 <i>Analyse des percolats</i>	50
6.4.5 <i>Graphique récapitulatif</i>	52

6.5	PL3	54
6.5.1	2008 : betterave.....	54
6.5.2	2009 : froment + phacélie.....	56
6.5.3	2010 : fèves des marais	57
6.5.4	Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles	58
6.5.5	Graphique récapitulatif.....	60
6.6	SOLE 4.....	62
6.6.1	2008 : carotte	62
6.6.2	2009 : haricot.....	65
6.6.3	2010 : froment	67
6.6.4	Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles	68
6.6.5	Graphique récapitulatif.....	70
6.7	HAUTE BOVA	72
6.7.1	2010 : betterave.....	72
6.7.2	Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles	72
6.7.3	Graphique récapitulatif.....	73
6.8	LYSIMETRES DE GEMBLoux	75
6.8.1	Mesures sur les lysimètres en 2009.....	75
6.8.2	Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles	76
6.8.3	Graphique récapitulatif.....	80
7	BILAN FINANCIER.....	82
8	VULGARISATION DU RETOUR D'EXPERIENCE	85
8.1	PUBLICATION	85
8.2	PRESENTATION	85
8.3	SUR LE TERRAIN	86
9	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	88
10	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	92

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Profondeurs racinaires prises en compte pour le calcul du conseil de fumure	22
Tableau 2. Données météo mensuelles à la station de mesure de Geer	23
Tableau 3. Irrigations sur les parcelles suivies en 2009	25
Tableau 4. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fève des marais) - 2008.....	26
Tableau 5. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (fève des marais) - 2008	27
Tableau 6. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (chou frisé) - 2008	27
Tableau 7. Rendements et poids moyen par chou obtenus sur l'essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (chou frisé) - 2008	28
Tableau 8. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer (poireau)- 2009.....	29
Tableau 9. Rendements et poids moyen par poireau obtenus sur l'essai de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer - 2009.....	30
Tableau 10 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	32
Tableau 11. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur la parcelle Gros Thier Bovenistier (froment + Cipan) -2008.....	35
Tableau 12. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Gros Thier Bovenistier (fève des marais) - 2009.....	37
Tableau 13. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle Gros Thier Bovenistier (fève des marais) - 2009	37
Tableau 14. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Gros Thier Bovenistier (épinard) - 2009.....	37
Tableau 15. Rendements et rapports tige-feuille obtenus sur l'essai de la parcelle Gros Thier Bovenistier (épinard d'automne) - 2009	38
Tableau 16 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	40
Tableau 17. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur Grosse Pierre Petit Pont (poireau) - 2008.....	43
Tableau 18. Rendements et poids moyens obtenus sur la parcelle Grosse Pierre Petit Pont (poireau)	44
Tableau 19. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur PL1 (froment + CIPAN) - 2008	46
Tableau 20. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL1 (fève des marais) - 2009	47
Tableau 21. Rendements et tendérométries obtenus sur l'essai de la parcelle PL1 (fève des marais) - 2009.....	48
Tableau 22. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle PL1 (épinard d'automne) - 2009	48
Tableau 23. Rendements et rapports tige-feuille obtenus sur l'essai de la parcelle PL1 (épinard d'automne) - 2009	49
Tableau 24 : Parcelle PL1, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	51
Tableau 25. Reliquats azotés (kg N-NO ₃ ⁻ /ha) sur le parcellaire expérimental de PL3 (betterave) -2008.....	55

Tableau 26. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle PL3 (excepté l'essai (betterave)-2008.....	55
Tableau 27. Rendement total et rendement sucre obtenus sur PL3 - betterave.....	56
Tableau 28. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle PL3 (froment + CIPAN) – 2009.....	57
Tableau 29. Parcelle PL3, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	59
Tableau 30. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 – 2008	62
Tableau 31. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf essai) – 2008 ..	63
Tableau 32. Rendements et poids moyen par carotte obtenus sur la parcelle Sole 4 en 2008.....	64
Tableau 33. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4 – 2009	65
Tableau 34. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf l'essai) – 2009	65
Tableau 35. Rendements en haricot et rapport grain/gousse obtenus sur la parcelle Sole 4 en 2009	66
Tableau 36 : Parcelle sole 4, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	69
Tableau 37. Parcelle Haute Bova, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	72
Tableau 38. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur les deux lysimètres de Gembloux	75
Tableau 39. Rendements en betterave obtenus sur les lysimètres de Gembloux en 2009	75
Tableau 40 : Lysimètre 1, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	76
Tableau 41. Lysimètre 2, Gembloux, observations mensuelles des volumes et concentrations en nitrate	78
Tableau 42. Résultats des essais 2008 en termes de rendement et de bilan financier (€/ha)	83
Tableau 43. Résultats des essais 2009 en termes de rendement et de bilan financier (€/ha)	83
Tableau 44. Synthèse des propositions de modifications de pratiques.....	90

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.....	17
Figure 3. Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de mesure de Geer en 2008 et 2009	24
Figure 4. Pluviométrie, évapotranspiration potentielle et déficit hydrique (mm/mois) de 2008 à 2010 à Geer	24
Figure 5. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer.....	26
Figure 6. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer par rapport à l'APL de référence légumes 2008.....	28
Figure 7. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer par rapport à l'APL de référence légumes 2009.....	30
Figure 8. Synthèse des mesures et observations, parcelle Grosse Pierre Chemin de fer.	34

Figure 9. Résultats APL de la parcelle Gros Thier Bovenistier par rapport à l'APL de référence (céréales avec CIPAN) 2008	36
Figure 10. Plan d'expérimentation sur la parcelle Gros Thier Bovenistier.....	36
Figure 11. Reliquats azotés post-récolte de la parcelle Gros Thier Bovenistier et APL de référence (légumes) 2009	38
Figure 12. Synthèse des mesures et observations, parcelle Gros Thier Bovenistier	42
Figure 13. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont.....	43
Figure 14. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont par rapport à l'APL de référence (légumes) 2008	44
Figure 15. Résultats APL de la parcelle PL1 par rapport à l'APL de référence (froment avec CIPAN) 2008	46
Figure 16. Plan d'expérimentation de la parcelle PL1	47
Figure 17. Reliquats azotés post-récolte de la parcelle PL1 et APL de référence (légumes) 2009	49
Figure 18. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1.....	53
Figure 19. Plan d'expérimentation de la parcelle PL3	54
Figure 20. Résultats APL de la parcelle PL3 par rapport à l'APL de référence 2008	56
Figure 21. Résultats APL de la parcelle PL3 par rapport à l'APL de référence (céréales avec CIPAN) 2009	57
Figure 22. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3.....	61
Figure 23. Plan d'expérimentation de la parcelle Sole 4	62
Figure 24. Résultats APL de la parcelle Sole 4 par rapport à l'APL de référence (légumes) 2008	64
Figure 25. Reliquats azotés post-récolte de la parcelle Sole 4 et APL de référence (légumes) 2009	66
Figure 26. Synthèse des mesures et observations, parcelle sole 4	71
Figure 27. Synthèse des mesures et observations, parcelle Haute Bova.....	74
Figure 28. Synthèse des mesures et observations, lysimètres de Gembloux	81

1 Introduction

Ce rapport finalise (période du 1^{er} janvier 2008 au 30 juin 2010) 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 (Unité de Science du Sol – 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 initiale de 2 ans (1^{er} janvier 2008 – 31 décembre 2009), prolongée de 6 mois par un avenant du 1^{er} mars 2010.

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 Nitrates 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. Dans les zones vulnérables situées en Région wallonne, près de 20% des prises d'eau souterraine échantillonnées entre 2004 et 2007 dépassaient la norme maximale de 50 milligrammes de nitrate par litre d'eau définie comme limite de potabilité par l'OMS (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007). 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 lixiviation 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 dans des rotations contenant une part importante de légumes (y compris légumineuses). 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 sont 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.

Concrètement, le projet est articulé autour de 3 axes.

1. Axe « expérimentation » : l'objectif des activités d'expérimentation consiste en la mise au point de successions culturales, incluant en moyenne au minimum une culture légumière sur 2 ans, qui permettent d'obtenir une teneur en nitrate dans les eaux souterraines la plus basse possible. Chacune des 6 parcelles où a été installé un lysimètre a fait l'objet d'au moins un essai. Ces essais se sont déroulés 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 relations 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 est d'évaluer de manière chiffrée les impacts technico-économiques des modifications apportées aux pratiques culturales de l'agriculteur. Le bénéfice environnemental des différents scénarios testés a 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 reprennent 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 : « Utilisation du traceur isotopique ^{15}N pour affiner les bilans azotés réalisés dans le cadre de la subvention suivi lysimétrique » (Réf 2798/1) (période du 1er janvier 2006 au 30 juin 2008)

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

Au 1er janvier 2006 a démarré une recherche annexe menée par le CRA-W, département Production Végétale, pour 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 ^{15}N dans le but de préciser :

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

Trois types d'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 Gembloux Agro-Bio Tech.
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 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 tout malentendu 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 Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Petit Pont (maintenant remplacée par Haute Bova – voir § 3.2), PL1, PL3 et Sole 4 (Figure 1 et Figure 2).

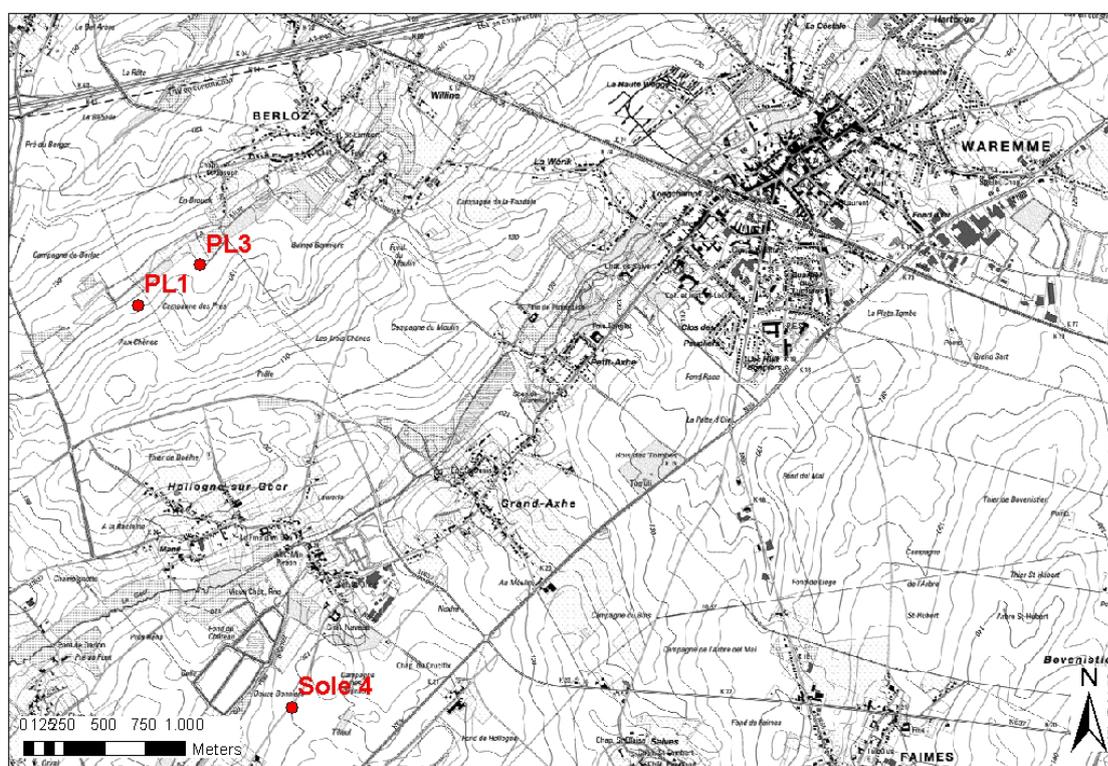


Figure 1. Carte de localisation des lysimètres PL1, PL3 et Sole 4

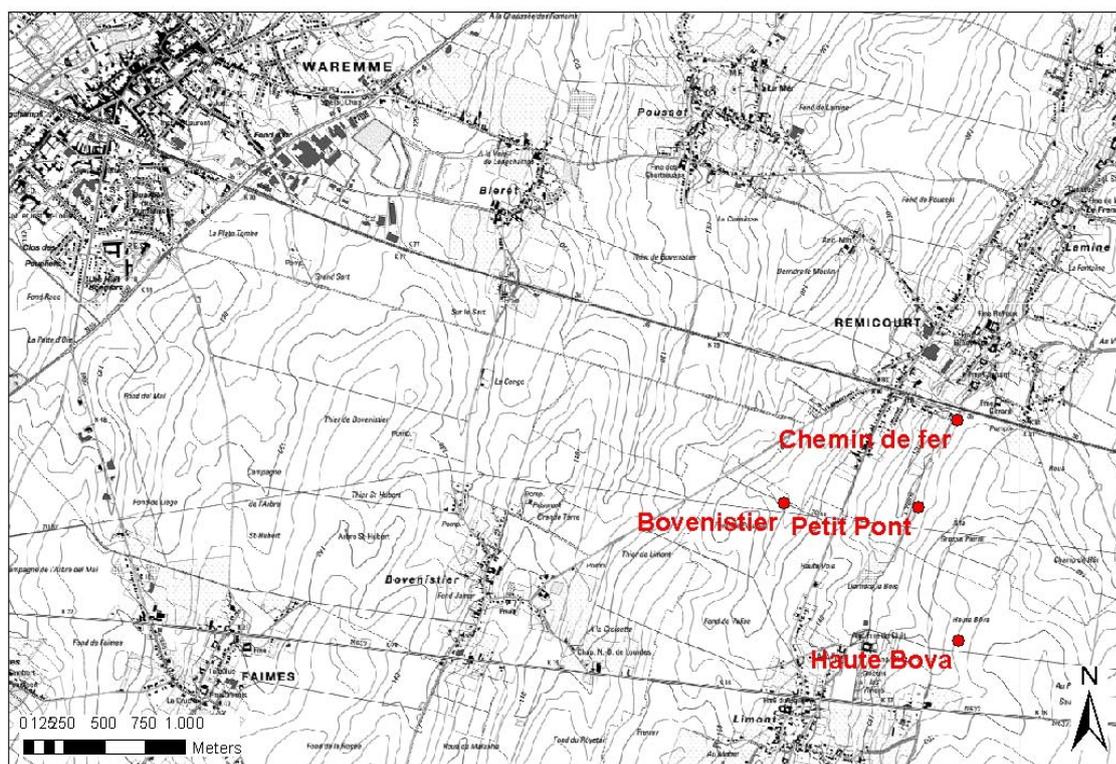


Figure 2. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Grosse Pierre Petit Pont et Haute Bova

3.2 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 carotte 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 (Figure 2).

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 visite ;
- "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 2009, 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



3.3 Méthodologie des prélèvements et analyses des échantillons d'eau

3.3.1 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 ;
- 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 « Nitracheck », mesure la teneur en nitrate par méthode colorimétrique.

pHmètre et conductimètre

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

L'appareil résiste à des températures comprises entre -10°C et 110°C . La plage de mesure du pH est de 2.0 à 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 Méthodologie appliquée aux 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. Actuellement (juin 2010), cinq dispositifs expérimentaux sont mis en place dans les parcelles suivies. 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 'fumure conseil' basé sur un conseil de fumure établi sur base d'une mesure du reliquat azoté au semis et un niveau de fumure qualifié de 'fumure conseil réduite' 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 Méthodologie pour le calcul de la fumure azotée sur les essais

Le calcul de la fumure azotée est basé sur la différence entre les besoins de la culture et les fournitures du sol.

Conseil = Besoins – Fournitures

Besoins: les besoins sont établis sur base des exportations par la culture mais également sur base des analyses de plante complète (partie exportée et partie restant au champ). Les besoins d'une culture peuvent également varier en fonction des objectifs poursuivis (rendement, qualité, nombre de coupe, stade de la récolte).

Fournitures: les fournitures sont liées essentiellement à la minéralisation de l'humus et de la matière organique composée des apports et des résidus de culture. Pour le calcul de la fumure, le bilan englobe également les reliquats azotés disponibles pour la culture c'est-à-dire la différence entre les reliquats mesurés avant culture sur la profondeur racinaire et les reliquats théoriques résiduels après récolte (souvent estimés à 10 kg d'azote par ha sur un horizon de 30 cm).

Les valeurs des éléments du bilan sont reprises dans le classeur eau-nitrate publié par Nitrawal (Nitrawal, 2007).

Pour les cultures légumières, la période de calcul du bilan est parfois très courte. C'est pourquoi, la minéralisation de la matière organique est intégrée à la minéralisation de l'humus pour la prise en compte de la minéralisation globale entre l'ouverture et la fermeture du bilan. La minéralisation totale annuelle intègre donc la minéralisation annuelle de l'humus et de la matière organique. Cette minéralisation annuelle de la matière organique prend en compte les apports organiques de l'interculture, la fréquence de ces apports, le précédent cultural et la

culture intercalaire. La minéralisation disponible reprise sur les bulletins est la part de la minéralisation totale annuelle calculée sur la période qui s'étend de la date de prélèvement du sol jusqu'à la date prévisionnelle de récolte.

Cette méthode de calcul de fumure utilisée pour les cultures légumières a également été utilisée pour le calcul de fumure de la betterave sucrière sur la partie expérimentale de cette convention.

Tous les conseils de fumure établis pour l'expérimentation sont repris en annexe. Les bulletins ne reprennent pas la profondeur racinaire de la culture pour la prise en compte des reliquats azotés. Ces profondeurs racinaires par culture sont reprises dans le Tableau 1.

Tableau 1. Profondeurs racinaires prises en compte pour le calcul du conseil de fumure

Culture	Profondeur racinaire
Betterave	90 cm
Carotte	60 cm
Chou frisé	60 cm
Epinard	40 cm
Fève des marais	60 cm
Haricot	40 cm
Poireau	60 cm

4 Contexte climatique

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 2. Le diagramme ombrothermique construit à partir de ces valeurs est présenté dans la Figure 3.

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.

Le mois d'avril 2010 est particulièrement doux et sec, permettant l'entrée dans une phase de déficit hydrique.

Tableau 2. 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
déc-09	-11,5	11,6	2,3	42
janv-10	-11,1	7	-0,9	14
févr-10	-5,9	12,7	2,2	39
mars-10	-5,5	19,3	5,7	30
avr-10	-2,1	25,8	9	13

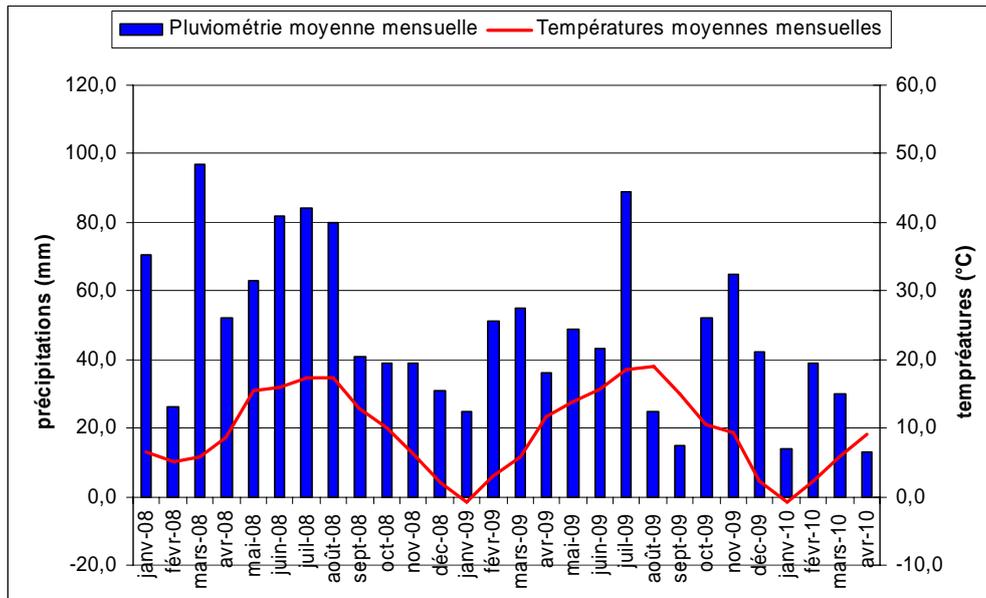


Figure 3. Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de mesure de Geer en 2008 et 2009

L'évapotranspiration potentielle et le déficit hydrique ($P - ETP$) ont été calculés à partir des données de la station de mesure de Geer (Figure 4). 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 d'août et de septembre. Il faut attendre le mois d'avril 2010 pour entrer à nouveau dans une phase de déficit hydrique.

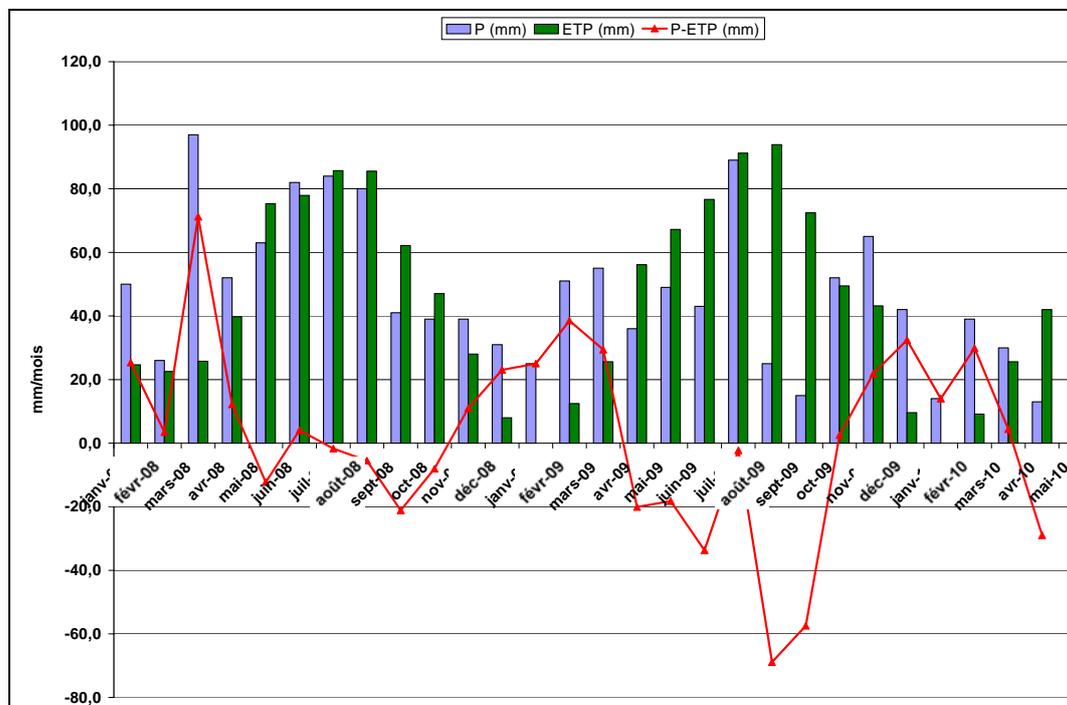


Figure 4. Pluviométrie, évapotranspiration potentielle et déficit hydrique (mm/mois) de 2008 à 2010 à Geer

5 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 3). 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 3. 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

6 Expérimentations et résultats

6.1 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 est implantée en 2010, suivie de haricot.

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.

La saison de drainage 2009-2010 a débuté en février 2010 et était toujours en cours au mois de mai 2010.

6.1.1 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. Les sous-parcelles sont de dimension 6x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 0,5m (Figure 5).

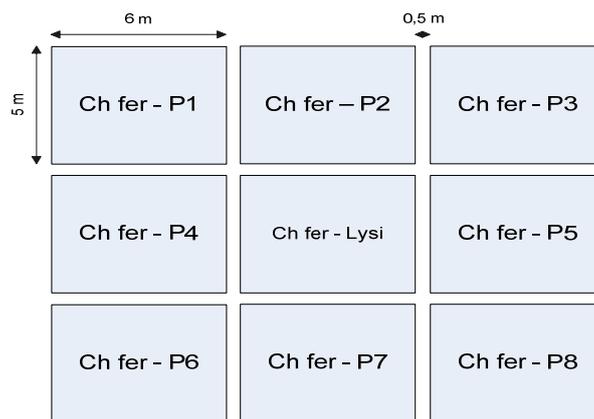


Figure 5. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer

Les profils azotés en vue du conseil de fumure ont été établis le 7 mai (Tableau 4).

Tableau 4. 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

Les profils réalisés en mai 2008 avant le semis des fèves des marais indiquent une concentration élevée en azote nitrique dans le sol. Suite à ces profils, un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 5) 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 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 (Tableau 4). L'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative de reliquat azoté post-récolte entre les deux objets testés (fumure conseil réduite et fumure conseil).

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.

Pour chaque sous-parcelle, le rendement et la tendérométrie ont été quantifiés individuellement. Les observations sont reprises de manière synthétique dans le Tableau 5.

Tableau 5. 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

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).

Les choux frisés ont été repiqués le 1^{er} août. Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 4 septembre (Tableau 6), 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.

Tableau 6. 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

Suite à ce profil, 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 (Tableau 6). 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. 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).

Les APL obtenus sur cette parcelle sont comparés à l'APL de référence de 2008 en légumes (Figure 6). Les APL mesurés sur les essais de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer sont qualifiés de bons en décembre. Les APL mesurés sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) en octobre et en décembre sont qualifiés de satisfaisants.

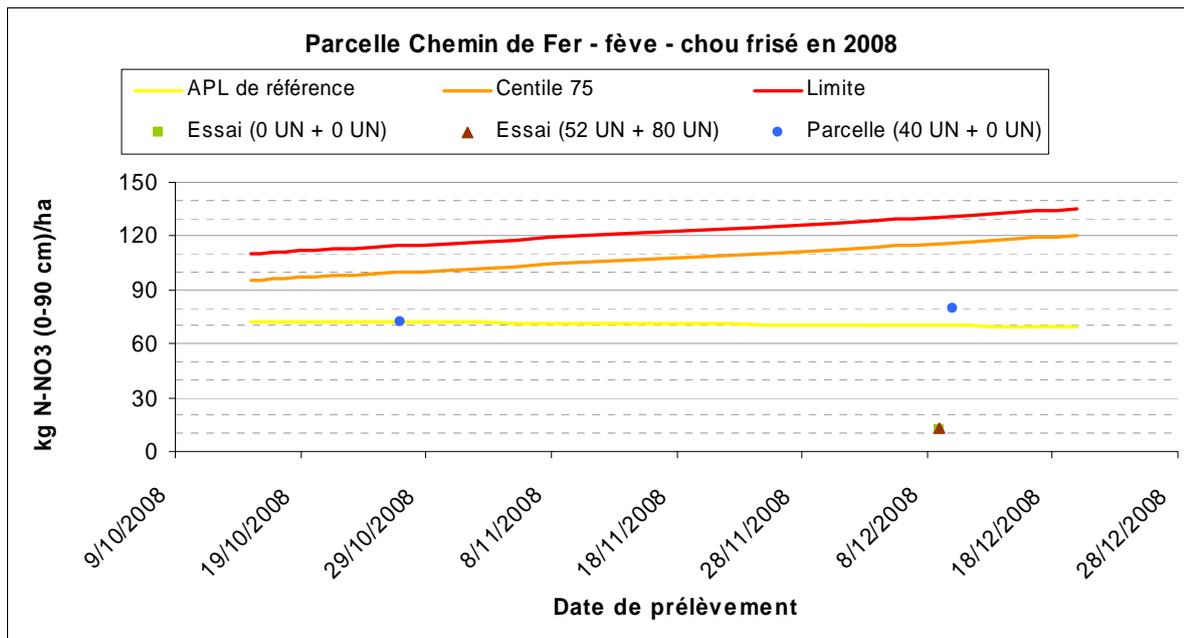


Figure 6. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer par rapport à l'APL de référence légumes 2008

Les rendements obtenus sur les sous-parcelles de l'essai mené sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer en 2008 sont repris dans le Tableau 7. Les différences de rendement observées entre les deux objets sont significatives.

Tableau 7. 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

Conclusion

- *Sur cette parcelle et dans les conditions (culturales, climatiques,...) de 2008, une fertilisation « 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 par rapport à l'objet « 0 N » ; 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 par rapport à l'objet « 0 N ».

- *On constate également que l'absence de fertilisation ne conduit pas à un APL plus faible que lors d'une fertilisation « optimum »*

6.1.2 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 (Tableau 8).

Tableau 8. 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

Une première fraction de 50 UN minéral a été appliquée le 29 mai sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 5) 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 (Tableau 8), 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 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.

Les poireaux ont été récoltés le 28 septembre. Le rendement et le poids moyen par poireau ont été quantifiés après récolte manuelle d'une partie (5,4 m²) de chaque sous-parcelle. Le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte a eu lieu le 18 novembre (Tableau 8). Ce prélèvement est réalisé mécaniquement lorsque la totalité de chaque sous-parcelle a été récoltée par l'agriculteur. Le parcellaire n'a été libéré complètement qu'à la mi-novembre. C'est la raison pour laquelle la mesure du reliquat azoté post-récolte a été réalisée aussi tardivement.

Le profil établi le 18 novembre montre que la seconde fraction (appliquée début août) a été mieux valorisée par la culture de poireau que la première, 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).

Les APL obtenus sur cette parcelle sont comparés à l'APL de référence de 2009 en légumes (Figure 7). Les APL mesurés sur les essais de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer sont qualifiés de bons en novembre. Les APL mesurés sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental), où 100 UN avaient été appliquées en une seule fraction, sont satisfaisants en octobre et décembre.

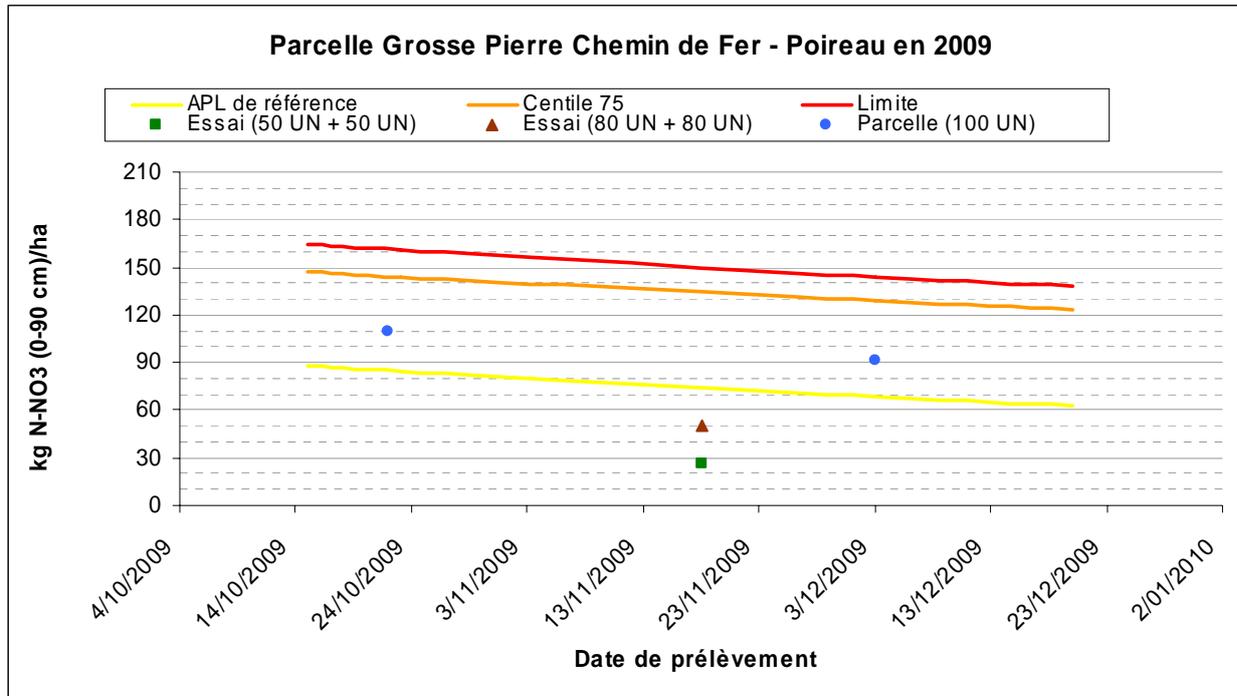


Figure 7. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer par rapport à l'APL de référence légumes 2009

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 9.

Tableau 9. 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.*

6.1.3 2010 : pois – haricot

Les pois ont été semés le 23 avril 2010. Cette année, l'essai sur le parcellaire expérimental concernera l'implantation d'une CIPAN après haricot.

6.1.4 Analyse des percolats

Les données de pluviométrie sont celles données par la station IRM de Waremme avant 2008 et par la station de Geer pour 2008, 2009 et 2010 (cf §4).

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 (Tableau 10). 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 a 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.

Durant la saison de drainage 2009 – 2010, la percolation a repris au milieu du mois de février 2010 et était toujours en cours dans le courant du mois de mai 2010, permettant de récolter 16% de la pluviométrie totale. Les concentrations en nitrate dans l'eau de percolation restent élevées (160 mg NO₃⁻/l en moyenne) mais sont cependant en diminution par rapport aux valeurs observées sur ce lysimètre en 2008 et 2009. L'impact de l'accident de fertilisation survenu sur cette parcelle en automne 2006 est donc toujours visible sur la qualité l'eau de percolation plus de 3 ans après cet accident mais est en voie de résorption.

Tableau 10 : Parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer, 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	-	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
Août 2009	25	40	0	-	-
Septembre	15	60	0	-	-
Octobre	52	-	0	-	-
Novembre	65	-	0	-	-
Décembre	42	-	0	-	-
Janvier 2010	14	-	0	-	-
Février	39	-	19	169	7
Mars	30	-	31,3	161	11
Avril	13	-	12,7	142	4
DRAINAGE 2009-2010	295	100	63	160	23

6.1.5 Graphique récapitulatif

La Figure 8 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer. Cette figure reprend pour les mois de septembre 2006 à mai 2010 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.

La Figure 8 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 à 2010. En effet, 640 UN organique avaient été apportées à cette époque sous forme de compost qui s'était révélé à posteriori beaucoup 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.

Au cours de la saison de drainage 2009 – 2010, les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation sont en diminution mais restent élevées (~ 150 mg NO₃⁻/l).

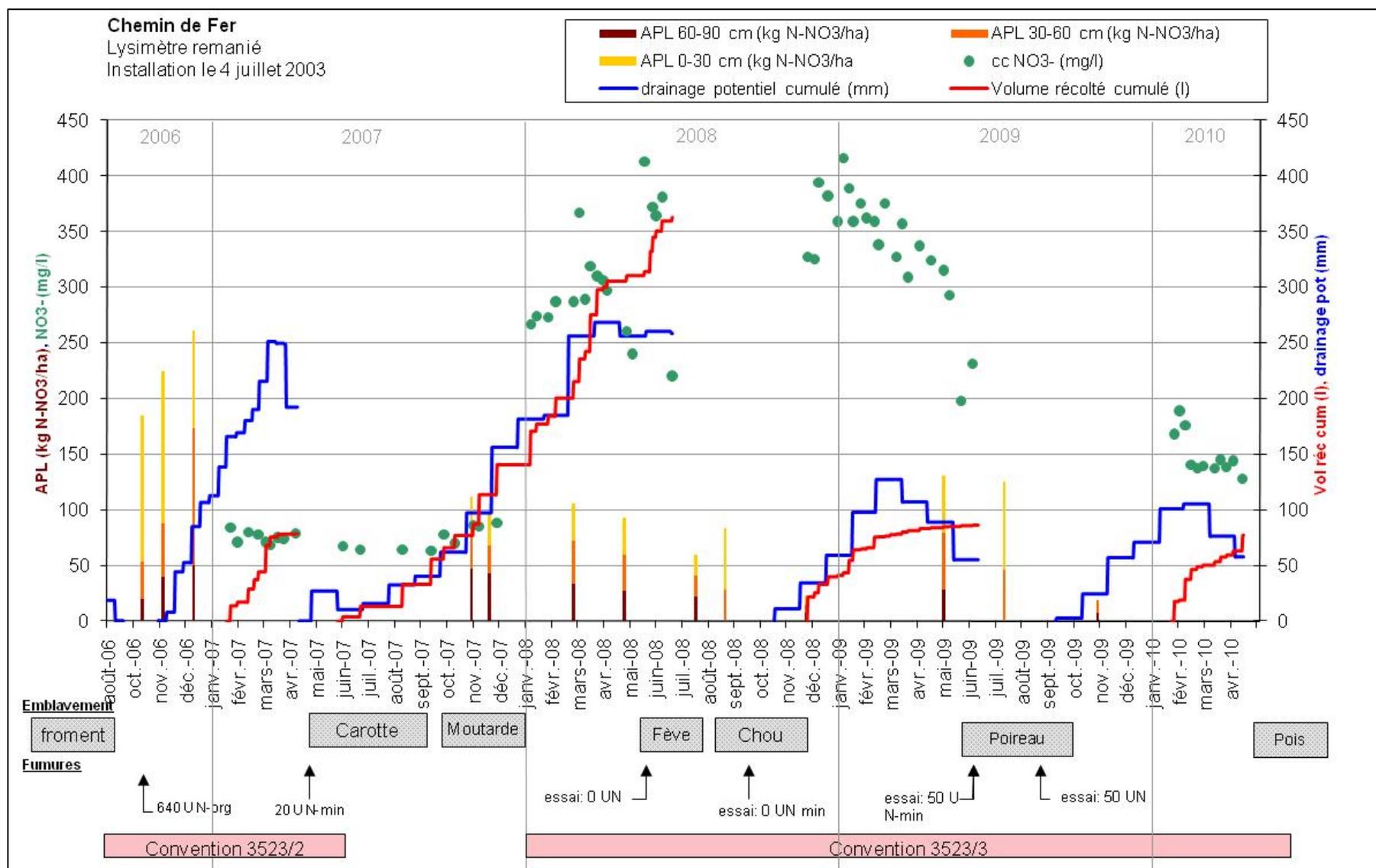


Figure 8. Synthèse des mesures et observations, parcelle Grosse Pierre Chemin de fer

6.2 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 implantée 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 drainage 2008-2009 a repris en août 2008 et a permis la récolte d'eau jusque mai 2009. La saison de drainage 2009 – 2010 s'est étalée de janvier 2010 jusque fin avril 2010.

6.2.1 2008 : froment + moutarde

Il n'y a pas eu d'essai de fertilisation sur cette parcelle en 2008.

Le profil azoté post-récolte du froment (sur l'ensemble de la parcelle) en 2008 montre un début de minéralisation de l'humus du sol (Tableau 11). L'APL d'octobre montre une migration vers la profondeur de l'azote nitrique. 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.

Tableau 11. 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 9). L'APL mesuré sur la parcelle Gros Thier Bovenistier est qualifié de limite en octobre et de bon en décembre.

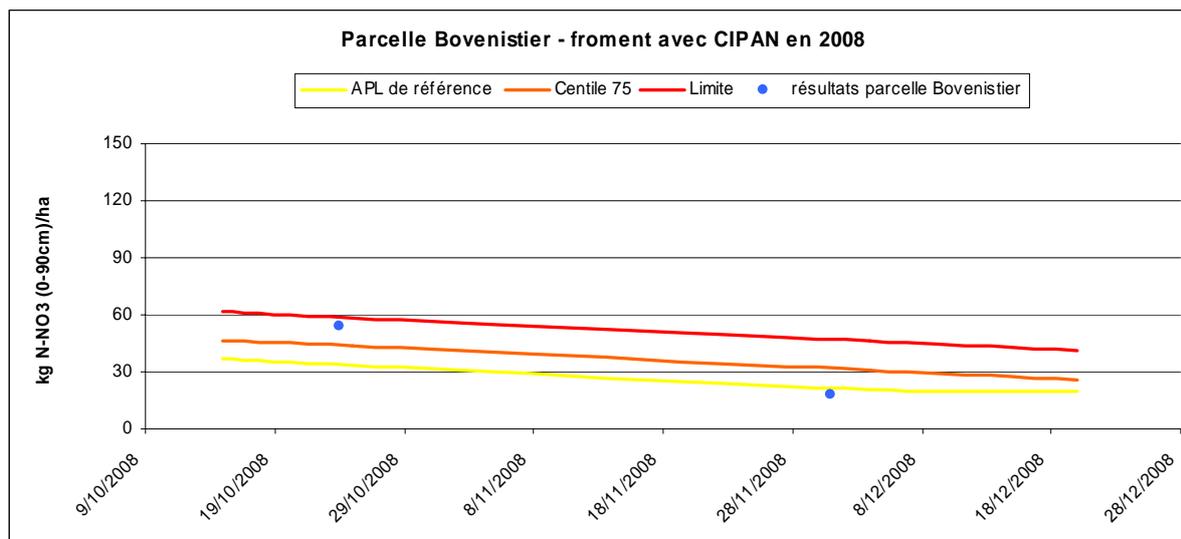


Figure 9. Résultats APL de la parcelle Gros Thier Bovenistier par rapport à l'APL de référence (céréales avec CIPAN) 2008

6.2.2 2009 : fève des marais – épinard

Le semis des fèves des marais a été effectué le 23 avril. Les sous-parcelles de l'essai sont de dimension 8x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 1m. (Figure 10).

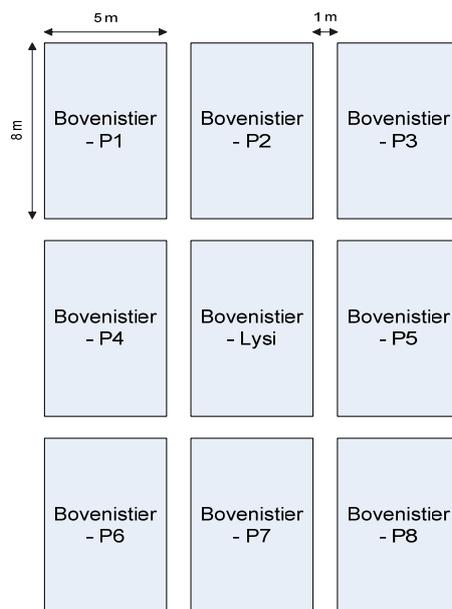


Figure 10. Plan d'expérimentation sur la parcelle Gros Thier Bovenistier

Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 30 avril (Tableau 12).

Tableau 12. 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

Suite à ce profil, un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (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 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 (Tableau 12). 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).

Pour chaque sous-parcelle, le rendement et la tendérométrie ont été quantifiés individuellement (Tableau 13). 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.

Tableau 13. 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

Les épinards ont été semés le 22 juillet, soit une semaine plus tôt que prévu. Le parcellaire n'ayant pas été délimité à temps, l'agriculteur a appliqué le 22 juillet 100 UN minéral sur sa parcelle y compris le parcellaire expérimental.

Suite à un profil azoté établi le 18 août (Tableau 14), 33 UN minéral ont été appliquées en seconde fraction sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 21 août.

Tableau 14. 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 appliquées sur 5 sous-parcelles	100 UN 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

Les épinards ont été récoltés le 17 septembre et un profil azoté a été établi le 18 septembre pour évaluer le reliquat azoté post-récolte après l'épinard (Tableau 14).

On remarque que la seconde fraction de 33 UN 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 anticipativement, suite à l'apparition des premiers signes de jaunissement du feuillage provoqué par les fortes chaleurs de la fin-août.

Les reliquats azotés post-récolte sur cette parcelle ne peuvent pas être comparés à l'APL de référence en légumes étant donné la date de prélèvement de l'échantillon de sol (18 septembre 2009) avant le 15 octobre (Figure 11). Les APL mesurés sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) en octobre et décembre sont non-conformes. La récolte précoce des épinards, qui a engendré une minéralisation importante des résidus, peut apporter une partie d'explication à ce résultat.

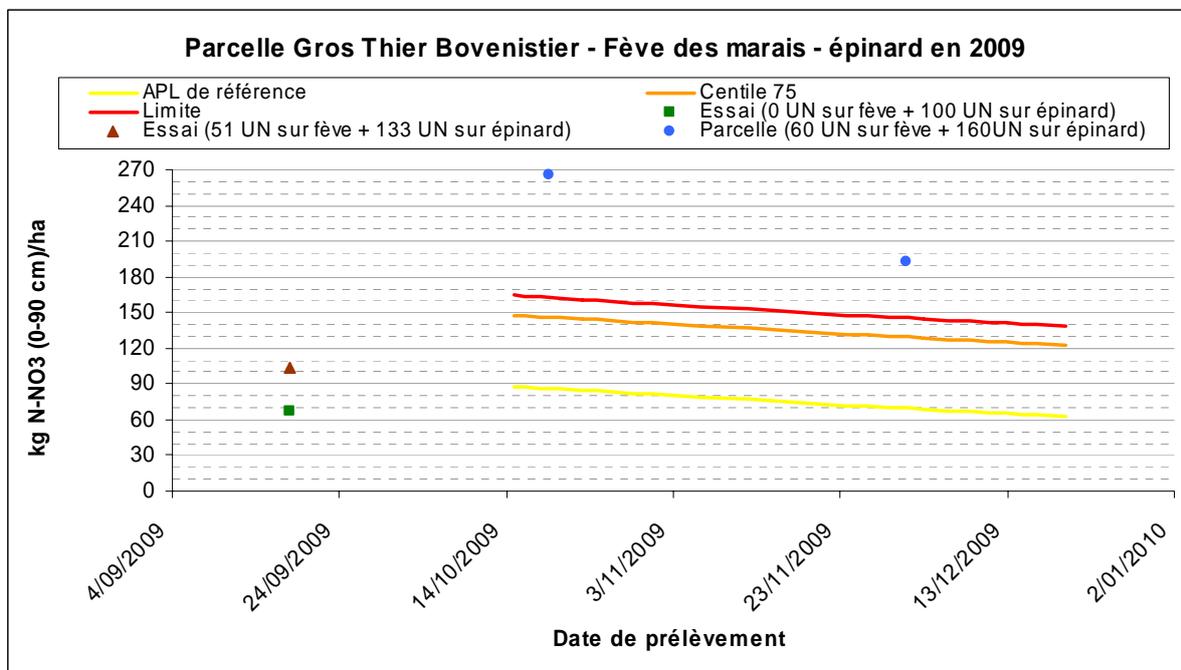


Figure 11. Reliquats azotés post-récolte de la parcelle Gros Thier Bovenistier et APL de référence (légumes) 2009

Pour chaque sous-parcelle, le rendement en épinard et le rapport tige/feuille ont été quantifiés individuellement et sont repris dans le Tableau 15.

Tableau 15. 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

La récolte de l'épinard d'automne a dû être anticipée suite à l'apparition des premiers signes de jaunissement du feuillage provoqué par les fortes chaleurs de la fin-août. Les rendements obtenus sont donc faibles car l'épinard n'a pu exprimer pleinement son 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 (culturales, climatiques,...) de 2009, une fertilisation « 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 par rapport à l'objet « 0 N » ; 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 tôt, avant d'avoir exprimé leur potentiel de rendement, suite à l'apparition des premiers signes de jaunissement du feuillage provoqué par les fortes chaleurs de la fin-août.*

6.2.3 2010 : poireau

A ce jour, les poireaux n'ont pas encore été repiqués sur cette parcelle. Les deux niveaux de fertilisation à tester sur le parcellaire expérimental doivent encore être déterminés.

6.2.4 Analyse des percolats

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 récoltée 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).

La saison de drainage 2009 – 2010 a repris en janvier 2010 et s'est étalée jusque fin avril, permettant de récolter 20% de la pluviométrie totale à l'exutoire du lysimètre. Les teneurs en nitrate mesurées dans l'eau de percolation se situent sous 50 mg NO₃⁻/l et la quantité d'azote nitrique percolé sous la zone racinaire est faible (6 kg N-NO₃⁻/ha).

Tableau 16 : Parcelle Gros Thier Bovenistier, 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	-	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
Août 2009	25	32	0	-	-
Septembre	15	20	0,5	31	0
Octobre	52	-	0,25	44	0
Novembre	65	-	0	-	-
Décembre	42	-	0	-	-
Janvier 2010	14	-	24,4	44	2
Février	39	-	18,8	29	1
Mars	30	-	23,8	37	2
Avril	13	-	2,3	34	0
DRAINAGE 2009-2010	295	52	70	37	6

6.2.5 Graphique récapitulatif

La Figure 12 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.

Les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation récoltée en 2010 sont faibles (~ 40 mg NO₃⁻) et d'un ordre de grandeur un peu plus faible que l'APL mesuré en automne 2009 à l'aplomb du lysimètre (67 kg N-NO₃⁻/ha).

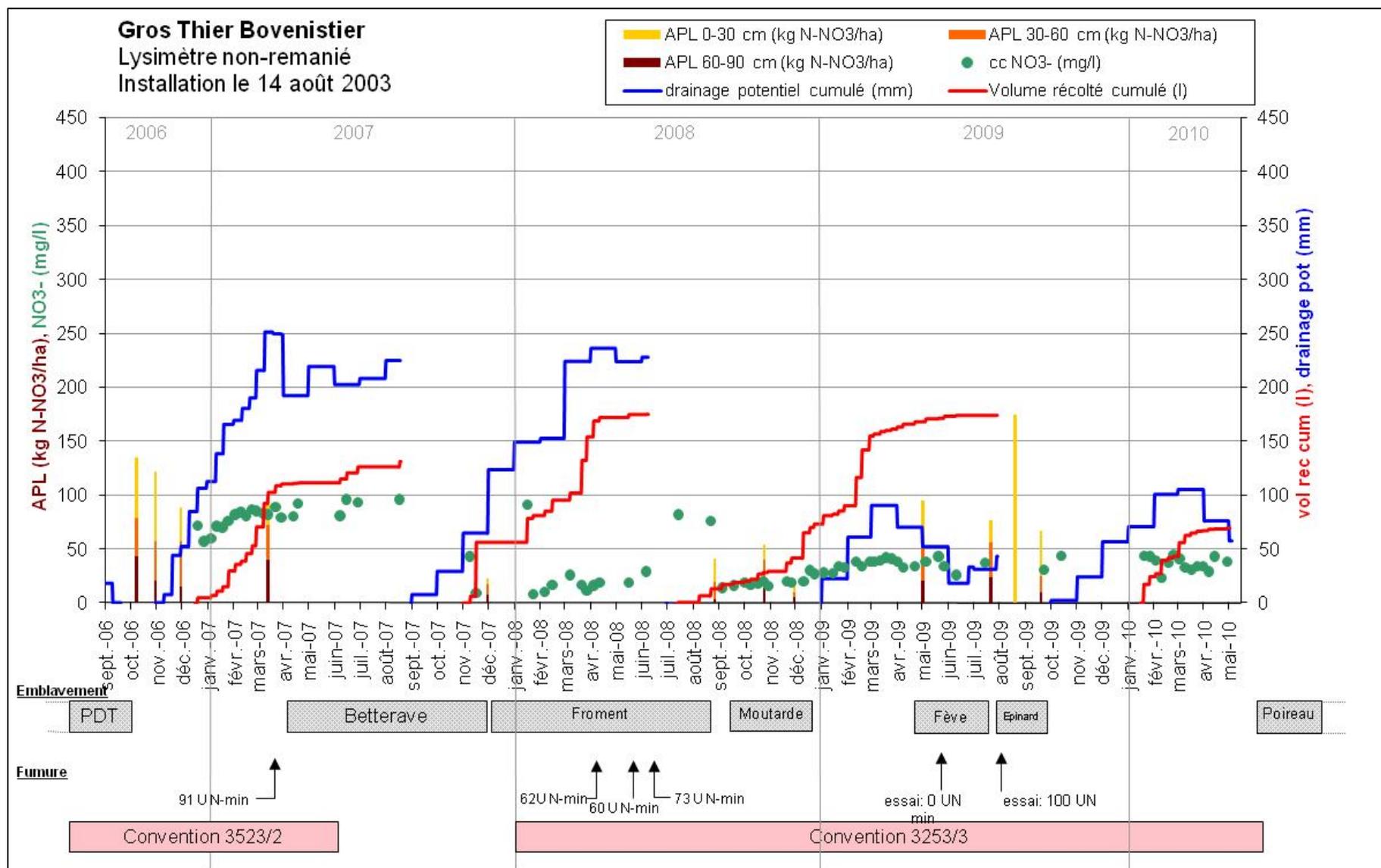


Figure 12. Synthèse des mesures et observations, parcelle Gros Thier Bovenistier

6.3 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 § 3.2).

6.3.1 2008 : poireau

Le repiquage des poireaux a été effectué le 20 juin. L'essai a été piqueté le 27 juin (Figure 13). Les sous-parcelles sont de dimension 6x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 0,5m.

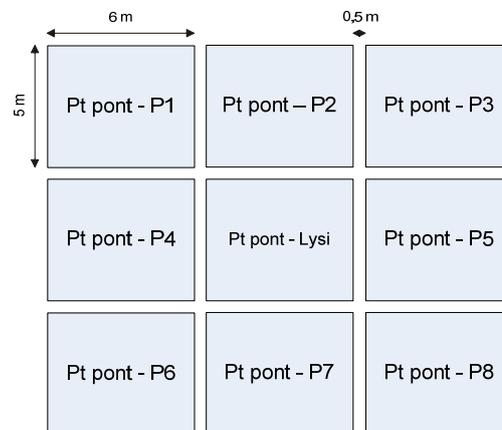


Figure 13. Plan d'expérimentation de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont

Le reliquat azoté mesuré le 6 août (Tableau 17) sur les sous-parcelles de l'essai est fort chargé car 100 UN minéral avaient été appliquées par erreur, par l'agriculteur, sur l'ensemble des sous-parcelles de l'essai.

Tableau 17. 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
	parcellaire 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

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 le 4 novembre 2008 sur les sous-parcelles de l'essai ainsi que sur le reste de la parcelle de l'agriculteur (Tableau 17) montrent des quantités d'azote nitrique particulièrement importantes dans les horizons profonds (30-60 et 60-90 cm). L'APL mesuré sur la parcelle dans la couche 30-90 cm présente un surplus de 41 kg N-NO₃/ha par rapport à 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. 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 14).

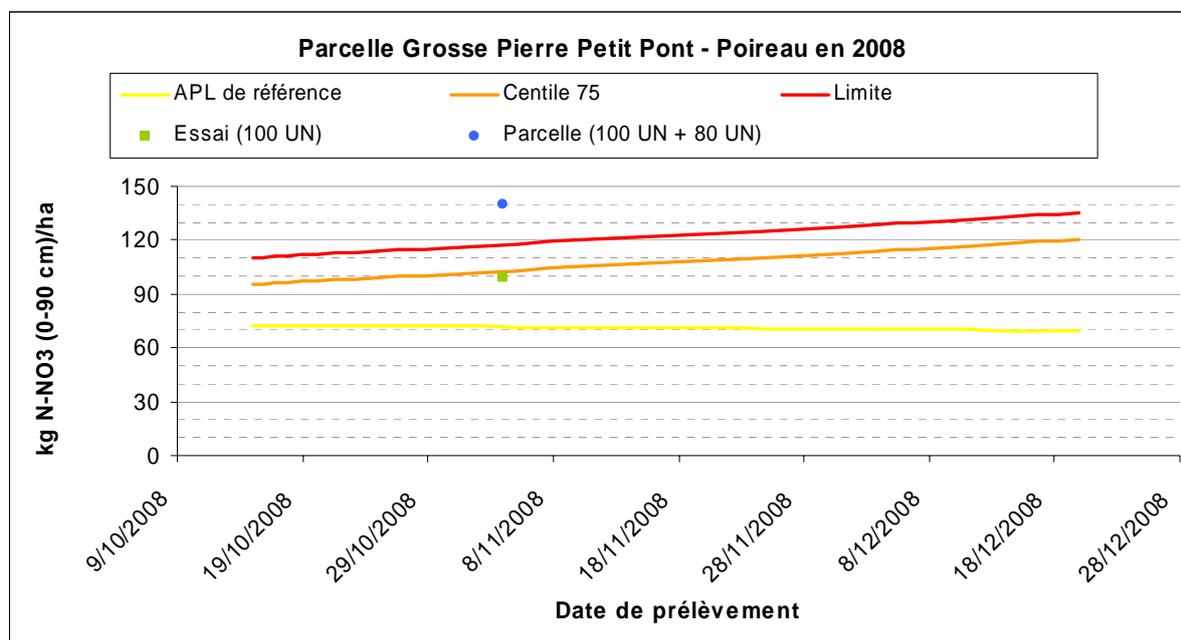


Figure 14. Résultats APL de la parcelle Grosse Pierre Petit Pont par rapport à l'APL de référence (légumes) 2008

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. Les résultats de ces mesures sont repris dans le Tableau 18.

Tableau 18. 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.*

6.3.2 2009 : pois

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

Etant donné que ce lysimètre ne fonctionne pas, aucune analyse des percolats n'a pu être réalisée et un graphique récapitulatif n'a aucun intérêt.

6.4 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. Une culture de betterave est implantée en 2010.

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.

6.4.1 2008 : froment

Il n'y a pas eu d'essai de fertilisation sur cette parcelle en 2008.

La culture de froment en 2008 a laissé un profil de sol pauvre en azote nitrique (Tableau 19) tant au moment de la récolte (11 août). 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 15).

Tableau 19. 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

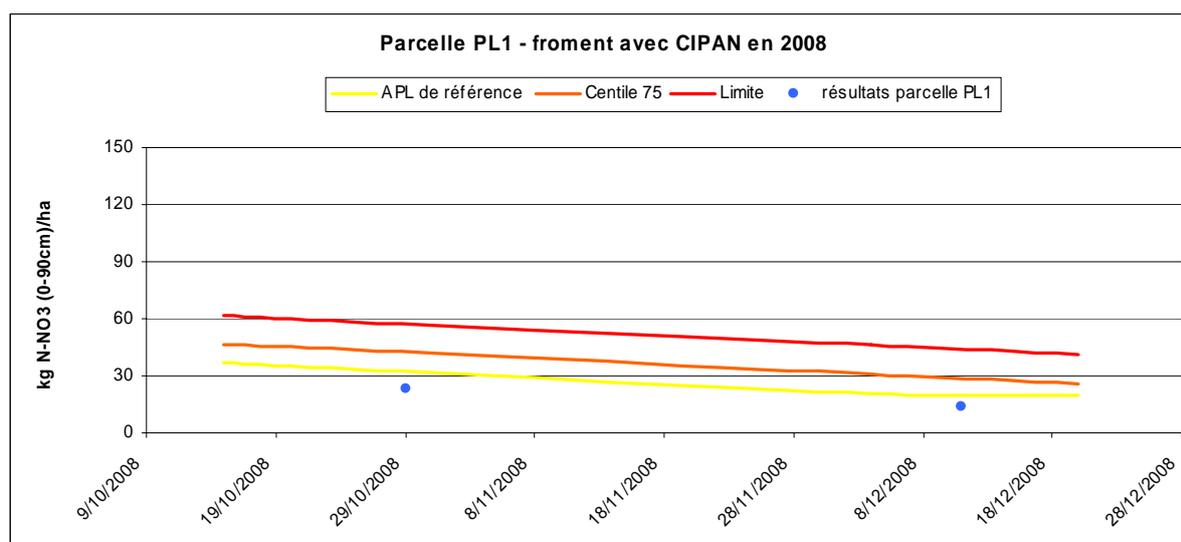


Figure 15. Résultats APL de la parcelle PL1 par rapport à l'APL de référence (froment avec CIPAN) 2008

6.4.2 2009 : fève des marais – épinard

Le semis des fèves des marais a été effectué le 25 avril. Les sous-parcelles de l'essai sont de dimension 8x5m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 1m (Figure 16).

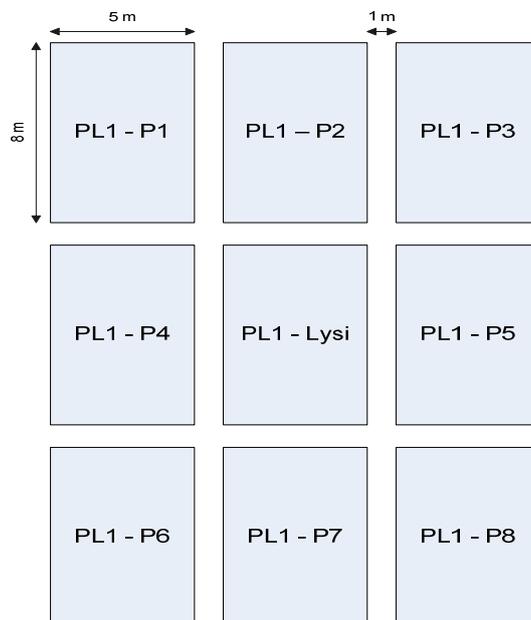


Figure 16. Plan d'expérimentation de la parcelle PL1

Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 6 mai (Tableau 20).

Tableau 20. 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

Suite à ce profil, un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 16) 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 fèves des marais ont été récoltées le 23 juillet.

Le reliquat azoté post-récolte mesuré après fève le 28 juillet (Tableau 20) est plus élevé dans les sous parcelles « 50 UN » que dans les sous parcelle « 0 N ». L'analyse statistique révèle cependant que ces différences ne sont pas significatives. L'évolution (mai à juillet) des profils montre un prélèvement d'azote par les fèves dans l'horizon de surface.

Pour chaque sous-parcelle, le rendement en fève des marais et la tendérométrie ont été quantifiés individuellement et sont repris dans le Tableau 21.

Tableau 21. 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

Les rendements obtenus sur cette parcelle 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.

Les épinards ont été semés le 28 juillet. 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 (Tableau 22).

Tableau 22. 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 stock d'azote nitrique présent dans les 40 premiers centimètres de sol et disponible pour les épinards le 18 août est important, 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 minéral ont été appliqués sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 16) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre le 21 août, 83 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.

On remarque (Tableau 22) 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.

Les reliquats azotés post-récolte mesurés dans le parcellaire expérimental ne peuvent pas être comparés à l'APL de référence en légumes étant donné la date de prélèvement de l'échantillon de sol (10 septembre 2009) avant le 15 octobre (Figure 17). Les APL mesurés sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) sont bons en octobre et satisfaisants en décembre.

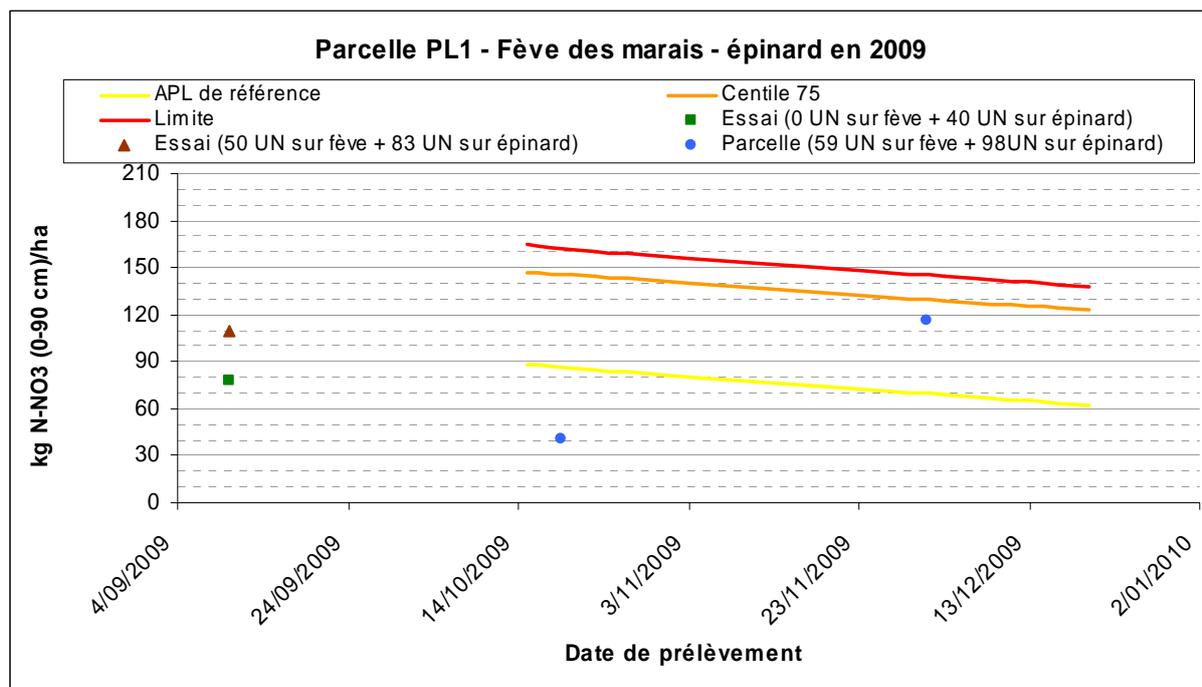


Figure 17. Reliquats azotés post-récolte de la parcelle PL1 et APL de référence (légumes) 2009

Pour chaque sous-parcelle, le rendement en épinard et le rapport tige/feuille ont été quantifiés individuellement et sont repris dans le Tableau 23.

Tableau 23. 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

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.*

6.4.3 2010 : betterave

Les betteraves ont été semées le 14 avril 2010. Deux niveaux de fertilisation seront testés sur cet essai : 0 UN et 61 UN.

6.4.4 Analyse des percolats

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 (Tableau 24). 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 mgNO₃⁻/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).

La vanne à l'exutoire du lysimètre est restée ouverte jusqu'en fin septembre 2009, permettant de récolter de l'eau présentant une bonne qualité (teneur en NO₃⁻ = 27 mg/l). Lors de la période de fermeture du lysimètre sur PL1, des échantillons d'eau ont malgré tout été récoltés après ouverture de la vanne pendant un court laps de temps (une à deux heures) ; ceci permet d'avoir une vue de la qualité de l'eau en phase de percolation et de l'eau de nappe (ou sa frange capillaire) captée par le lysimètre. Les teneurs en nitrate de l'eau récoltée lors de ces courtes ouvertures de la vanne lysimétrique en 2010 sont très faibles (moins de 10 mg NO₃⁻/l).

Tableau 24 : Parcelle PL1, 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	-	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
Août 2009	25	34	0	-	-
Septembre	15	75	8,9	27	0,5
Octobre	52	-	fermé	-	-
Novembre	65	-	fermé	(3)	-
Décembre	42	-	fermé	-	-
Janvier 2010	14	-	fermé	-	-
Février	39	-	fermé	-	-
Mars	30	-	fermé	(8)	-
Avril	13	-	fermé	(3)	-
DRAINAGE 2009-2010	295	109	8,9	27	0,5

6.4.5 Graphique récapitulatif

La Figure 18 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 jusqu'en 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.

Les teneurs en nitrate de l'eau récoltée lors des courtes périodes (une à deux heures) d'ouverture de la vanne à l'exutoire du lysimètre sont très faibles (moins de 10 mg NO₃⁻/l) et d'un ordre de grandeur inférieur à l'APL mesuré à l'automne 2009 à l'aplomb du lysimètre après l'épinard d'automne (78 kg N-NO₃⁻/ha).

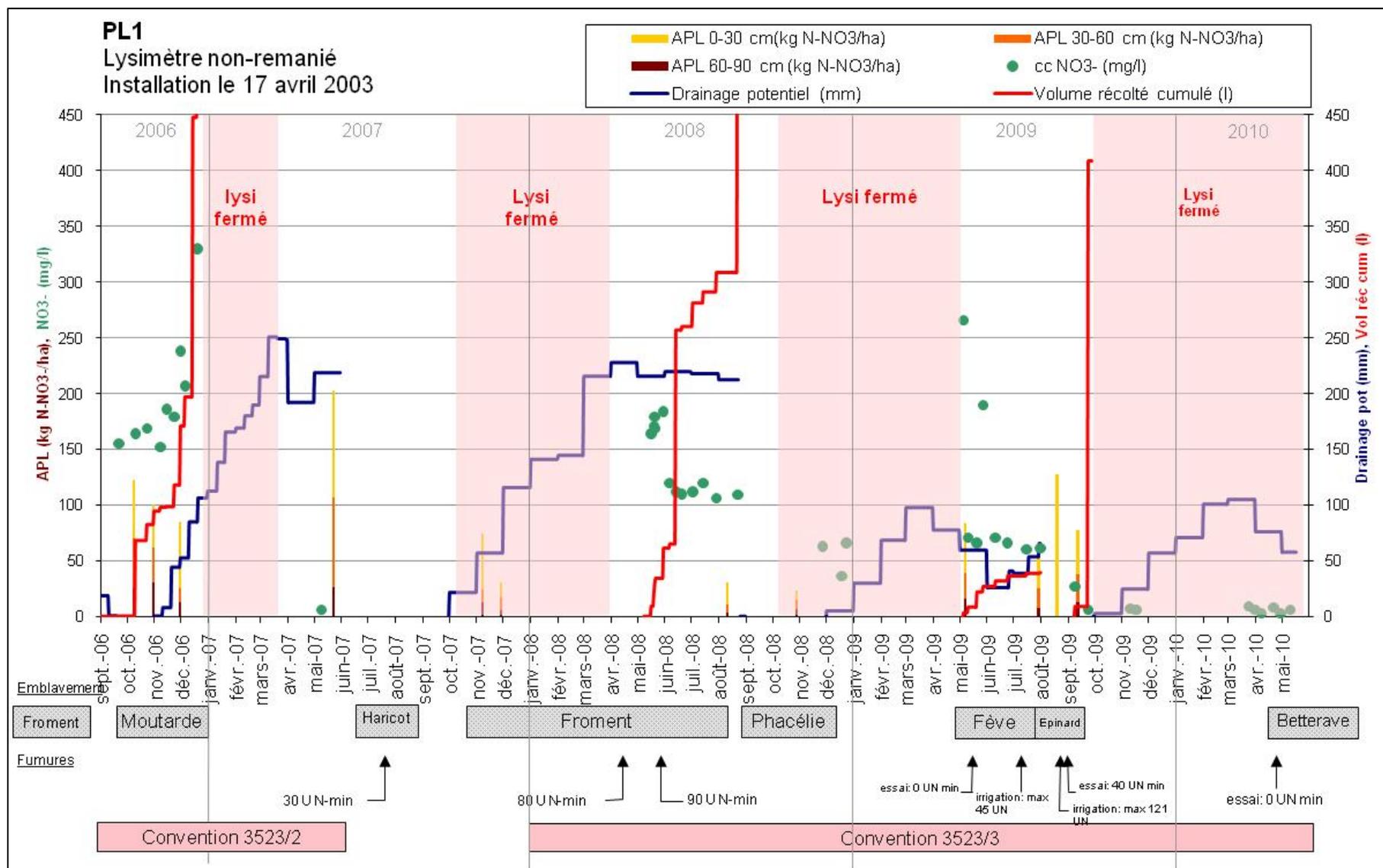


Figure 18. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL1

6.5 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 implantée 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.

6.5.1 2008 : betterave

Le semis des betteraves a été effectué le 23 avril. L'essai a été piqueté le 5 mai (Figure 19). Les sous-parcelles sont de dimension 5x8m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 1m.

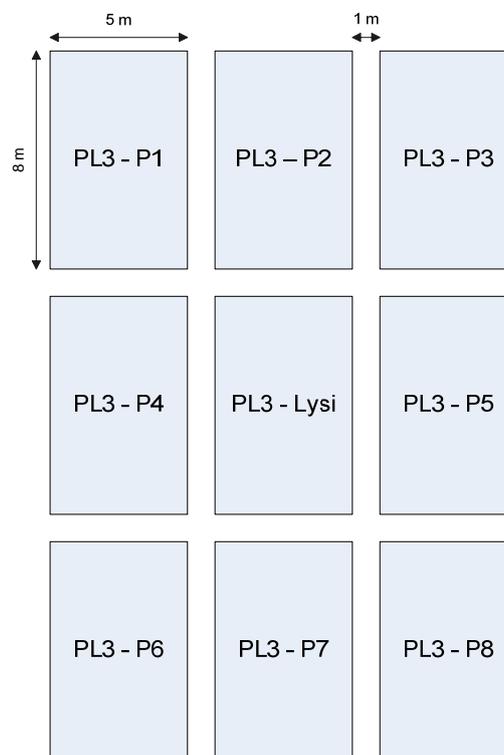


Figure 19. Plan d'expérimentation de la parcelle PL3

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 25 et Tableau 26).

Tableau 25. 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 26. 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 (Tableau 25) sur les sous-parcelles de l'essai sont assez élevés, 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.

Suite à ces profils, un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 19) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 72 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 9 mai. Pour rappel, l'agriculteur a appliqué 120 UN sur l'ensemble de sa parcelle, à l'exception de l'essai.

Les betteraves ont été récoltées le 22 septembre.

Les profils du 9 octobre (Tableau 25) 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 son 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 (Tableau 26) dans la parcelle, à l'extérieur de l'expérimentation, 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.

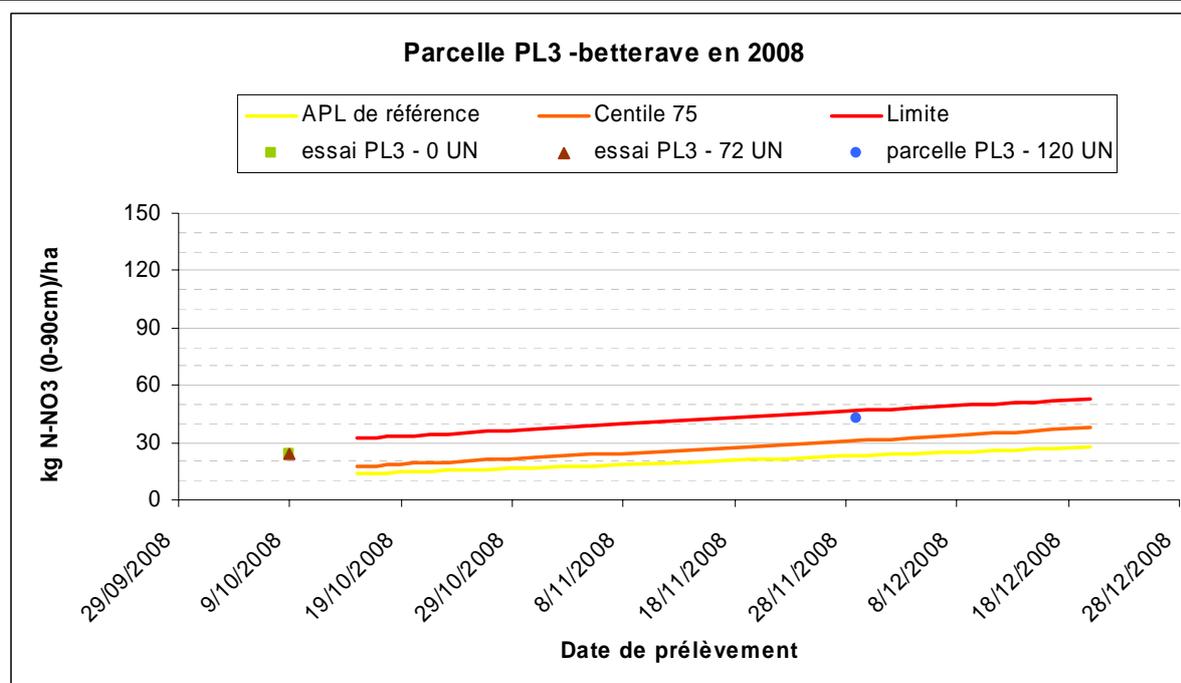


Figure 20. Résultats APL de la parcelle PL3 par rapport à l'APL de référence 2008

Les rendements « matière fraîche » 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 27.

Tableau 27. Rendement total et rendement sucre obtenus sur PL3 - betterave

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

L'absence de fertilisation azotée minérale n'induit pas de baisse de rendement ; 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.*

6.5.2 2009 : froment + phacélie

Il n'y a pas eu d'essai de fertilisation sur cette parcelle en 2009.

L'évolution de l'APL entre octobre et décembre (Tableau 28) montre l'efficacité de la phacélie qui a récupéré une partie de la quantité d'azote présente dans le sol le 28 octobre.

Tableau 28. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle PL3 (froment + CIPAN) –2009

	28/10/2009	9/12/2009
0-30cm	8	8
30-60cm	12	6
60-90cm	10	5
total	30	19

Les APL obtenus sur cette parcelle sont comparés à l'APL de référence de 2009 pour les céréales avec CIPAN (Figure 21). Les APL mesurés sur la parcelle Gros Thier Bovenistier sont qualifiés de satisfaisants en octobre en décembre.

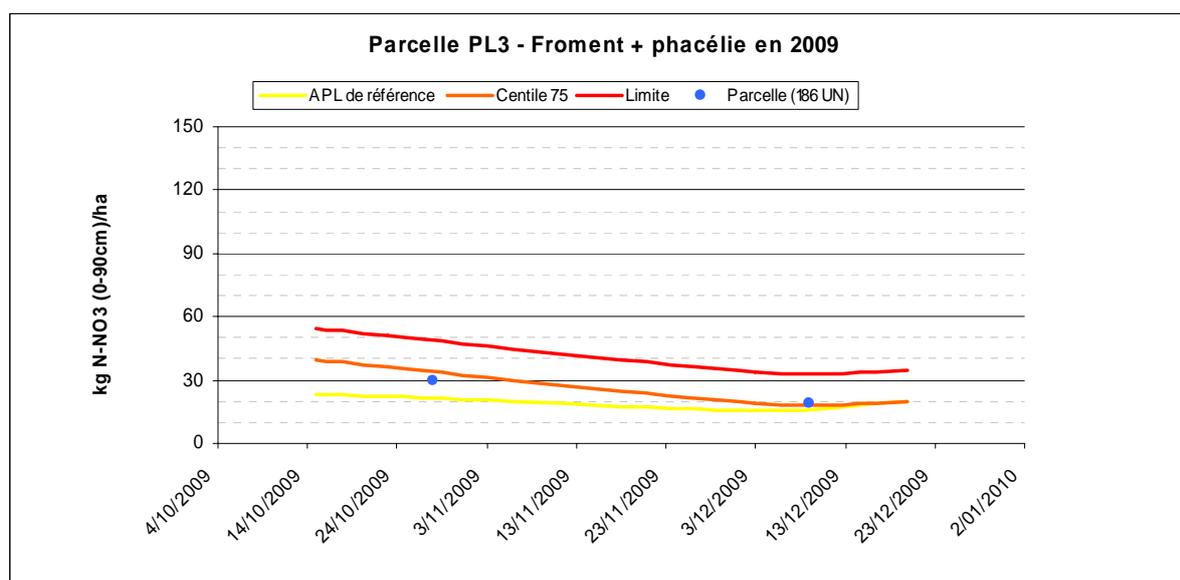


Figure 21. Résultats APL de la parcelle PL3 par rapport à l'APL de référence (céréales avec CIPAN) 2009

6.5.3 2010 : fèves des marais

Les fèves des marais ont été semées le 16 avril 2010. Deux niveaux de fertilisation seront testés sur cet essai : 0 UN et 26 UN. Le conseil (26 UN) a été établi en tenant compte des recommandations en matière de fertilisation azotée telles que décrites dans les conclusions de ce rapport (besoin de la fève des marais = 70 kg N/ha).

6.5.4 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

La première saison de drainage reprend au mois d'octobre 2007. La percolation se poursuit au cours des mois de novembre et de décembre (Tableau 29). 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 de 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).

Au cours de la saison de drainage 2009-2010, de faibles volumes d'eau ont été récoltés en septembre et novembre 2009, avec des teneurs en nitrate assez faibles (~30 mg NO₃⁻/l). Suite aux indications des piézomètres et au débordement des bidons de récolte dans la chambre de visite, la vanne à l'exutoire a été fermée en janvier 2010. Des échantillons d'eau ont cependant été récoltés en mars et avril après l'ouverture de la vanne pendant un court laps de temps (une à deux heures) ; les concentrations en nitrate y sont faibles (~25 mg NO₃⁻/l). La vanne a été rouverte fin avril 2010.

Tableau 29. 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
Août 2009	25	-	0	-	-
Septembre	15	-	0,5	31	0
Octobre	52	-	0	-	-
Novembre	65	-	0,4	28	0
Décembre	42	-	0	-	-
Janvier 2010	14	-	fermé	-	-
Février	39	-	fermé	-	-
Mars	30	-	fermé	(23)	-
Avril	13	-	fermé	(23)	-
DRAINAGE 2009-2010	295	0	0,9	30	0

6.5.5 Graphique récapitulatif

La Figure 22 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).

En 2010, le lysimètre a été fermé de fin janvier à fin avril. Les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation récoltée lors des courtes périodes d'ouverture de la vanne sont faibles (~ 25 mg NO₃⁻/l), dans la continuité des observations de 2009. Ceci confirme 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.

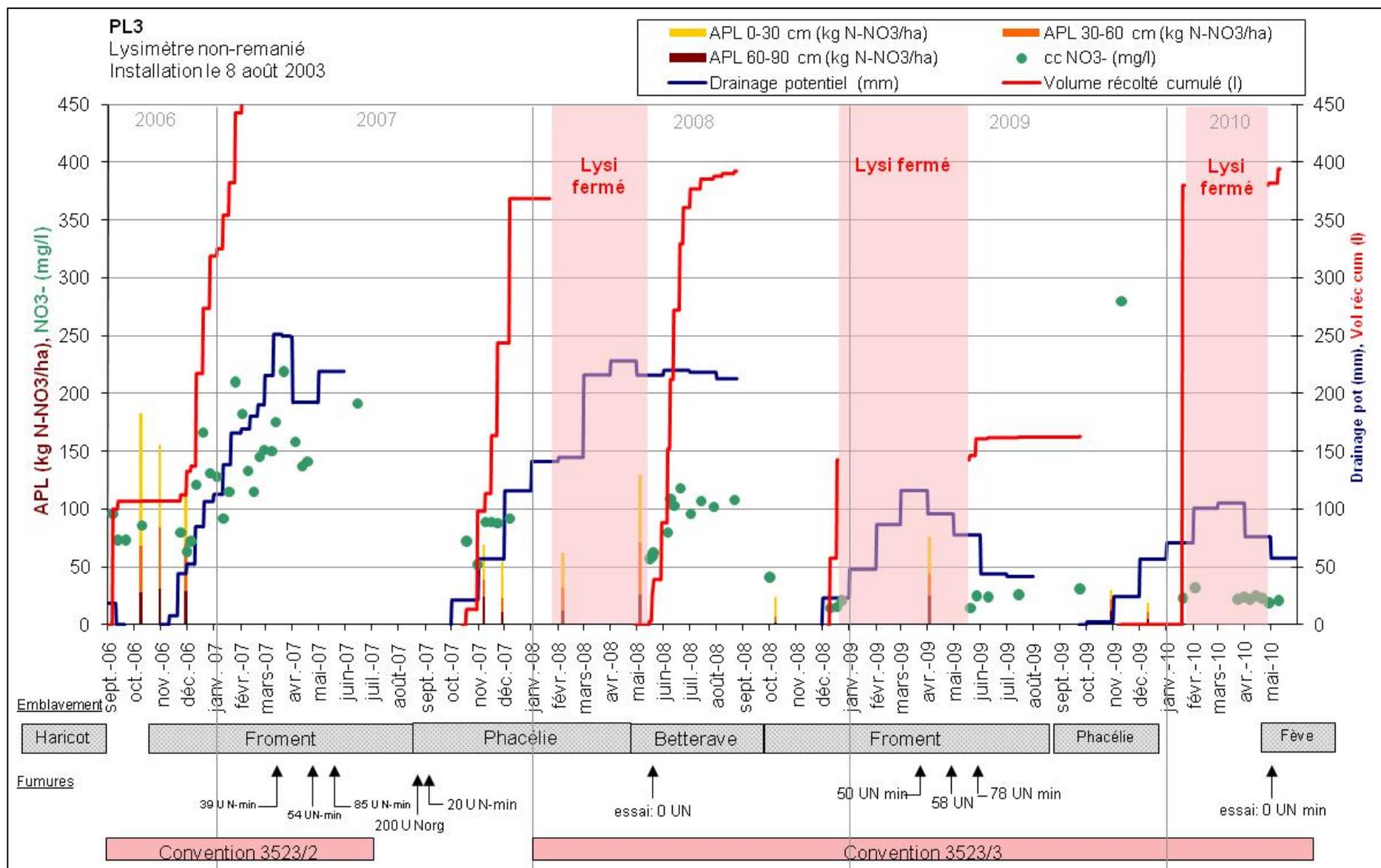


Figure 22. Synthèse des mesures et observations, parcelle PL3

6.6 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.

6.6.1 2008 : carotte

Le semis des carottes a été effectué le 6 mai. L'essai a été piqueté le 13 mai. Les sous-parcelles sont de dimension 5x8m et sont séparées par des chemins d'une largeur de 1m. (Figure 23).

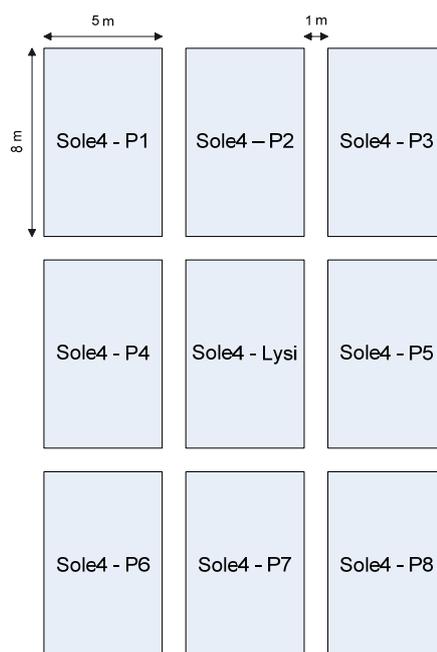


Figure 23. Plan d'expérimentation de la parcelle Sole 4

Le profil azoté en vue du conseil de fumure a été établi le 14 mai sur le parcellaire expérimental (Tableau 30) et le 7 mars sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) (Tableau 31).

Tableau 30. 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 31. 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 (Tableau 30) 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 31). 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, un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 23) ainsi qu'à l'aplomb du lysimètre. 20 UN minéral ont été appliquées sur les sous-parcelles P2, P4, P5, P7 le 20 mai.. Pour rappel, l'agriculteur a appliqué 39 UN minéral sur l'ensemble de sa terre, à l'exception du parcellaire expérimental.

Les carottes ont été récoltées le 5 novembre.

Le prélèvement de sol pour mesurer le reliquat azoté post-récolte sur les sous-parcelles a eu lieu le 10 décembre (Tableau 30). Les profils azotés établis à cette date sont pauvres en raison de l'exportation avec la récolte des carottes. L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative d'APL après la 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) (Tableau 31), justifiant ainsi la date plus tardive de prélèvement de sol sur l'essai pour une meilleure prise en compte de la minéralisation.

Les APL mesurés sur les sous-parcelles de l'essai et sur l'ensemble de la parcelle sont comparés à l'APL de référence de 2008 en légumes (Figure 24). Les APL mesurés sur l'essai de la parcelle Sole 4 sont qualifiés de bons en décembre, tout comme l'APL mesuré sur l'ensemble de la parcelle (sauf l'essai).

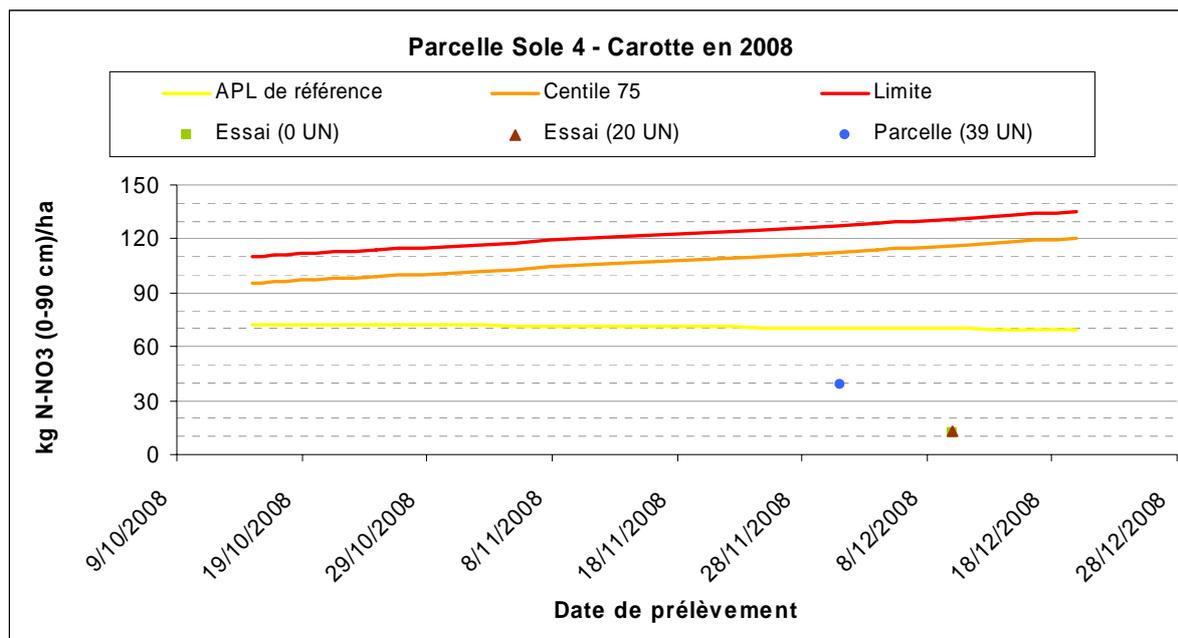


Figure 24. Résultats APL de la parcelle Sole 4 par rapport à l'APL de référence (légumes) 2008

Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le poids moyen par carotte ont été quantifiés individuellement et sont repris dans le Tableau 32.

Tableau 32. 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.*

6.6.2 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 (Tableau 33).

Tableau 33. 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

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. Suite à ces profils, un scénario 0 UN a été testé sur les sous-parcelles P1, P3, P6, P8 (Figure 23 – page 62) 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 (Tableau 33). 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).

Une avoine brésilienne a été semée le 4 septembre sur les sous-parcelles de l'essai.

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.

Sur l'ensemble de la parcelle (sauf l'essai), le reliquat azoté a été mesuré le 13 octobre et le 1er décembre (Tableau 34).

Tableau 34. Reliquats azotés (kg N-NO₃⁻/ha) sur la parcelle Sole 4 (sauf l'essai) – 2009

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

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 l'essai et le reste de la parcelle (+ 90 kg N-NO₃⁻/ha) (Tableau 33 et Tableau 34) s'explique par :

- la différence de fertilisation (60 kg N/ha \gg 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 1er décembre sur l'ensemble de la parcelle (Tableau 34) 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.

Les reliquats azotés post-récolte mesurés dans le parcellaire expérimental ne peuvent pas être comparés à l'APL de référence en légumes étant donné la date de prélèvement de l'échantillon de sol (13 octobre 2009) avant le 15 octobre (Figure 25). L'APL mesuré sur l'ensemble de la parcelle (à l'exception du parcellaire expérimental) est non-conforme en décembre.

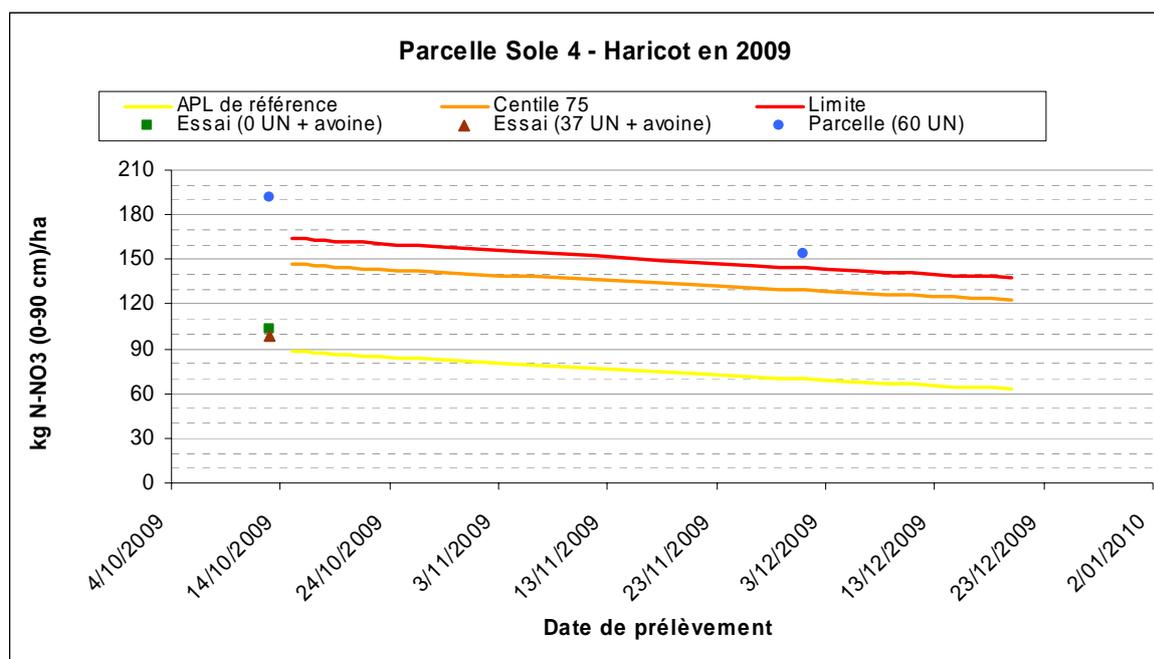


Figure 25. Reliquats azotés post-récolte de la parcelle Sole 4 et APL de référence (légumes) 2009

Pour chaque sous-parcelle, le rendement et le rapport grain/gousse ont été quantifiés individuellement et sont repris dans le Tableau 35.

Tableau 35. 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 (culturales, 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.*
- *Le semis d'une CIPAN début septembre a permis de réduire de 100 kg N-NO₃/ha la quantité d'azote nitrique dans le sol au moment de la destruction de la CIPAN et du semis du froment (mi octobre).*

6.6.3 2010 : froment

Pas d'essai en 2010 sur cette parcelle.

6.6.4 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

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 (Tableau 36). 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 jusque juin, après un bref arrêt au mois de mai. La teneur moyenne en nitrate observée dans l'eau de percolation est relativement élevée ($> 100 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$). Au total, au cours de cette saison de drainage, ce sont $42 \text{ kg N-NO}_3^-/\text{ha}$ 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 ($> 200 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) et confirme la tendance à la hausse déjà observée durant la période de drainage précédente. Au total, au cours de cette saison de drainage, $15 \text{ kg N-NO}_3^-/\text{ha}$ ont migré en profondeur vers les eaux souterraines.

La saison de drainage 2009-2010 s'est étalée de janvier 2010 à mai 2010. Elle a permis la récolte d'un volume d'eau de percolation beaucoup plus important que la saison précédente ($111 \text{ l} \gg 30 \text{ l}$), représentant 33% de la pluviométrie totale. Les teneurs en nitrate dans l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre en 2010 restent dans la lignée de ce qui avait été observé en 2009 ($\sim 210 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$).

Tableau 36 : 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
Août 2009	25	40	0	-	-
Septembre	15	-	0	-	-
Octobre	52	-	0	-	-
Novembre	65	-	0	-	-
Décembre	42	-	0	-	-
Janvier 2010	14	-	22,2	220	11
Février	39	-	49,2	215	24
Mars	30	-	32,7	208	15
Avril	13	-	7	192	3
DRAINAGE 2009-2010	295	40	111,1	213	53

6.6.5 Graphique récapitulatif

La Figure 26 présente une synthèse des mesures et observations pour la parcelle Sole 4.

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 ($\sim 150 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) 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 ($> 200 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ 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.

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.

En 2010, les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation restent élevées ($\sim 200 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$), dans la continuité de ce qui avait été observé en 2009. Ces teneurs en nitrate sont plus élevées que ce qui était attendu, par rapport aux APL observés à l'aplomb du lysimètre après carotte en 2008 et haricot suivi d'une CIPAN en 2009.

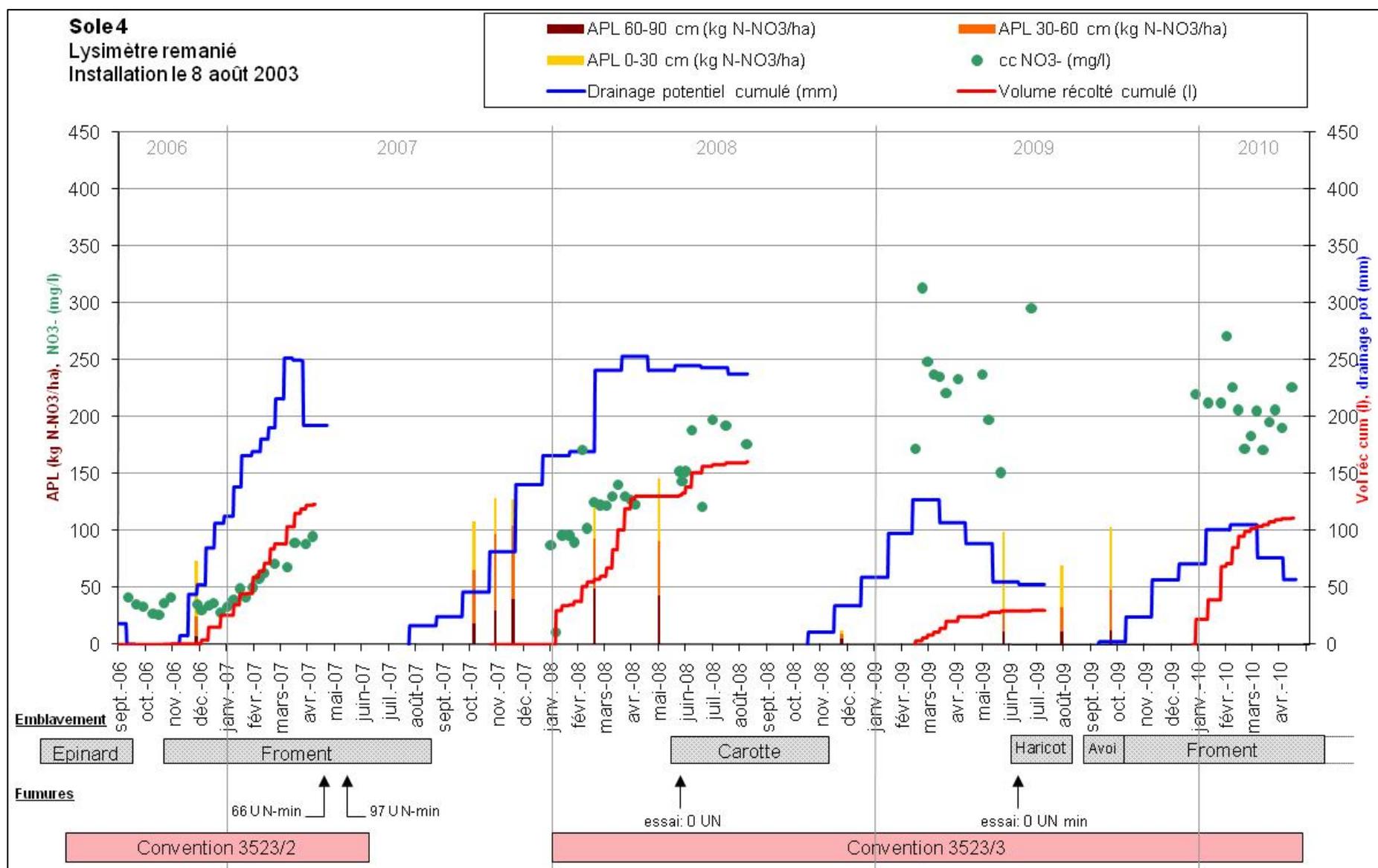


Figure 26. Synthèse des mesures et observations, parcelle sole 4

6.7 Haute Bova

Ce lysimètre est de type remanié, installé en date du 13 août 2009. La parcelle a été emblavée en chicorée en 2008, en froment suivi d'une moutarde en 2009, et en betterave en 2010.

Le lysimètre a commencé à débiter en mars 2010 et a permis la récolte d'eau de percolation jusque mai 2010.

6.7.1 2010 : betterave

Les betteraves ont été semées le 13 avril 2010. Deux niveaux de fertilisation seront testés sur cet essai : 0 UN et 78 UN.

6.7.2 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

Le lysimètre installé sur la parcelle Haute Bova a commencé à débiter de l'eau de percolation en mars 2010, soit 7 mois après son installation. Ce délai est relativement court, en comparaison avec les autres lysimètres, pour lesquels il a fallu attendre la deuxième saison de drainage après leur installation pour récolter de l'eau à leur exutoire. Au cours de cette première saison de drainage, 42 litres d'eau de percolation ont été récoltés à l'exutoire du lysimètre.

La teneur moyenne en nitrate des échantillons récoltés à l'exutoire du lysimètre s'élevait à 35 mg NO₃/l durant cette première saison de drainage, suite à la culture d'un froment d'hiver suivi d'une moutarde en 2009 (avec application de fumier bovin en automne 2009). En tenant compte des volumes d'eau récoltés, ceci correspond à 3 kg d'azote nitrique par hectare qui ont été lixiviés sous la zone racinaire (2m de profondeur).

Il convient cependant de considérer ces premiers résultats avec précaution étant donné la sensibilité du lysimètre aux perturbations dues à l'installation. En effet, la validité de cette technique repose sur un suivi sur de plus longues périodes, afin de permettre au sol de se remettre en place et de corrélérer les actions en surface avec les phénomènes observés à 2m de profondeur (Fonder et al., 2007).

Tableau 37. Parcelle Haute Bova, 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 2009		-	0	-	-
Septembre		-	0	-	-
Octobre		-	0	-	-
Novembre		-	0	-	-
Décembre		-	0	-	-
Janvier 2010		-	0	-	-
Février		-	0	-	-
Mars		-	25,8	40	2
Avril		-	16,2	26	1
DRAINAGE 2009-2010		0	42	35	3

6.7.3 Graphique récapitulatif

Après son implantation en août 2009, le lysimètre installé sur la parcelle Haute Bova à commencé à débiter de l'eau de percolation en mars 2010, avec des teneurs en nitrate relativement faibles (~ 35 mg NO₃⁻/l).

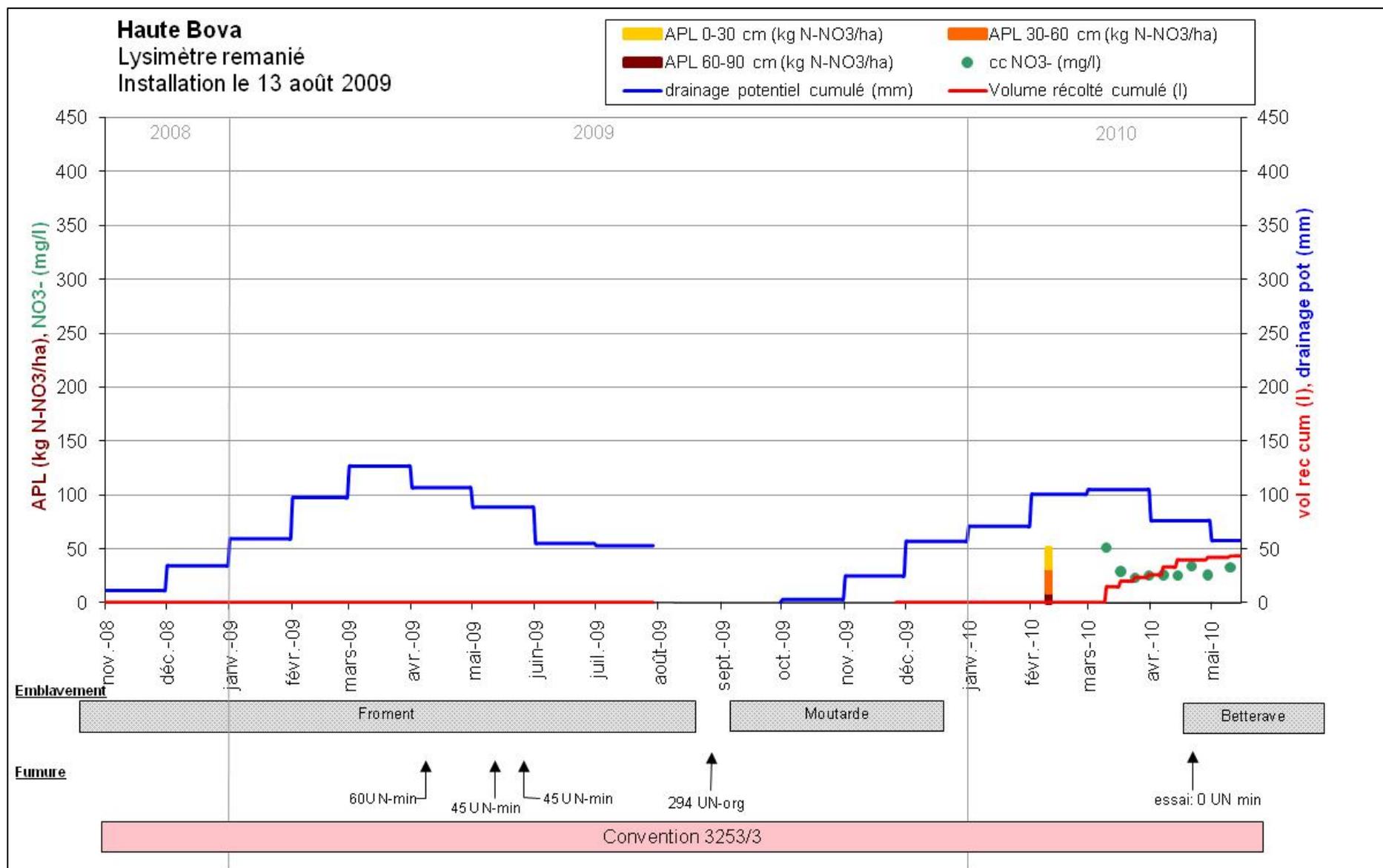


Figure 27. Synthèse des mesures et observations, parcelle Haute Bova

6.8 Lysimètres de Gembloux

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

En 2006, une succession épinard – haricot a occupé 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 d’hiver a été semé fin octobre 2009. Etant donné la mauvaise levée du froment d’hiver constatée au début de l’année 2010, un froment de printemps a été semé sur les lysimètres en mars 2010. Un essai sur le fractionnement de la fumure azotée en froment de printemps (en collaboration avec l’unité de phytotechnie des régions tempérées de Gembloux Agro-Bio Tech) y est en place en 2010. La fumure azotée est identique sur les deux lysimètres (180 kg N/ha) mais le fractionnement diffère : 3 apports de 60 kg N/ha sur le lysimètre 1 et 2 apports de 80 kg N/ha et 100 kg N/ha sur le lysimètre 2.

Ces lysimètres ont fait l’objet d’un suivi à l’azote marqué ^{15}N dans le cadre d’une convention CRA-W - SPW (convention 2798/1). Dans cette optique, 200 kg ^{15}N /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.

6.8.1 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 38).

Suite aux profils établis sur les deux lysimètres le 20 mars 2009, 180 kg N/ha ont été appliqués sur les deux lysimètres.

Les analyses de sol renseignent des quantités d’azote nitrique très faible et comparables dans les deux lysimètres. Il en est de même à la récolte. Les betteraves ont donc utilisé toutes les ressources en azote à leur disposition au cours de leur croissance.

Tableau 38. 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 39. La levée des betteraves a été plus 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 39. Rendements en betterave obtenus sur les lysimètres de Gembloux en 2009

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

6.8.2 Tableau récapitulatif des moyennes mensuelles

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 sur le lysimètre 1 (Tableau 40). 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 de 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 précédente, durant la phase d'immobilisation.

Au cours de la saison de drainage 2008-2009, 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.

La saison de drainage 2009-2010 a permis la récolte de 31% des précipitations ; cette valeur est tout à fait comparable à ce qui avait été observé sur ce lysimètre les années précédentes. Les teneurs en nitrate dans l'eau de percolation sont élevées (112 mg NO₃⁻/l en moyenne), dans la continuité de ce qui avait été observé sur ce lysimètre en 2009. Au total, 35 kg N-NO₃⁻/ha ont été lessivés à deux mètres de profondeur au cours de cette saison de drainage.

Tableau 40 : 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
Août	29	91	0	-	-
Septembre	32	100	0	-	-
Octobre	27	85	0	-	-
Novembre	79	248	0	-	-
Décembre	80	251	0	-	-
Janvier 2010	98	308	81,8	132	8
Février	58	182	135,9	116	11
Mars	36	113	144,3	106	11
Avril	11	35	66,3	93	4
Mai	0	0	3,8	91	1
DRAINAGE 2009-2010	450	1413	432	112	35

Le lysimètre 2 présente des teneurs en nitrate totalement différentes du premier (Tableau 41). En effet, les eaux récoltées dans ce lysimètre sont plus concentrées 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 la saison de drainage 2008-2009, 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.

Au cours de la saison de drainage 2009-2010, 22% des précipitations se retrouvent à l'exutoire du lysimètre. La concentration moyenne en nitrate dans l'eau de percolation est près de deux fois plus faible sur ce lysimètre que sur l'autre ; ceci marque l'effet de la différence (importante) de rendement en betterave en 2009 entre les deux lysimètres (Tableau 39). La quantité d'azote prélevé par la betterave sur ce lysimètre étant plus importante que sur l'autre, la lixiviation du nitrate s'en trouve diminuée (14 kg N-NO₃⁻ << 35 kg N-NO₃⁻).

Tableau 41. 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
Août	29	91	0	-	-
Septembre	32	100	0	-	-
Octobre	27	85	0	-	-
Novembre	79	248	0	-	-
Décembre	80	251	0	-	-
Janvier 2010	98	308	0	-	-
Février	58	182	116,4	59	5
Mars	36	113	129,5	67	6
Avril	11	35	66,8	62	3
Mai	0	0	2,7	72	0
DRAINAGE 2009-2010	450	1413	315,3	63	14

6.8.3 Graphique récapitulatif

La Figure 28 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 NO_3^-/l) tandis que celles observées dans le lysimètre 2 sont extrêmement élevées (~ 420 mg NO_3^-/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 NO_3^-/l), tout en restant au dessus des valeurs observées dans le lysimètre 1 (~ 100 mg NO_3^-/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. Etant 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.

En 2010, les volumes d'eau de percolation récoltée et les teneurs en nitrate dans celle-ci sont plus faibles sur le lysimètre 2 que sur le lysimètre 1. On peut y voir l'effet du meilleur développement des betteraves implantées en 2009 sur le lysimètre 2 que sur le lysimètre 1. Elles y ont ainsi laissé un profil plus asséché et plus pauvre en azote nitrique ; la percolation et la lixiviation de l'azote sont ainsi plus faibles sur le lysimètre 2 que sur le lysimètre 1.

Un essai sur le fractionnement de la fertilisation azotée en froment de printemps est mis en place en 2010 (en collaboration avec l'unité de phytotechnie des régions tempérées de Gembloux Agro-Bio Tech) sur les deux lysimètres.

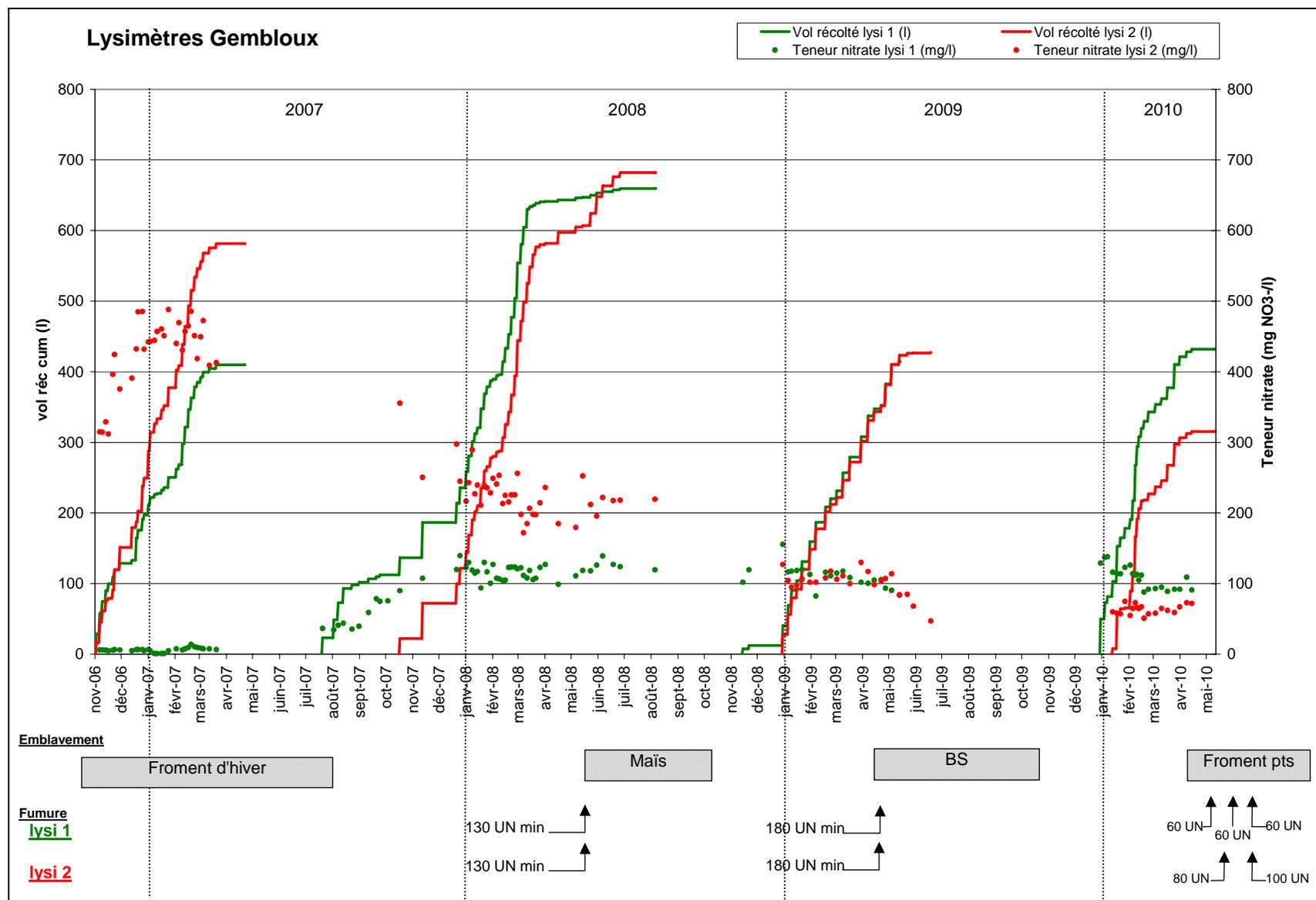


Figure 28. Synthèse des mesures et observations, lysimètres de Gembloux

7 Bilan financier

Un des objectifs du projet était d'évaluer de manière chiffrée les impacts technico-économiques des modifications apportées aux pratiques culturales de l'agriculteur. Pour cela, les différentes sous-parcelles des essais ont été récoltées séparément, en vue de la quantification individuelle de leur rendement. Il a ainsi été possible de mettre en balance le bénéfice environnemental des différents scénarios testés avec l'impact économique de ces mêmes scénarios.

Les Tableau 42 et Tableau 43 reprennent les résultats des essais en termes de rendement par rapport à la fertilisation azotée et la différence financière entre les deux niveaux de fumure (exprimée en €/ha). Cette différence est calculée à partir du chiffre d'affaires (C.A. = prix brut payé par l'usine duquel il faut soustraire les coûts de production) et du coût de la fertilisation azotée.

Le chiffre d'affaires pour les cultures légumières a été calculé sur base des contrats passés entre les agriculteurs et la s.a. Hesbayefrost. Pour des questions de confidentialité, seul le chiffre d'affaires est repris sans le détail du calcul. Il faut toutefois noter qu'en fonction de la culture, les prix sont liés à la qualité et à la quantité produite. La qualité est classée par catégories avec un prix pour chacune d'entre elles. La quantité produite est plafonnée et au-delà de ce plafond le prix est nettement moindre. C'est pourquoi, un rendement supérieur ne donne pas forcément un chiffre d'affaires supérieur car la production peut alors être classée dans une catégorie de qualité inférieure à un prix plus faible.

Le coût de la fertilisation azotée a été calculé sur base de coûts standards, à savoir :

- 0,56 €/kg d'azote liquide ;
- 0,66 €/kg d'azote sous forme solide (nitrate d'ammonium);
- 12 €/ha pour le coût d'épandage.

Les chiffres financiers de ces deux tableaux sont repris à titre indicatif. Ils n'ont pas fait l'objet d'une analyse statistique. Le coût de l'azote est lié au prix de l'énergie et est donc très variable d'une année à l'autre. Les prix des légumes sous contrat sont revus chaque année et sont indirectement liés au prix des productions agricoles de base comme les céréales. Il est donc difficile de comparer des résultats d'essais sur le plan financier d'une année à l'autre même si sur le plan agronomique ces résultats sont semblables.

Tableau 42. Résultats des essais 2008 en termes de rendement et de bilan financier (€/ha)

Parcelle	Culture	Résultats 2008				Financier 2008				
		Fumure réduite		Fumure normale		Fumure réduite (FR)		Fumure normale (FN)		Différence (FN - FR)*
		Fumure	Rendement	Fumure	Rendement	C.A.	Coût Fert. Az.	C.A.	Coût Fert. Az.	
G.P. Chemin de Fer	Fève des marais	0 UN	5246 kg/ha	52 UN	5225 kg/ha	2.555 €	0 €	2.545 €	41 €	-51 €
	Chou frisé	0 UN	25,9 T/ha	80 UN	30,2 T/ha	2.426 €	0 €	2.653 €	65 €	162 €
G.T. Bovenistier	Froment	pas d'essai								
PL1	Froment	pas d'essai								
PL3	Betterave	0 UN	15,25 T/ha	72 UN	15,29 T/ha	2.859 €	0 €	2.867 €	52 €	-44 €
Sole 4	Carotte	0 UN	112,4 T/ha	20 UN	112,5 T/ha	4.055 €	0 €	4.057 €	23 €	-21 €

* Une valeur négative indique un gain financier sur les sous-parcelles "fumure réduite" par rapport aux sous-parcelles "fumure normale"

Tableau 43. Résultats des essais 2009 en termes de rendement et de bilan financier (€/ha)

Parcelle	Culture	Résultats 2009				Financier 2009				
		Fumure réduite		Fumure normale		Fumure réduite (FR)		Fumure normale (FN)		Différence (FN - FR)*
		Fumure	Rendement	Fumure	Rendement	C.A.	Coût Fert. Az.	C.A.	Coût Fert. Az.	
G.P. Chemin de Fer	Poireau	100 UN	68,9 T/ha	160 UN	68,8 T/ha	27.954 €	85 €	27.928 €	122 €	-63 €
G.T. Bovenistier	Fève des marais	0 UN	8990 kg/ha	51 UN	8819 kg/ha	3.967 €	0 €	4.041 €	41 €	33 €
	Epinard	100 UN	13,8 T/ha	133 UN	13,8 T/ha	1.321 €	68 €	1.321 €	102 €	-34 €
PL1	Fève des marais	0 UN	8279 kg/ha	50 UN	7974 kg/ha	2.994 €	0 €	3.004 €	40 €	-30 €
	Epinard	40 UN	26,4 T/ha	83 UN	33,2 T/ha	2.112 €	38 €	2.656 €	67 €	515 €
PL3	Froment	pas d'essai								
Sole 4	Haricot	0 UN	19,8 T/ha	37 UN	20,7 T/ha	3.449 €	0 €	3.440 €	33 €	-42 €

* Une valeur négative indique un gain financier sur les sous-parcelles "fumure réduite" par rapport aux sous-parcelles "fumure normale"

On voit dans les Tableau 42 et Tableau 43 que sur les 10 essais mis en place à l'aplomb des lysimètres en 2008 et 2009, 3 seulement se sont révélés être plus rentables d'un point de vue financier avec l'application de la fumure conseil plutôt que la fumure conseil réduite. Ces 3 essais concernaient :

- le chou frisé sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer en 2008 : l'analyse financière indique que la différence (significative) de rendement observée sur cet essai se traduit par une différence de chiffre d'affaires ; l'économie d'engrais azoté ne permet pas de combler cette différence ;
- la fève des marais sur la parcelle Gros Thier Bovenistier en 2009 : l'application de la fumure conseil aura permis à l'agriculteur d'obtenir un surplus de 33 €/ha par rapport à la fumure conseil réduite ;
- l'épinard d'automne sur la parcelle PL1 en 2009 : la différence de chiffre d'affaires est importante sur cet essai, conséquence de la différence marquée de rendement (bien que non significative) ; rappelons cependant que cet essai a été touché par des dégâts de mouches et que seules 5 des 8 sous-parcelles mises en place ont été prises en compte dans ces calculs, diminuant ainsi la robustesse de la comparaison.

Sur les 7 autres essais mis en place en 2008 et 2009, l'application de la fumure réduite a permis à l'agriculteur de toucher un surplus financier, bien que les différences soit assez faibles.

Enfin, sur le parcellaire expérimental de la parcelle Sole 4, une avoine brésilienne a été semée en 2009 après la récolte du haricot et avant le semis du froment d'hiver (cf § 6.6.2). Il est possible d'évaluer le surcoût entraîné par l'implantation et la destruction de ce couvert. En prenant les hypothèses suivantes :

- coût du semis de l'avoine : 30 €/ha (source : utilisation du logiciel Mecacost développé par le département Génie Rural du CRA-W) ;
- coût des semences : de 6 à 16 €/ha (source : Perspectives agricoles n°314, repris dans le classeur eau-nitrate de Nitrawal) ;
- coût de destruction chimique de l'avoine : 30 €/ha (source : classeur eau-nitrate de Nitrawal),

on peut estimer le coût total d'implantation de l'avoine de 65 à 75 €/ha. Ce coût est à mettre en balance avec la diminution d'APL (de l'ordre de 100 kg N-NO₃⁻/ha) obtenu grâce à l'avoine sur le parcellaire expérimental par rapport au reste de la parcelle.

8 Vulgarisation du retour d'expérience

8.1 Publication

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 en 2008 et 2009 à l'aplomb des lysimètres.

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

8.2 Présentation

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, à but pratique, émanant de l'industrie légumière aura certainement beaucoup plus d'impact en termes de fréquentation et de sensibilisation des producteurs.

8.3 Sur le terrain

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

Une visite d'essais et d'infrastructures a été organisée sur la parcelle PL1 le 3 septembre 2009. 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.

9 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 des lysimètres 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 et demi 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 de janvier 2008 à mai 2010. Les résultats obtenus sur sept 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, notamment en termes financiers. Les activités de vulgarisation menées au cours de ce projet sont également décrites.

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 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 ci après.

- 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 cotylédonnaire 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 de 2008 à 2010 et 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 1^{er} septembre.

L'ensemble des propositions de modifications de pratiques en termes de fertilisation azotée et de successions culturales sont synthétisées dans le Tableau 44.

Tableau 44. Synthèse des propositions de modifications de pratiques

<i>Pratiques actuelles</i>	<i>Recommandations</i>
L'absence de CIPAN après une céréale a pour conséquence une augmentation des teneurs en nitrate dans l'eau de percolation.	Installer une CIPAN après toute culture de céréale récoltée avant le 1 ^{er} septembre sauf s'il est prévu l'implantation d'une culture d'hiver.
Lorsqu'une culture récoltée à l'automne laisse un APL élevé (de l'ordre de 70 à 80 kg N/ha ou plus) la culture suivante est parfois une culture de printemps à enracinement superficiel voire même une légumineuse. Ex : pomme de terre l'année n et pois l'année n+1, haricot l'année n et carotte l'année n+1.	Lorsqu'une culture récoltée à l'automne laisse un APL élevé (de l'ordre de 70 à 80 kg N/ha ou plus), la culture suivante devra avoir un enracinement profond et ne pourra pas être une légumineuse. Ex : pomme de terre l'année n et froment l'année n+1, haricot l'année n et betterave l'année n+1
L'obligation d'implanter une CIPAN sur 75% des terres arables récoltées avant le 1 ^{er} septembre et destinées à une culture emblavée après le 1 ^{er} janvier (sauf lin et pois).	Etendre l'obligation d'implanter une CIPAN sur toutes les terres arables récoltées avant le 1 ^{er} septembre et destinées à une culture emblavée après le 1 ^{er} janvier y compris pour le pois et le lin.
L'application de la 1 ^{ère} fraction azotée en épinard de printemps est effectuée au semis ou juste avant le semis.	L'application de la 1 ^{ère} fraction azotée en épinard de printemps est plafonnée à 100 kg N/ha. Si cette 1 ^{ère} fraction est sous forme d'azote liquide, elle sera appliquée idéalement 2 semaines avant le semis afin que le nitrate soit disponible pour la plante au moment de son implantation.
Le calcul du conseil de fumure azotée en fève des marais est basé sur des besoins de 120 kg N/ha.	Réduire les besoins de la fève des marais à 70 kg N/ha pour le calcul du conseil de fumure.
Le calcul du conseil de fumure azotée en carotte est basé sur des besoins de 150 kg N/ha.	Réduire les besoins de la carotte à 110 kg N/ha pour le calcul du conseil de fumure.
L'application de la 1 ^{ère} fraction azotée (de 100 à 120 kg N/ha) en épinard d'automne après fève des marais est effectuée au semis ou juste après le semis.	L'application de la 1 ^{ère} fraction azotée en épinard d'automne après fève des marais est plafonnée à 80 kg N/ha. Si cette 1 ^{ère} fraction est sous forme d'azote liquide, elle sera appliquée avant la préparation du sol pour le semis.

La 1 ^{ère} fraction azotée appliquée avant le repiquage du chou frisé implanté après une fève des marais est souvent de l'ordre de 100 kg N/ha.	Un 1 ^{er} apport de maximum 50 kg N/ha est préconisé avant repiquage du chou frisé pour tenir compte au mieux de la minéralisation des résidus de fève des marais.
--	---

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.

10 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. **Cellule Etat de l'Environnement Wallon** (2007). Rapport Analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. MRW – DGRNE, Namur. 736 pp.
3. **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>
4. **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.
5. **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.
6. **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>
7. **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>
8. **Muller J.C.** (1996). Un point sur ... trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). INRA, Comifer, 1996. 389p
9. **Nitrawal** (2007). Eau-nitrate, informations et conseils techniques pour la gestion durable de l'azote (2^{ème} édition). 162p.
10. **Nitrawal.** (2007). Le nouveau Programme de Gestion Durable de l'Azote. Edition février, 2007. 4p.
11. **Renard S., Goffart J.-P., Frankinet M.** (2007). Optimisation de l'efficience de l'azote dans des rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye. Les Dossiers de la Recherche agricole. Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture.
12. **Dautrebande S., Rouxhet F., Guiot J., Dewez A., Hallet V., Monjoie A.** (1996). Programme-Action Hesbaye, Rapport de synthèse. FUSAGx, 167p.
13. **Thirion M., Mulders Ch.** (2006). Le programme de gestion durable de l'azote *change*. Les cahiers de l'agriculture, n°42, Novembre 2006.
14. **Vandenberghe Ch., Marcoen J.M.** (2004). Transposition de la Directive Nitrate (CE) en Région Wallonne : azote potentiellement lessivable de références pour les sols cultivés en Région Wallonne. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **8** (2), 111-118. Fac. Univ. Sc. Agr. Gembloux.