

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



Ce document doit être cité de la manière suivante :

Lefébure K., Vandenberghe C., Colinet G., 2020. *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en Agriculture*. Dossier GRENeRA **20-05**. 25 p. In Vandenberghe C.¹, De Toffoli M.², Durenne B.³, Bachelart F.¹, Imbrecht O.², Lefébure K.¹, Williscotte F.³, Hawotte F.³, Weickmans B.³, Huyghebaert B.³, Lambert R.², Colinet G.¹, 2021. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2020 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau*. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech.

¹ Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège) - GRENeRA

² Earth and Life Institute (UCLouvain)

³ Centre wallon de Recherches agronomiques

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	4
2. CONTEXTE	5
3. DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE.....	7
3.1. HESBAYE.....	7
3.2. GEMBLOUX AGRO-BIO TECH.....	9
3.2.1. Cultures annuelles.....	9
3.2.2. Couvert prairial	9
4. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....	11
5. SUIVI LYSIMÉTRIQUE 2019-2020.....	15
5.1. GROSSE PIERRE CHEMIN DE FER	15
5.2. GROS THIER BOVENISTIER.....	16
5.3. SOLE 4.....	17
5.4. HAUTE BOVA	19
5.5. SOL RESIDUS	21
6. ANALYSE DES FLUX D'EAU	22
7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	23
8. BIBLIOGRAPHIE.....	24

1. Introduction

Depuis le milieu des années 1970, la concentration en nitrate dans les eaux souterraines a significativement augmenté en Wallonie (Vandenberghe, 2010). Cette dégradation de la qualité de l'eau est partiellement liée à l'évolution de l'agriculture (augmentation du cheptel, augmentation des superficies dévolues au maïs et à la pomme de terre, diminution des superficies de prairie, augmentation de l'utilisation d'azote minéral et organique), les secteurs « industriel » et « domestique » ayant également eu un impact sur celle-ci.

La surveillance de la qualité des eaux en Wallonie est organisée au travers du « Survey Nitrate » (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007) qui est constitué de près d'un millier de points d'observation dans les eaux souterraines. Le Survey Nitrate, tel qu'il est réalisé, présente une vue d'ensemble de l'état (en termes de concentration en nitrate) des eaux souterraines, mais ne permet pas de distinguer l'impact d'une politique environnementale mise en place pour tel ou tel secteur d'activités (agricole, industriel ou domestique).

Par ailleurs, le transit du nitrate dans la zone insaturée n'est pas encore complètement connu à l'heure actuelle. L'utilisation de lysimètres s'est révélée être un moyen efficace pour lever partiellement et dans un délai raisonnable ces inconnues. La méthode lysimétrique permet ainsi l'étude de la migration en profondeur d'éléments dans le but de réaliser des bilans entrées – sorties.

Depuis plusieurs décennies, l'utilisation de lysimètres a en effet permis d'importantes avancées dans la compréhension des processus impliqués dans la contamination des ressources en eaux souterraines par les produits phytosanitaires, le nitrate ou les micro-organismes notamment (Muller J-C., 1996 ; Goss et al, 2010).

2. Contexte

En 2003, six lysimètres ont été mis en place sur des parcelles agricoles en Hesbaye, région à vocation principalement légumière. Ces lysimètres permettent le suivi de la lixiviation du nitrate au-delà de la zone racinaire. Ce suivi a pour objectifs de :

- fournir rapidement, par rapport au temps de réponse d'un aquifère, et de manière ciblée au secteur agricole, une assurance quant à la pertinence des normes d'épandage et des références APL⁴ (Dossier GRENeRA 19-03) définies dans le cadre du PGDA (Programme de Gestion Durable de l'Azote) pour évaluer la bonne gestion de l'azote ;
- vérifier l'adéquation entre ces valeurs de référence, les conseils de fumure et l'objectif de préservation de la qualité de l'eau ;
- apporter un éclairage et des conseils sur les pratiques et rotations culturales adéquates en termes de respect de la qualité de l'eau et celles qui sont à revoir ou à éviter.

Cette étude a fait l'objet de quatre conventions de recherche entre 2003 et 2013, exécutées par GRENeRA (Axe Echanges Eau-Sol-Plante – 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)⁵. La dernière convention (2010-2013) s'intitulait « Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique et expérimentation en matière de fertilisation azotée et de successions culturales en cultures industrielles légumières » (Deneufbourg *et al.*, 2013) et a été financée par le Service Public de Wallonie (DGO3).

Plusieurs expérimentations ont ainsi été menées à l'aplomb des lysimètres afin de tester l'impact d'une réduction des niveaux de fertilisation et de l'introduction de Cultures Intermédiaires Piège à Nitrate (CIPAN) dans la rotation sur les rendements des cultures, le reliquat azoté du sol et la concentration en nitrate dans l'eau qui percole sous la zone racinaire.

Les lysimètres exploités depuis 2003 ont montré leur efficacité pour assurer le suivi de la lixiviation de l'azote nitrique en relation avec les pratiques agricoles (Deneufbourg *et al.*, 2013). Ils récoltent une fraction de la pluviométrie représentative de la quantité d'eau en voie de migration vers les eaux souterraines et permettent d'en faire un suivi qualitatif et quantitatif. Les lysimètres ont également apporté un éclairage sur la relation existant entre l'APL et la qualité de l'eau de percolation qui en résulte ; ils ont ainsi montré que l'indicateur environnemental APL donne une tendance correcte sur la quantité de nitrate qui sera présente l'année suivante dans les eaux de percolation à une profondeur où il ne sera pas récupérable par la culture suivante. Les valeurs mesurées en termes de lixiviation d'azote nitrique montrent la nécessité et la pertinence des normes d'épandage et du code de bonnes pratiques agricoles. Par ailleurs, l'outil lysimétrique a clairement mis en évidence que la qualité des eaux de percolation sous les terres agricoles doit être appréhendée selon une approche globale et intégrée des rotations et successions culturales complètes, en ce compris la fertilisation raisonnée et les CIPAN adaptées à chaque culture présente dans la rotation.

*Nous renvoyons au rapport d'activité final (Deneufbourg *et al.*, 2013) des études précédentes pour l'ensemble des résultats, interprétations et conclusions.*

⁴ Azote Potentiellement Lessivable.

⁵ Rapports disponibles sur www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/grenera_rapports_activites_lysimetres.htm.

En 2017, des bilans pluriannuels ont été réalisés sur une période de plus de dix ans pour quantifier à cette échelle temporelle, les pertes d'azote (organique et minéral) par lixiviation du nitrate (Dossier GRENeRA 17-04).

Depuis avril 2018, GRENeRA suit également les flux de nitrate des quatre lysimètres installés sur la plateforme d'essais « sol résidus » dans les parcelles expérimentales de Gembloux Agro-Bio Tech.

Avec l'appui d'autres financements du Service Public de Wallonie, GRENeRA suit depuis 2013 les flux ainsi que la concentration en produits phytopharmaceutiques de l'eau de percolation dans ces lysimètres (Vandenberghe *et al*, 2019 ; Vandenberghe *et al*, 2020).

La saison de drainage s'étale généralement sur deux années civiles, entre le mois de novembre d'une année jusqu'au mois de mai de l'année suivante. Des exceptions ont déjà été observées, notamment des reprises de drainage en juin suite à d'importants épisodes de précipitations au printemps.

Durant les saisons de drainage 2017-2018 et 2018-2019, les flux d'eau à l'exutoire des lysimètres ont été limités. Une quantité potentiellement importante d'azote s'est donc accumulée sous la zone racinaire mais au-dessus de l'exutoire du lysimètre. Dans ce dossier, la saison de drainage 2019-2020 des lysimètres de Hesbaye sera analysée. Une attention particulière sera portée sur le devenir de cette éventuelle accumulation d'azote dans la zone sous racinaire.

3. Description des sites d'étude

3.1. Hesbaye

Les sites d'étude lysimétrique sont localisés à proximité de Waremme (Hesbaye). Les lysimètres sont installés au sein de trois exploitations agricoles faisant partie du « Survey Surfaces Agricoles », réseau de 45 exploitations situées sur le territoire wallon et dans lesquelles près de 240 parcelles sont suivies en matière de gestion de l'azote, dans le but d'établir annuellement les références APL (Dossier GRENeRA 19-03). Les parcelles équipées de lysimètres sont également suivies par le CPL Végémar⁶ qui contribue notamment à la gestion du périmètre irrigué à partir des eaux usées de l'usine de surgélation et de conditionnement de légumes Hesbaye Frost s.a.

Cinq lysimètres ont été placés dans des parcelles irrigables intégrant des cultures légumières industrielles en rotation avec les grandes cultures classiques et un lysimètre est implanté dans une parcelle non irrigable (Haute Bova) cultivée uniquement de grandes cultures classiques (céréales, betterave, chicorée, pois) avec apport régulier de matière organique.

Les parcelles dans lesquelles sont installés les lysimètres sont dénommées selon les noms utilisés par les agriculteurs, soit :

- Grosse Pierre Chemin de Fer,
- Gros Thier Bovenistier,
- Haute Bova,
- PL1,
- PL3 et
- Sole 4 (figure 1).

Les sols caractéristiques des parcelles dans lesquelles sont installés les lysimètres sont des limons profonds à drainage favorable. Chaque site a été caractérisé d'un point de vue pédologique par un sondage à la tarière, jusqu'à la profondeur de 2m (Fonder *et al.*, 2005).

Les lysimètres sont des cylindres métalliques d'une hauteur de 150 cm et de 113 cm de diamètre (1 m² de surface). Une fois remplis de terre, ils sont placés à 2 mètres de profondeur, laissant ainsi 50 cm entre le sommet du lysimètre et le niveau du sol pour travailler le sol (labour...).

⁶ Centre Provincial Liégeois de productions VEGétales et MARaichères

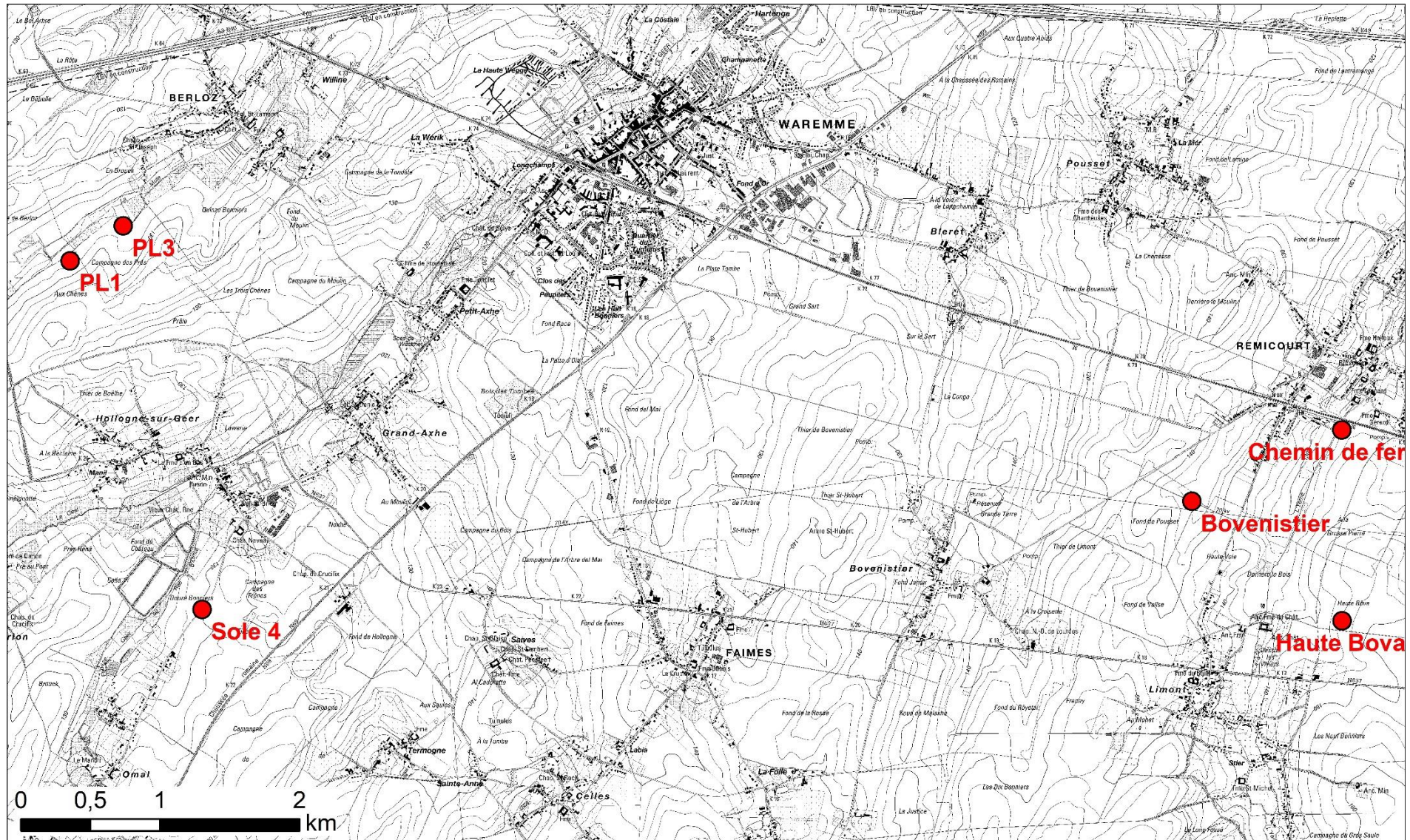


Figure 1. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Haute Bova, PL1, PL3 et Sole 4.

3.2. Gembloux Agro-Bio Tech

3.2.1. *Cultures annuelles*

Les lysimètres ont été installés en 2008 lors de la mise en place de l'essai sol résidus – sol couvert. Cet essai vise à étudier l'impact de la gestion des résidus de cultures et de la gestion du travail du sol sur différents paramètres.

Une importante littérature scientifique multidisciplinaire (microbiologie, chimie, physique, agronomie) a déjà été produite grâce à cet essai.

Les lysimètres et leurs données n'ont pas encore été valorisés. Depuis que GRENeRA est en charge de la gestion de ces lysimètres, un suivi régulier est effectué.

Les sols des quatre parcelles de l'essai sol résidus équipées de lysimètres sont des sols limoneux profonds à drainage naturel favorable et à horizon B textural (figure 2).



Figure 2. Contexte pédologique à proximité des parcelles de l'essai sol résidus.

Le dispositif croise deux facteurs expérimentaux :

1. gestion des résidus (exportés ou laissés sur place)
2. gestion du travail du sol (labour à 25 cm ou travail superficiel).

Ces quatre lysimètres sont suivis depuis 2018 par GRENeRA.

3.2.2. *Couvert prairial*

En 2018, dix lysimètres ont été installés sur le site de Gembloux Agro-Bio Tech pour quantifier les flux d'azote vers l'hydrosphère et la qualité des fourrages selon le mode de fertilisation (organique et

minérale) et selon la première (avant le printemps) et dernière (en automne) date d'épandages (tableau 1).

Tableau 1. Phasage de l'expérimentation. Fertilisation 1 : 80 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (organique). Fertilisation 2 : 60 kg N-N-NO₃⁻ ha⁻¹. Fertilisation 3 : 40 kg N-N-NO₃⁻ ha⁻¹. Fertilisation 4 : 80 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (organique).

Fertilisation \ Modalité	1	2	3	4
A	15 janvier	± 15 mai	Fin juin	-
B	1 ^{er} mars	± 15 mai	Fin juin	± 30 août
C	1 ^{er} mars	± 15 mai	Fin juin	± 30 septembre
D	1 ^{er} mars	± 15 mai	Fin juin	± 30 octobre
E	1 ^{er} mars	± 15 mai	Fin juin	-

Les observations des lysimètres en culture et en prairie de Gembloux Agro-Bio Tech ne sont pas exploitées dans ce dossier.

4. Conditions météorologiques

Comme il a été montré les années précédentes, les conditions météorologiques influencent les flux d'eau à l'exutoire des lysimètres. L'IRM⁷ réalise une rétrospective mensuelle et par saison des conditions météorologiques à la station IRM de Uccle.

Les conditions météorologiques observées à Uccle sont des conditions représentatives du contexte belge et wallon en particulier.

Selon l'IRM⁸ :

- **L'été 2019** a conduit à trois vagues de chaleur. La température moyenne et la durée d'insolation font partie des 5 valeurs les plus élevées depuis 1981.
- **L'automne 2019** était caractérisé comme 'fort banal' ; les relevés pluviométriques et de températures ne montraient aucune anomalie.
- **L'hiver 2019-2020** a été qualifié de très doux. La température moyenne était supérieure de 3°C par rapport à la moyenne établie entre 1981 et 2010. Le nombre de jours d'orage a également été plus important.
- **Le printemps 2020** était sec et surtout très ensoleillé. Le total des précipitations est parmi les 5 valeurs les plus faibles depuis 1981. Le nombre de jours de précipitations est le plus faible depuis 1981.

Les températures relevées à la station IRM d'Uccle et celles relevées dans le bassin du Geer ne montrent des différences que de quelques dixièmes de degrés (Dossier GRENeRA 18-04). Les données pluviométriques présentent des différences plus marquées car liées à des phénomènes plus locaux. Elles sont donc étudiées sur les données récoltées aux stations météorologiques PAMESEB situées à proximité du site expérimentale.

Les stations météorologiques du réseau PAMESEB de Geer et d'Alleur sont situées à une dizaine de kilomètres des parcelles lysimétrées de Hesbaye (figure 3). Elles renseignent l'évapotranspiration potentielle et la somme des précipitations journalières. Avant d'être exploitées, ces données ont été agrégées à un pas de temps mensuel.

⁷ Institut Royal Météorologique. Source des données : <https://www.meteo.be/fr/climat/observations-recentes-en-belgique-et-a-uccle/bilans-climatologiques/2020>

⁸ Institut Royal Météorologique. Source des données : <https://www.meteo.be/fr/climat/observations-recentes-en-belgique-et-a-uccle/bilans-climatologiques/2020>

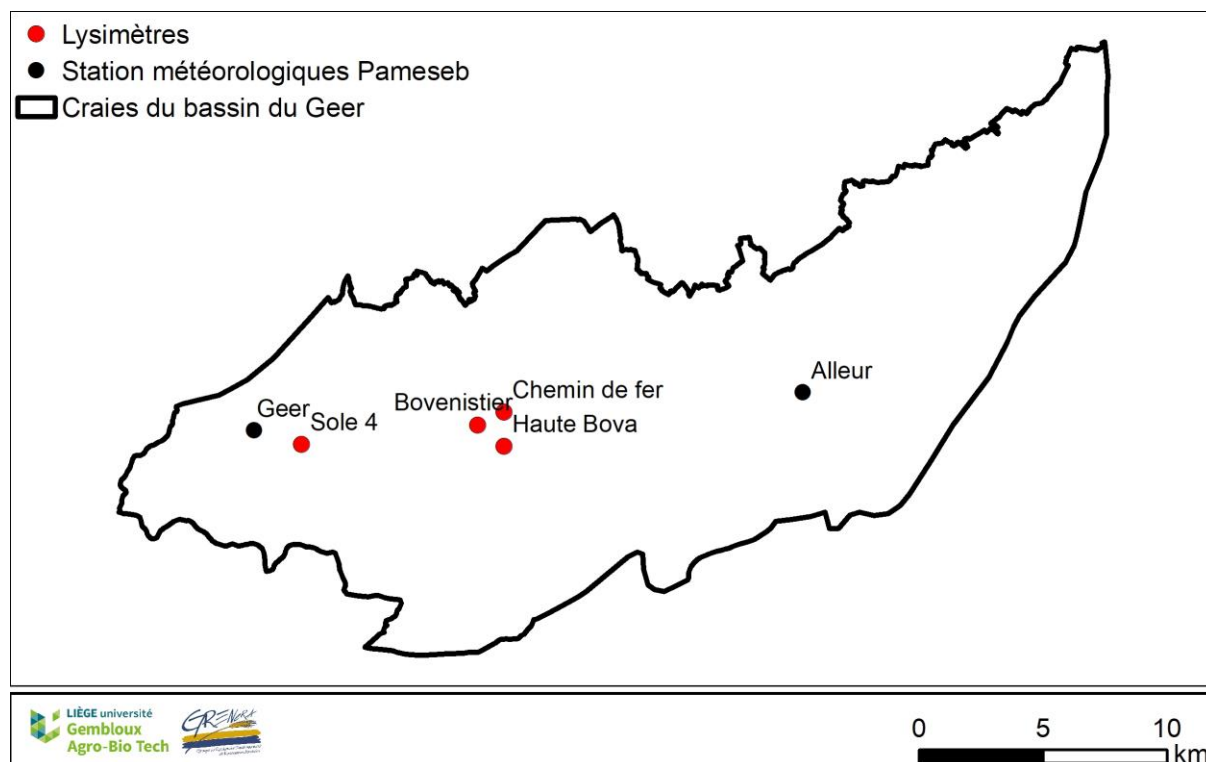


Figure 3. Proximité des stations météorologiques du réseau PAMESEB vis-à-vis des parcelles équipées d'un lysimètre.

Des flux d'eau faibles ou nuls ont été observés à l'exutoire des lysimètres durant les saisons de drainage 2017-2018 et 2018-2019 (Dossier GRENeRA 19-05).

Dans ce dossier, les données du PAMESEB ont été exploitées pour déterminer le début et la fin de la saison de drainage à partir du calcul de l'eau utile ; la différence mensuelle entre la précipitation et l'évapotranspiration. Les calculs ont à nouveau été réalisés pour la saison de drainage 2019-2020 (tableau 1). Les parties bleues du tableau indiquent la période où la somme mensuelle des précipitations est supérieure à l'évapotranspiration potentielle mensuelle. Ponctuellement, les conditions météorologiques peuvent conduire à inversion du flux d'eau ; ces conditions particulières sont renseignées en caractères gras dans le tableau 1. Ainsi, la différence entre P et ETP_0 peut être négative dans lors de la saison de drainage. A l'inverse, des précipitations abondantes peuvent conduire à des reprises de drainage. Il faut cependant parfois prendre certaines précautions dans l'interprétation de ces valeurs. Ainsi, en juillet 2005, un bilan $P-ETP$ affiche une lame drainante de 329,5 mm. Un contexte d'orages violents incite cependant à conclure qu'une part très importante de cette 'lame drainante' a plus ruisselé en surface que percolé.

Les dates de début et de fin de saison de drainage ont été estimées par interpolation aux limites des saisons de drainage entre le 15 du mois marquant le début (ou la fin) de la saison de drainage et le 15 du mois marquant la fin (ou le début) de la saison de drainage (tableau 3).

La saison de drainage 2019-2020 a donc commencé entre le 15 septembre et le 15 octobre 2019 et s'est terminée entre le 15 mars et le 15 avril 2020. Par régression linéaire, on peut montrer que l'eau utile est nulle et en augmentation à partir du 24 septembre 2019 et est nulle et en diminution à partir du 21 mars 2020. Elle s'étend donc sur une période de 179 jours soit respectivement 39, 65 et 31 jours de plus que les saisons de drainage 2016-2017, 2017-2018 et 2018-2019.

Tableau 2. Eau utile (P – ETP₀) mensuelle [mm] calculée depuis janvier 2003.

P – ETP [mm]	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2003	71,6	13,6	3,9	10	3,2	-39,4	-40,7	-60,4	-40,1	49,8	42,9	65,5
2004	104,8	50,6	-2,9	17	-28,7	-18,4	3,4	83,1	0,9	23,5	62,1	47,3
2005	45,9	67,7	0,4	14,3	-22,8	-97,8	329,5	40,5	20,4	-4,4	20,2	21,6
2006	3,3	39,1	22,7	-19,7	11,2	-87,6	-99,7	130,7	-56	7,1	22,8	29,2
2007	35,6	31,2	1,6	-88,3	-29,1	-45	-31	5,2	2,2	21,8	39,9	47,1
2008	5,5	9	57	-7	-39,4	-17,5	-17	-6,9	-14,3	8,3	21,6	19,7
2009	11	36,3	18,8	-28,3	-41,5	-61	-28	-80,8	-43,2	21,8	37,1	30,6
2010	7,8	23,8	-9,3	-47,4	-17,6	-89,5	-74	83	0,9	11,8	75,3	18,4
2011	50	7,8	-27,4	-66,3	-118,7	-63,4	-20,9	29,8	-37,8	-4,5	-10,4	111,6
2012	60,8	12,3	-27,1	-9,4	-23	1,7	-5,2	-84,6	-31,3	72,4	6,9	77,2
2013	25,4	14,7	-18,5	-56,7	14,3	-22	-85,3	-82,4	-10	33,6	63,7	38,2
2014	17,6	4,9	-37,5	-59,7	-53	-41,8	29,2	47,3	-1,7	25,7	31	48,2
2015	67,1	28,5	1,2	-34,9	-73,8	-71,7	-74,5	3,9	-10	1,5	47,7	11,3
2016	56,6	61,2	3,4	-6,1	-23	46,1	-74,1	-69,6	-69,4	13,5	33	1,2
2017	29,7	8,6	-11,6	-59,1	-89	-104,3	-45,7	-23,5	2,7	-14,2	48,9	67
2018	83,9	-8	10	-35,6	-93,2	-67,9	-156,7	-51,5	-29,7	-5,4	2,5	61
2019	50,7	12,3	56,6	-39,6	-33,1	-67,8	-95,7	-68,4	-29,5	70,5	53,9	20,1
2020	6,3	108,2	16,6	-85,5	-115,1	-94,9	-74,8	-92,8	5,1	51,2	-3,4	44,5

Tableau 3. Estimation du début et de la fin des saisons de drainage depuis 2003.

Saison de drainage	Début	Fin
2003 – 2004	28 septembre 2003	26 avril 2004
2004 – 2005	10 juillet 2004	26 avril 2005
2005 – 2006	21 juin 2005	31 mars 2006
2006 – 2007	11 octobre 2006	15 mars 2007
2007 – 2008	10 août 2007	11 avril 2008
2008 - 2009	3 octobre 2008	27 mars 2009
2009 – 2010	4 octobre 2009	6 mars 2010
2010 – 2011	29 juillet 2010	21 février 2011
2011 – 2012	17 novembre 2011	24 février 2012
2012 – 2013	24 septembre 2012	27 février 2013
2013 – 2014	21 septembre 2013	18 février 2014
2014 – 2015	15 juin 2014	16 mars 2015
2015 – 2016	11 octobre 2015	26 mars 2016
2016 – 2017	10 octobre 2016	27 février 2017
2017 – 2018	21 octobre 2017	12 février 2018
2018 – 2019	5 novembre 2018	2 avril 2019
2019 – 2020	24 septembre 2019	21 mars 2020

L'estimation de l'infiltration (eau utile) durant la saison de drainage 2019-2020 soit 303,5 mm est supérieure à celles des années précédentes (figure 4). Entre 2003 et 2006, l'infiltration était comprise entre 300 et 450 mm. Entre 2006 et 2018, elle n'était en moyenne que d'environ 170 mm. L'augmentation de l'eau utile durant la saison de drainage 2019-2020 est principalement liée à une augmentation de la durée de la saison de drainage et aux précipitations importantes observées en février 2020 (tableau 2).

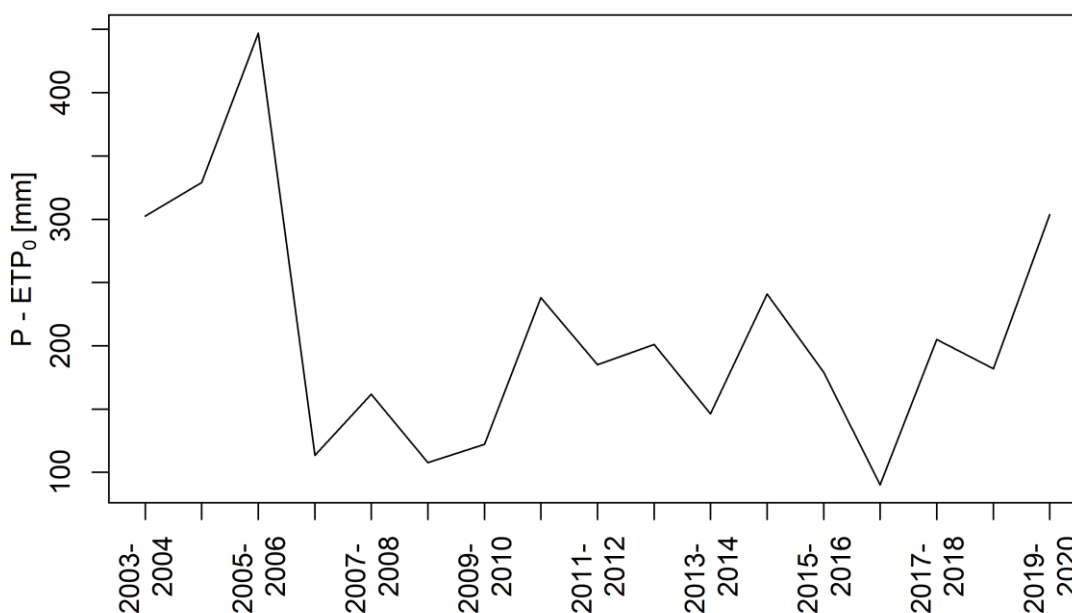


Figure 4. Évolution de l'eau utile (par saison de drainage) depuis 2003.

Il convient d'observer que les volumes d'eau récoltés annuellement aux exutoires des lysimètres entre 2006 et 2018 sont en moyenne de l'ordre de l'ordre de 100 mm (Dossier GRENeRA 19-05), soit 70 mm de moins que l'estimation de l'eau utile.

5. Suivi lysimétrique 2019-2020

Les lysimètres situés dans la région de Waremme font l'objet d'un suivi (bi-)mensuel. Quatre des six lysimètres sont encore suivis :

- Grosse Pierre Chemin de fer,
- Gros Thier Bovenistier,
- Sole 4 et
- Haute Bova.

5.1. Grosse Pierre Chemin de fer

Le lysimètre a été installé en juillet 2003 dans la parcelle. En 2019, la parcelle était emblavée de pomme de terre. Du froment a ensuite été semé en automne 2019.

La culture de pomme de terre a été fertilisée le 14 mai et le 11 juillet 2019 par respectivement 106 uN (minérale) et 8 uN (urée).

L'APL a été mesuré en octobre et en décembre 2019. Le reliquat azoté en sortie d'hiver (RSH) a par ailleurs été mesuré en janvier 2020 (tableau 4). La distribution du profil APL et RSH montre une lixiviation progressive du nitrate entre octobre 2019 et janvier 2020. Entre octobre et décembre, bien que l'APL 0 – 90 cm soit relativement stable, on constate un enrichissement de la couche 30 – 60 cm.

Le RSH montre une perte d'azote nitrique d'environ 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ entre le 2 décembre et le 20 janvier 2020.

Tableau 4. Dynamique de lixiviation de l'azote nitrique [kg N-NO₃⁻ ha⁻¹] dans le profil.

	15/10/2019	2/12/2019	20/01/2020
0 – 30	49	31	11
30 – 60	37	50	29
60 – 90	25	27	27
0 – 90	111	108	67

Pour rappel, aucun flux d'eau n'avait été observé à l'exutoire du lysimètre lors de la saison de drainage 2018 – 2019. Les premiers échantillons d'eau ont été récoltés le 16 janvier 2020 (< 1 l). Le 3 février, une dizaine de litres ont été récoltés. La concentration en nitrate était alors de 29 mg NO₃⁻ l⁻¹. Elle a donc légèrement augmenté par rapport aux dernières mesures de mars et avril 2018 (environ 20 mg NO₃⁻ l⁻¹).

Au total, environ 53 l ont été récoltés du lysimètre entre le 16 janvier et le 25 mars 2020 ; ce qui reste faible par rapport à ce qui a déjà été observé par le passé (Dossier Grenera 19-05).

La perte d'azote observée durant la saison de drainage 2019-2020 est donc d'environ 3,5 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹. Les 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ perdu entre le 2 décembre et le 20 janvier n'ont donc pas encore été observés à 2 m de profondeur.

La culture de betterave installée en 2018 après la double culture de légumes (pois – haricots) qui avait laissé des APL élevés (> 100 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) et la sécheresse observée en 2018 et 2019 ont

vraisemblablement eu un impact positif sur la qualité de l'eau car aucune augmentation sensible de la concentration en nitrate n'est observée depuis 2018 (figure 5).

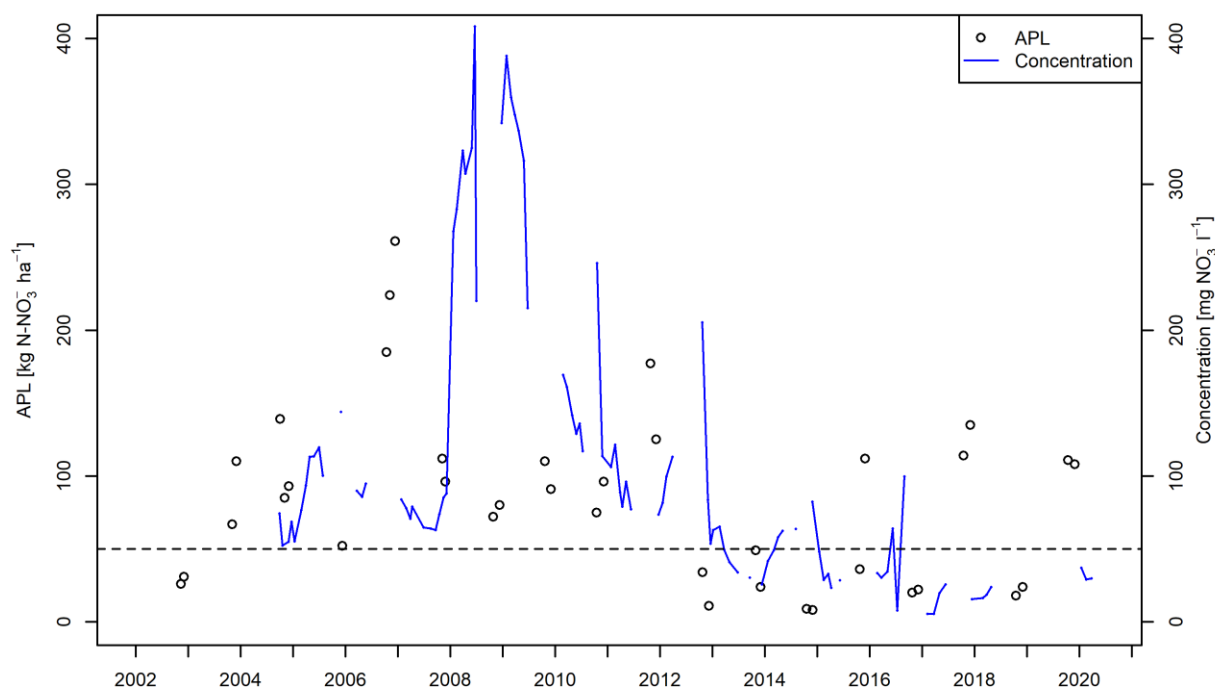


Figure 5. Évolution de la concentration en nitrate dans l'eau et des APL depuis 2003 sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de fer.

5.2. Gros Thier Bovenistier

Le lysimètre a été installé août 2003 dans la parcelle. En 2019, la parcelle était emblavée de betterave. La parcelle n'a pas été couverte après la récolte de la culture de betterave.

La culture a été fertilisée le 26 mars 2019 et 11 juillet 2019 par respectivement 58 uN (minérale) et 9 uN (urée). Le conseil de fertilisation

L'APL a été mesuré en octobre et en décembre (tableau 5). Les niveaux d'APL sont assez faibles ; en moyenne 23 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹. Les valeurs par couche montrent une lixiviation d'au moins 7 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Tableau 5. Dynamique de lixiviation de l'azote nitrique [kg N-NO₃⁻ ha⁻¹] dans le profil.

	17/10/2019	2/12/2019
0 – 30	11	8
30 – 60	12	7
60 – 90	4	5
0 – 90	27	20

Aucun flux d'eau n'a été récolté à l'exutoire du lysimètre durant la saison de drainage 2019 – 2020. Une augmentation d'environ 30 mg NO₃⁻ l⁻¹ (de 25 à 55 mg NO₃⁻ l⁻¹) avait été observée durant la saison de drainage 2018 – 2019 à la suite de la double culture légumière qui avait laissé des APL élevés (en

moyenne $220 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) (figure 6). Le suivi de la teneur en azote nitrique du profil de sol montre qu'au moins $100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ ont été lixiviés entre décembre 2018 et mars 2019. Depuis l'hiver 2018, l'équivalent d'environ $7 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ ont été quantifiés à l'exutoire du lysimètre. Il sera donc important de suivre l'évolution de la concentration en nitrate et des flux d'eau à l'exutoire de ce lysimètre au cours des prochaines saisons de drainage pour évaluer l'efficacité du prélèvement d'azote par la culture de betterave à des profondeurs comprises entre 90 cm et 2 m.

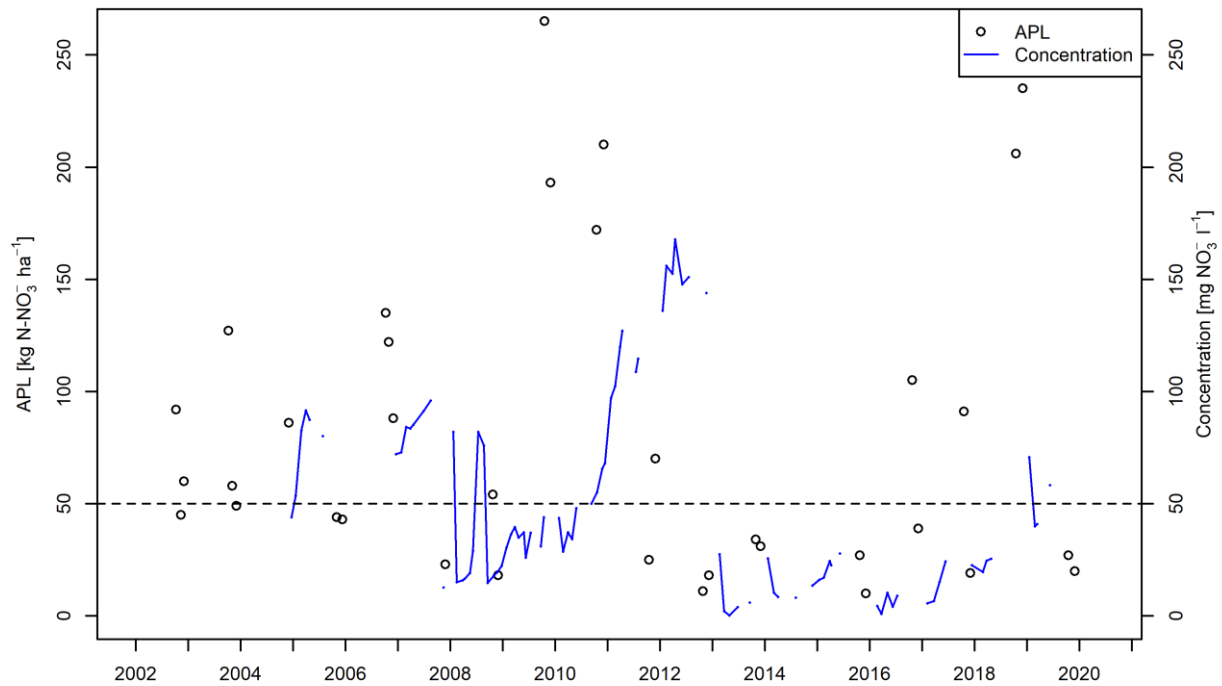


Figure 6. Évolution de la concentration en nitrate dans l'eau et des APL depuis 2003 sur la parcelle Gros Thier Bovenistier.

5.3. Sole 4

Le lysimètre a été installé en août 2003 dans la parcelle. En 2019, la parcelle était emblavée par une double culture de légumes (fèves et épinards). Le sol n'ayant pas été travaillé au cours de l'hiver 2019-2020, des repousses d'épinard ont pu se développer au cours de cette période.

Une dose starter de 38 uN a été apportée le 25 avril 2019 sur la culture de fèves. La culture d'épinards a été fertilisée par deux apports : 90 uN le 31 juillet et 37 uN le 16 août 2019.

Les APL observés sur cette parcelle montraient des niveaux assez faibles (tableau 6) compte tenu de la spéculation mais logiques vu la présence de repousses d'épinard en automne. La teneur en azote nitrique a diminué d'environ $20 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ dans la couche 30 – 90 cm entre le 17 octobre et le 5 décembre. En parallèle, elle a augmenté d'environ $20 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ dans la couche 0 – 30 cm suite au labour de la parcelle. Les processus de minéralisation (en surface) et de lixiviation (en profondeur) ont donc opéré simultanément durant l'automne 2019. Au moins $20 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ ont quitté la couche 0-90 cm par lixiviation durant cette même période.

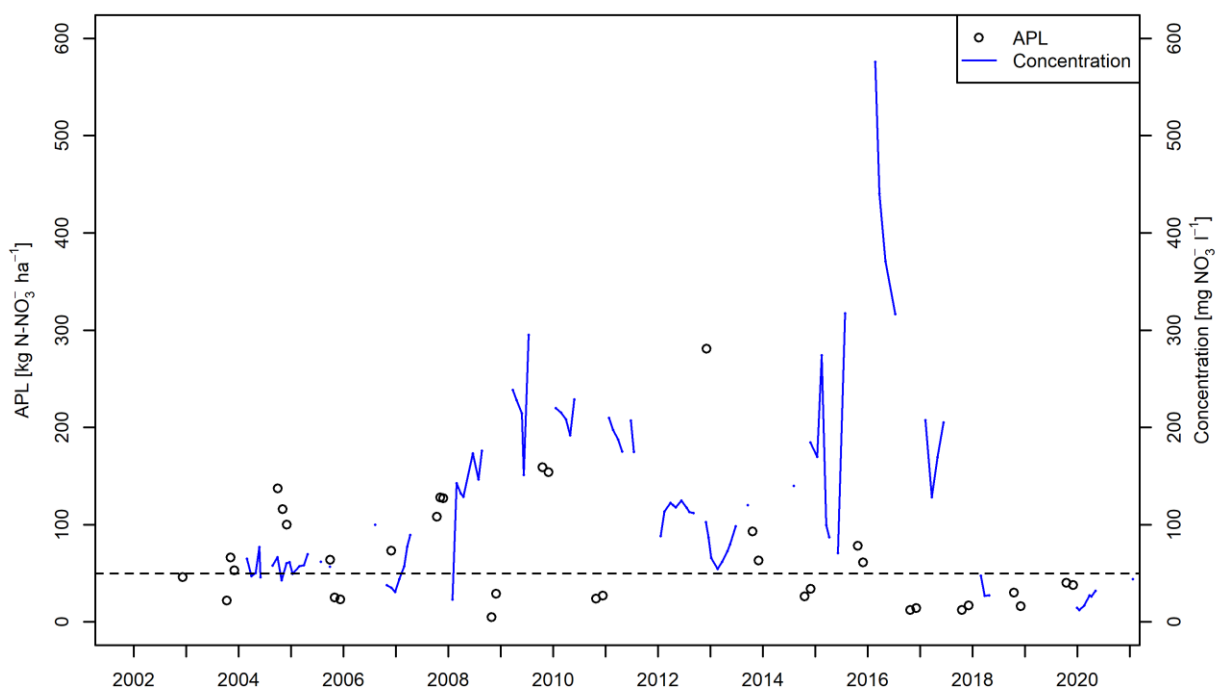
Tableau 6. Dynamique de lixiviation de l'azote nitrique [kg N-NO₃ ha⁻¹] dans le profil.

	17/10/2019	5/12/2019
0 – 30	3	21
30 – 60	34	11
60 – 90	3	6
0 – 90	40	38

Les premiers échantillons d'eau de la saison de drainage 2019 – 2020 ont été récoltés le 18 décembre 2019 (18,5 l à 16 mg NO₃⁻ l⁻¹). La saison de drainage a continué jusqu'en mai 2020. Au total, 214 l ont été récoltés à l'exutoire du lysimètre. Cet important volume d'eau récolté est (vraisemblablement) imputable aux volumes d'eau apportés par irrigation.

La concentration en nitrate est restée sous les 20 mg NO₃⁻ l⁻¹ jusqu'à la moitié du mois de février. Au début du mois de mars, elle a augmenté d'environ 10 mg NO₃⁻ l⁻¹. Le suivi des volumes et des concentrations en nitrate permet d'estimer à 14 kg N-NO₃ ha⁻¹ la perte d'azote par lixiviation (sous la zone racinaire) durant la saison de drainage.

Le niveau d'APL faible observé en 2018 (environ 22 kg N-NO₃ ha⁻¹) laissé après la culture de froment et la CIPAN ont donc eu un effet positif sur la qualité de l'eau. Les APL (2019) ont conduit à une augmentation de la concentration en nitrate dans l'eau à partir de février 2020.

**Figure 7. Évolution de la concentration en nitrate dans l'eau et des APL depuis 2003 sur la parcelle Sole 4.**

5.4. Haute Bova

Le lysimètre situé dans la parcelle 'Haute Bova' a d'abord été installé dans une autre parcelle avant d'y être repositionné en 2009.

Du froment a emblavé la parcelle en 2019. Une CIPAN (phacélie et moutarde) a été installée durant l'automne 2019. La céréale a été fertilisée par deux apports de 70 uN les 26 mars et 27 avril 2019. Avant le semis de la CIPAN, 30 T ha⁻¹ de fumier ont été épandues soit 177 uN_{organique}.

Les APL assez élevés (tableau 7) sont imputables au faible développement de la CIPAN. L'enrichissement de la couche 60 – 90 cm entre octobre et décembre met en évidence le processus de lixiviation. La diminution de la teneur dans la couche 0 – 30 cm est le résultat combiné du prélèvement d'azote par la CIPAN et de la lixiviation.

Tableau 7. Dynamique de lixiviation de l'azote nitrique [kg N-NO₃⁻ ha⁻¹] dans le profil.

	15/10/2019	2/12/2019
0 – 30	69	9
30 – 60	41	23
60 – 90	4	27
0 – 90	114	59

Au total, 102 litres ont été récoltés à l'exutoire du lysimètre. La reprise du drainage a été observée au début du mois de mars ; environ 20 litres ont été récoltés le 2 mars. La fin du drainage a été constatée vers le 8 avril 2020 où 2,5 litres ont été récoltés.

À la reprise du drainage, la concentration se situait autour de 40 mg NO₃⁻·l⁻¹. La variabilité hebdomadaire de la concentration est assez importante. À la fin de la saison de drainage, elle était de 33 mg NO₃⁻ l⁻¹. La concentration en nitrate n'évolue pas de manière linéaire du début à la fin de la saison de drainage (figure 9).

Durant la saison de drainage, 5,4 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ ont été lixiviés jusqu'à l'exutoire du lysimètres. La différence d'APL entre octobre et décembre met en évidence une diminution de l'azote nitrate dans la zone racinaire. L'enrichissement de la couche 60 – 90 cm confirme le processus de lixiviation. La quantité d'azote lixivié n'est pas quantifiable mais vraisemblablement supérieure à 5,4 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

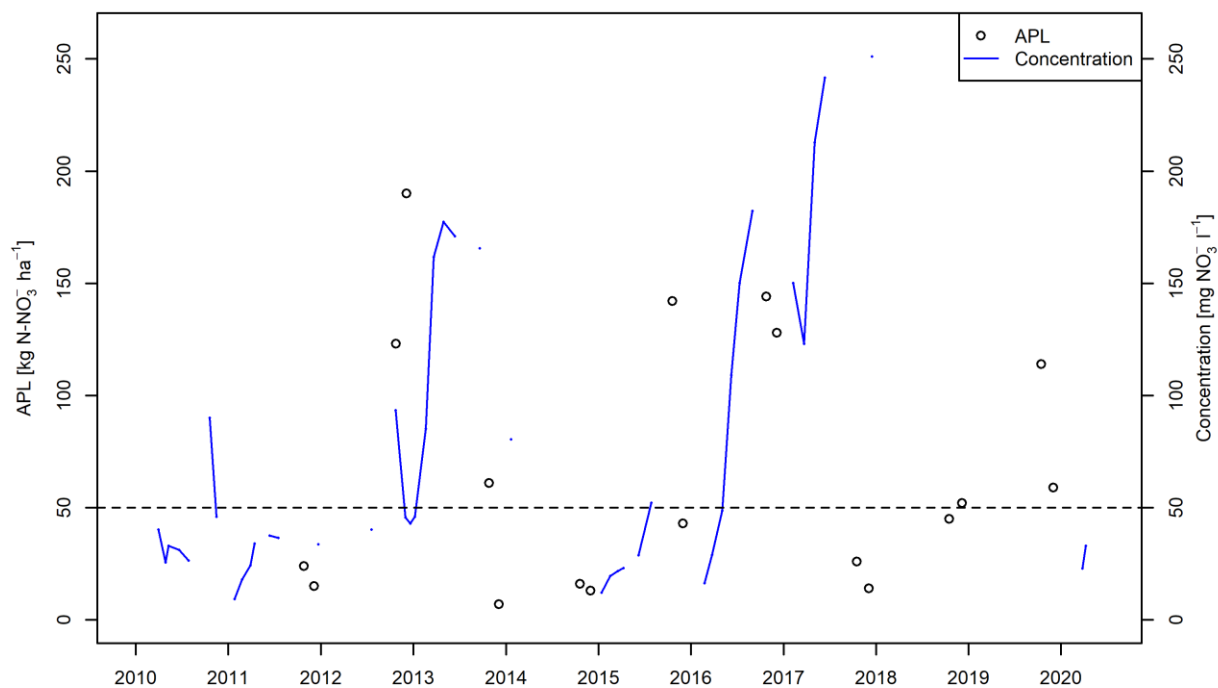


Figure 8. Évolution de la concentration en nitrate dans l'eau et des APL depuis 2010 sur la parcelle Haute Bova.

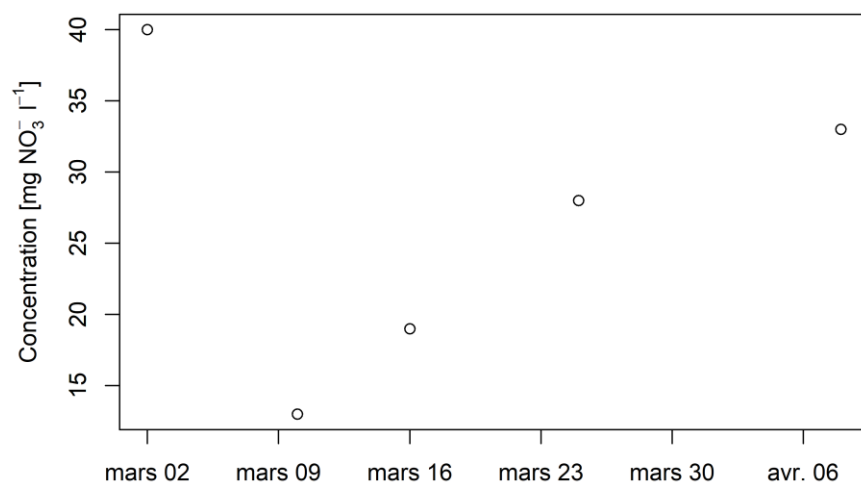


Figure 9. Évolution de la concentration en nitrate à l'exutoire du lysimètre Haute Bova durant la saison de drainage 2019-2020.

5.5. Sol Résidus

En 2019, la plateforme expérimentale Sol Résidus était occupée par une culture de maïs. Un apport de 100 uN a été réalisé le 29 avril sous la forme d'un composé NPK 12-9-22.

L'APL a été mesuré le 2 décembre 2019 dans les quatre objets de la plateforme. Les résultats sont tous inférieurs à la référence APL du maïs en 2019 ($69 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) (Vandenbergh *et al*, 2019).

Tableau 8. Résultats APL de la plateforme Sol Résidus

Couche \ Objet	Non labour & résidus out SR04	Labour & résidus out SR08	Non labour & résidus in SR12	Labour & résidus in SR16
0-30 cm	18	16	24	15
30-60 cm	11	23	15	25
60-90 cm	7	10	6	12
0-90 cm	36	49	45	52

Trente-deux échantillons d'eau ont été collectés aux exutoires de trois des quatre lysimètres entre le 18 décembre 2019 et le 6 mai 2020.

En raison d'un problème technique, le quatrième lysimètre (SR04 - objet 'non labour & résidus out') n'a pas collecté d'eau au cours de l'hiver. Ce lysimètre a été déterré en aout 2020 en vue de tenter de résoudre le problème.

Les trois lysimètres ont collecté entre 286 et 302 litres d'eau au cours de l'hiver 2019-2020. La concentration moyenne de l'objet SR08 est proche de $90 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ alors que les deux autres objets (SR12 et SR16) (résidus in) affichent une concentration moyenne de $30 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$. A ce stade, aucune explication ne peut être avancée pour expliquer ce différentiel. Vu la similitude des résultats APL et du développement du maïs dans les quatre objets, la cause est sans doute antérieure aux pratiques culturales de 2019.

En termes de flux, l'objet SR08 indique une lixiviation de l'ordre de 60 kg N ha^{-1} alors que les deux autres objets affichent une perte de l'ordre de $20 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

A ce stade, avec une seule année d'observation, il n'est pas possible d'interpréter ces résultats en fonction des variantes testées (gestion des résidus et du travail du sol). Les observations menées à l'avenir permettront certainement d'apporter un éclairage sur ces aspects.

6. Analyse des flux d'eau

Le tableau 3 (paragraphe 4) estimait le début et la fin de la saison de drainage sur base des données météorologiques du réseau PAMESEB. Le début et la fin de la saison de drainage 2019-2020 avaient respectivement été estimés aux 24 septembre 2019 et 21 mars 2020. L'eau utile calculée entre ces deux dates est de 275 mm (1 m^2).

Les premiers échantillons d'eau ont été récoltés à l'exutoire des lysimètres entre janvier 2020 et mars 2020. Pour rappel, aucun flux n'a été récolté à l'exutoire du lysimètre « Gros Thier Bovenistier ». Les derniers échantillons ont été récoltés entre la fin du mois de mars et le début du mois de mai 2020. Les flux totaux récoltés à l'exutoire des lysimètres de Hesbaye varient entre 53 et 175 l.

Les observations (entre 286 et 302 mm) menées sur les trois lysimètres installés sur le site de Gembloux Agro-Bio Tech (plateforme expérimentale Sol Résidus) indiquent des volumes similaires aux estimations (275 mm).

Les flux d'eau récoltés à l'exutoire des lysimètres sont influencés par les conditions météorologiques observées durant la saison de drainage mais également par les cultures (et principalement l'enracinement des cultures) ainsi que par l'irrigation des parcelles.

L'utilisation des données météorologiques synthétiques est donc un indicateur permettant d'évaluer le drainage potentiel mais il ne suffit pas.

7. Conclusions et perspectives

Depuis 2003, GRENeRA suit la percolation du nitrate à deux mètres de profondeur, en conditions de plein champ dans quatre parcelles limoneuses situées dans la région de Waremme.

L'analyse du nitrate dans les eaux de percolation, combinée à l'observation du reliquat azoté dans le sol et au suivi des cultures, intercultures et fertilisation azotée, permet d'évaluer l'impact des pratiques culturales sur la qualité de l'eau.

Les travaux de réfection des lysimètres situés à Gembloux Agro-Bio Tech et le suivi des lysimètres sur les parcelles expérimentales du projet sol résidus – sol couvert permettront de répondre à de nouvelles questions scientifiques diversifiées à propos notamment de :

- l'impact environnemental de la valorisation tardive des engrais de ferme sur prairie et ;
- l'impact des pratiques agricoles (gestion des résidus et du travail du sol) sur les transferts d'eau, d'azote et de produits (phytopharmaceutique dans le cadre d'autres conventions)

Les résultats présentés dans ce rapport mettent en évidence d'adéquation entre l'APL et la concentration en nitrate dans l'eau. Au vu des observations partielles (tous les lysimètres n'ont pas 'produit' un volume d'eau significatif), le ralentissement des flux d'eau dans le sol observé durant la saison de drainage précédente (2018-2019) n'a pas détérioré la relation entre APL et la concentration en nitrate. Le temps de transfert a simplement été ralenti. La culture de betterave, par son enracinement profond, a toutefois limité la lixivation.

A l'avenir, une mesure du potentiel de minéralisation sera réalisée en complément du dosage de l'APL. Cette mesure sera comparée aux reliquats sortis d'hiver (teneur en azote dans le sol au printemps) afin d'évaluer la pertinence de son utilisation dans la gestion environnementale de l'azote.

8. Bibliographie

Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2007). *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur : MRW - DGRNE. 736 pp.

Deneufbourg M., Vandenberghe C., Heens B., Marcoen J.M. (2013) *Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique et expérimentation en matière de fertilisation azotée et de successions culturales en cultures industrielles légumières*. Rapport final, juin 2013. Convention Service Public de Wallonie n° 3523/4. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech. 125p. + annexes.

http://www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/Doc1_fichiers/Rap_activites/Lysimetre/Rapport_final_2013.pdf.

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.

Goss M.J., Ehlers W., Unc A. (2010). The role of lysimeters in the development of our understanding of processes in the vadose zone relevant to contamination of groundwater aquifers. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (15-18), 913-926.

Lefébure K., Vandenberghe C., Bachelart F., Colinet G. 2017. *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en Agriculture*. Dossier GRENeRA **17-04**. 33 p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Bah B., Imbrecht O., Bachelart F., Lambert R., Colinet G., 2017. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2017 des membres scientifiques de Nitrawal*. Université catholique de Louvain et Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, 20p. + annexes.

Muller J-C. (1996). Trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). *INRA Editions*. 390 p.

Thorntwaite C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38, 55-94.

Vandenberghe C., Detoffoli M., Bachelart F., Imbrecht O., Colinet G. 2017. *Survey surfaces agricoles. Etablissement des références APL 2017*. Dossier GRENeRA **17-02**. 26p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Bah B., Imbrecht O., Bachelart F., Lambert R., Colinet G., 2017. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2017 des membres scientifiques de Nitrawal*. Université catholique de Louvain et Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, 20p. + annexes.

Vandenberghe C., Marcoen J.M. (2010). *Atelier nitrate-eau. Evaluation du Programme de Gestion Durable de l'Azote*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14 N° spécial 1, 125.

Vandenberghe C., De Toffoli M., Bachelart F., Imbrecht O., Lambert R., Colinet G., 2019. *Survey surfaces agricoles. Etablissement des références APL 2019*. Dossier GRENeRA-UCLouvain **19-03**, 28 p. In De Toffoli M.⁹, Hawotte F.¹⁰, Vandenberghe C.¹¹, Lefébure K.³, Durenne B.², Imbrecht O.¹, Bachelart F.³, Weickmans B.², Huyghebaert B.², Lambert R.¹, Colinet G.³, 2020. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2019 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau*. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech.

<https://www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/Bibliotheque/PROTECTeau/2019/DG%2019-03%20APL.pdf>

⁹ Earth and Life Institute (UCLouvain)

¹⁰ Centre wallon de Recherches agronomiques

¹¹ Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)

Vandenberghe C., Blondel A., Pierreux J., Dumont B., Pigeon O., Colinet C. (2019). *Evaluation du devenir des produits phytopharmaceutiques en plein champ en fonction des pratiques culturales pour le développement d'une agriculture éco responsable. Rapport d'activités 2018-2019*. Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech et Centre wallon de Recherches Agronomiques, 96 p.

<https://www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/Bibliotheque/SolPhyLy/rapportSolPhyLy18-19.pdf>

Vandenberghe C., Blondel A., Pierreux J., Dumont B., Pigeon O., Colinet C. (2020). *Evaluation du devenir des produits phytopharmaceutiques en plein champ en fonction des pratiques culturales pour le développement d'une agriculture éco responsable. Rapport d'activités 2019-2020*. Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech et Centre wallon de Recherches Agronomiques, 70 p.

<https://www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/Bibliotheque/SolPhyLy/rapportSolPhyLy19-20.pdf>