

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., 2019. *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en Agriculture*. Dossier GRENeRA **19-05**. 35 p. In De Toffoli M.¹, Hawotte F.¹, Vandenberghe C.¹, 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.

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
4. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....	10
5. SUIVI LYSIMÉTRIQUE 2018-2019.....	12
6. ANALYSE DES VOLUMES D'EAU PERCOLES	13
6.1. DONNEES METEOROLOGIQUES	13
6.2. BILAN HYDRIQUE	18
6.2.1. <i>Grosse Pierre Chemin de Fer</i>	18
6.2.2. <i>Gros Thier Bovenistier</i>	20
6.2.3. <i>Sole 4</i>	22
6.2.4. <i>Haute Bova</i>	24
6.3. CONCLUSIONS	25
7. INSTALLATION DE LYSIMÈTRES À GEMBLoux AGRO-BIO TECH.....	27
7.1. REMPLISSAGE.....	28
7.2. EXPERIMENTATION	28
8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	30
9. BIBLIOGRAPHIE.....	31
10. ANNEXES	32
10.1. ITINERAIRE CULTURAL DE LA PARCELLE « GROSSE PIERRE CHEMIN DE FER »	32
10.2. ITINERAIRE CULTURAL DE LA PARCELLE « GROS THIER BOVENISTIER »	33
10.3. ITINERAIRE CULTURAL DE LA PARCELLE « SOLE 4 »	34
10.4. ITINERAIRE CULTURAL DE LA PARCELLE « HAUTE BOVA »	35

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 qualitatif et quantitatif 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 APL¹ (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)². 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 Intermédiaire 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)³ des études précédentes pour l'ensemble des résultats, interprétations et conclusions.*

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).

¹ Azote Potentiellement Lessivable.

² Rapports disponibles sur www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/grenera_rapports_activites_lysimetres.htm.

³ Disponible sur https://www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/Bibliotheque/Lysimetres/Rapport_final_2013.pdf

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.

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.

Dans ce dossier, la saison de drainage 2018-2019 des lysimètres de Hesbaye sera analysée.

Par ailleurs, avec l'appui d'autres financements, GRENeRA suit depuis 2013 les flux ainsi que la concentration en produits phytomarchés de l'eau de percolation dans ces lysimètres.

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 Végémar⁴ 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 et le CPL Végémar, 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. Il reste donc 50 cm entre le sommet du lysimètre et le niveau du sol pour travailler le sol (labour...).

⁴ Centre Provincial Liégeois de productions VEGétales et MARaichères

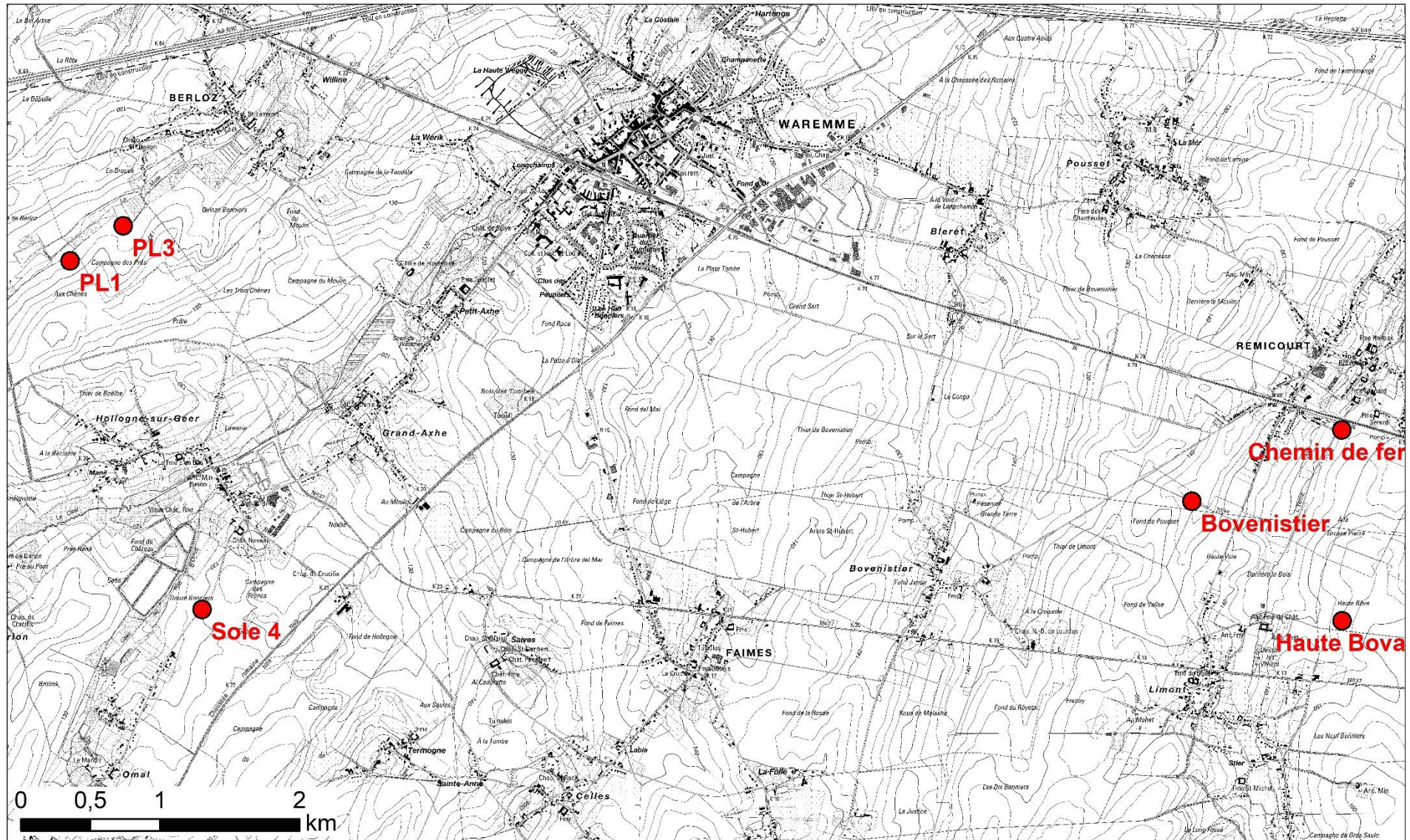


Figure 1. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Haute Bova, PL1, PL3 et Sole 4.

3.2. Gembloux Agro-Bio Tech

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).

4. Conditions météorologiques

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 les températures moyennes journalières et la somme des précipitations journalières. Avant d'être exploitées, ces données ont été agrégées à un pas de temps mensuel.

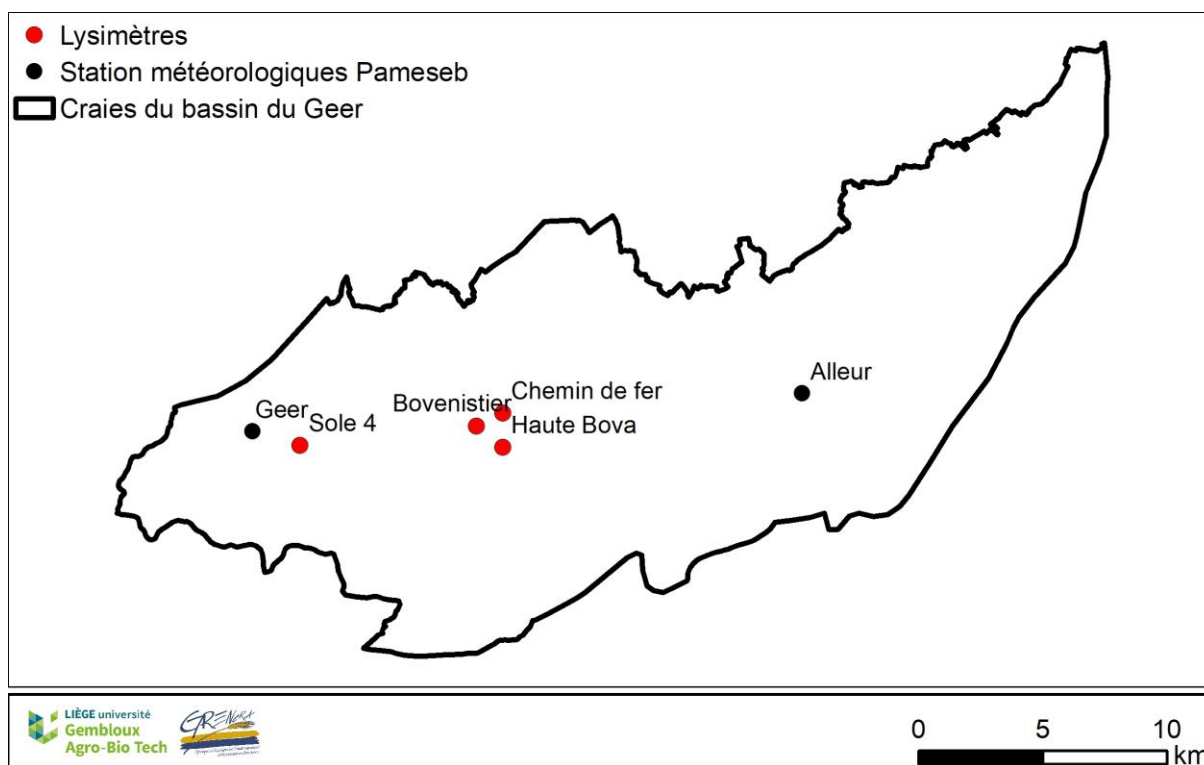


Figure 3. Proximité des stations météorologiques du réseau PAMESEB vis-à-vis des parcelles lysimétrées.

Comme on a pu le lire dans ce même dossier les années précédentes (Dossier GRENeRA 18-04), les températures relevées à la station IRM d'Uccle et celles relevées dans le bassin du Geer ne montrent des différences que quelques dixièmes de degrés. Les différences de précipitations étaient plus marquées, car liées à des phénomènes plus locaux.

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

Selon l'IRM⁵⁶ :

- **L'été 2018** était exceptionnellement chaud et anormalement sec. Le nombre de jours de précipitation était anormalement faible et la durée d'insolation était anormalement importante.
- **L'automne 2018** était caractérisé par des températures et des précipitations normales. Le nombre de jours de précipitation est anormalement faible et la durée d'insolation est anormalement élevée.
- **L'hiver 2018-2019** a été qualifié de relativement doux. La durée d'insolation était se situe parmi les 5 valeurs les plus élevées depuis 1981.
- **Le printemps 2019** était normal à tous points de vue.
- **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.

⁵ Institut Royal Météorologique. Source des données : <https://www.meteo.be/fr/climat/bilans-climatologiques/2019>

⁶ Définitions des niveaux d'anormalité

Niveaux d'anormalité	Phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les
Normal	< 6 ans
Anormal	6 ans
Très anormal	10 ans
exceptionnel	30 ans

5. Suivi lysimétrique 2018-2019

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.

Les quatre lysimètres de Gembloux ont également fait l'objet d'un suivi régulier.

Les dossiers « lysimètres » précédents établissaient clairement une relation entre le niveau d'APL et la teneur en nitrate à l'exutoire des lysimètres. Pour rappel, un retard de 6 à 18 mois (temps de transfert) était généralement observé (figure 4).

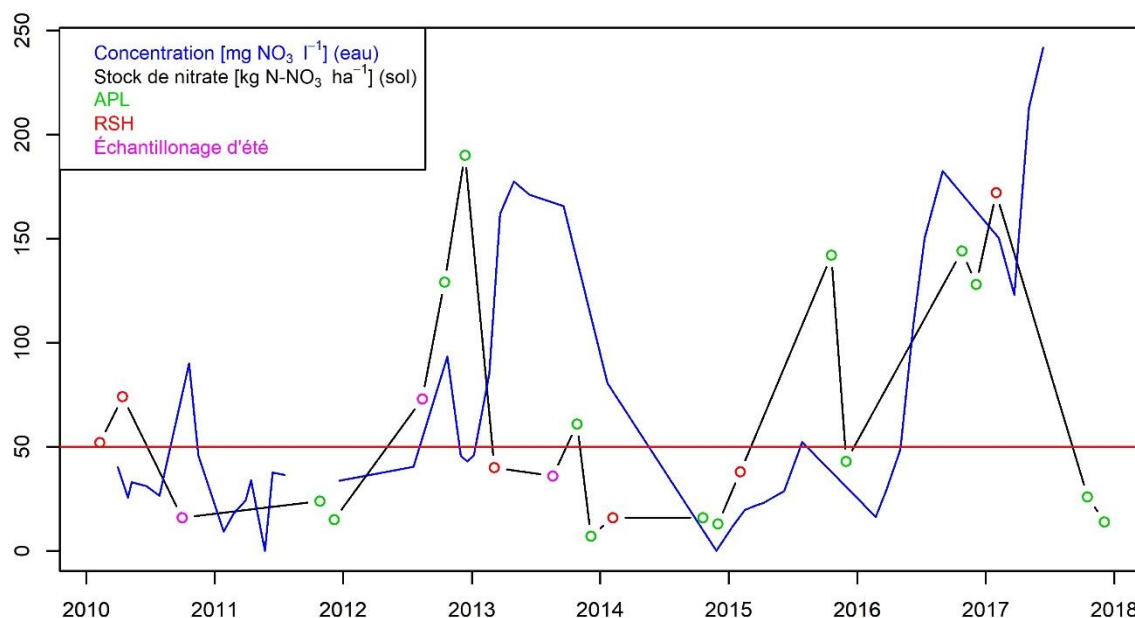


Figure 4. Évolution des concentrations en azote dans le sol, dans les eaux de percolation à la sortie du lysimètre « Haute Bova » (Source Dossier GRENeRA 17-04).

Depuis le début du suivi lysimétrique, les volumes cumulés récoltés à l'exutoire des lysimètres variaient à quelques exceptions près entre 80 et 250 litres par an.

Depuis 2018, les volumes récoltés sont bien en deçà de cette gamme de valeurs. Précisément, seulement 33 litres ont été récoltés à l'exutoire du lysimètre « Gros Thier Bovenistier ». Aucune percolation n'a été observée au travers des autres lysimètres, que ce soit à Gembloux ou en Hesbaye.

Les faibles percolations observées depuis plusieurs années pourraient à terme limiter la recharge des nappes aquifères. Cette observation sera analysée dans la suite du document.

6. Analyse des volumes d'eau percolés

Comme il a été expliqué précédemment la période de drainage s'étend généralement de novembre à mai. Des épisodes pluvieux printaniers exceptionnels ont déjà induit une percolation en dehors de cette période de drainage 'classique'.

Dans ce paragraphe, l'impact du climat et des pratiques culturales sur les volumes percolés à travers les lysimètres est étudié. Les lysimètres du site de Gembloux ne sont seulement suivis que depuis 2018. Par conséquent, ils ne seront pas analysés dans ce paragraphe.

6.1. Données météorologiques

Les données météorologiques (précipitation et évapotranspiration potentielle de référence) ont été fournies par le CRA-W⁷. Ces données couvrent la période allant du 1^{er} janvier 2003 au 31 décembre 2019. La majeure partie des données a été acquise sur la station de Geer. Entre le 1^{er} janvier 2003 et le 6 juillet 2005, les données proviennent cependant de la station de Alleur.

Sur base de ces données, les moyennes mensuelles des précipitations et de l'évapotranspiration ont été calculées (figures 5 et 6). Les précipitations sont plus ou moins réparties uniformément durant toute l'année. On observe cependant, une légère augmentation durant les mois d'été, de juin à août. C'est durant cette période que la variabilité des précipitations est la plus importante.

L'évapotranspiration est calculée par une série d'équations⁸ faisant intervenir la température de l'air, la vitesse du vent, la température humide et le rayonnement global. On constate sa tendance en forme de cloche. La variabilité de cette mesure est beaucoup plus faible que celle liée aux précipitations.

Pour rappel, la température humide est la température d'un thermomètre entouré d'un chiffon humide et légèrement ventilé. L'évaporation de l'eau du chiffon conduit donc à une diminution de la température mesurée par le thermomètre. La température humide est inférieure à la température classique. Les deux températures sont identiques lorsqu'il n'y a pas d'évaporation ; lorsque l'air est à saturation.

La différence de ces deux courbes permet d'évaluer globalement l'étendue de la période de drainage ; lorsque la différence ($P - ETP_0$) est positive (figure 7). On constate que la période de drainage commence généralement entre les mois de septembre et d'octobre et qu'elle s'achève entre les mois de mars et avril. La distribution (1^{er} et 3^e quartiles) de la différence ($P - ETP_0$) illustre le fait que la période de drainage peut subir un retard ou une avance à son début et sa fin. Il arrive également que la différence $P - ETP_0$ soit positive durant les mois estivaux.

⁷ Source : CRA-W/Réseau Pameseb

⁸ <https://www.pameseb.be/old/etp.html>

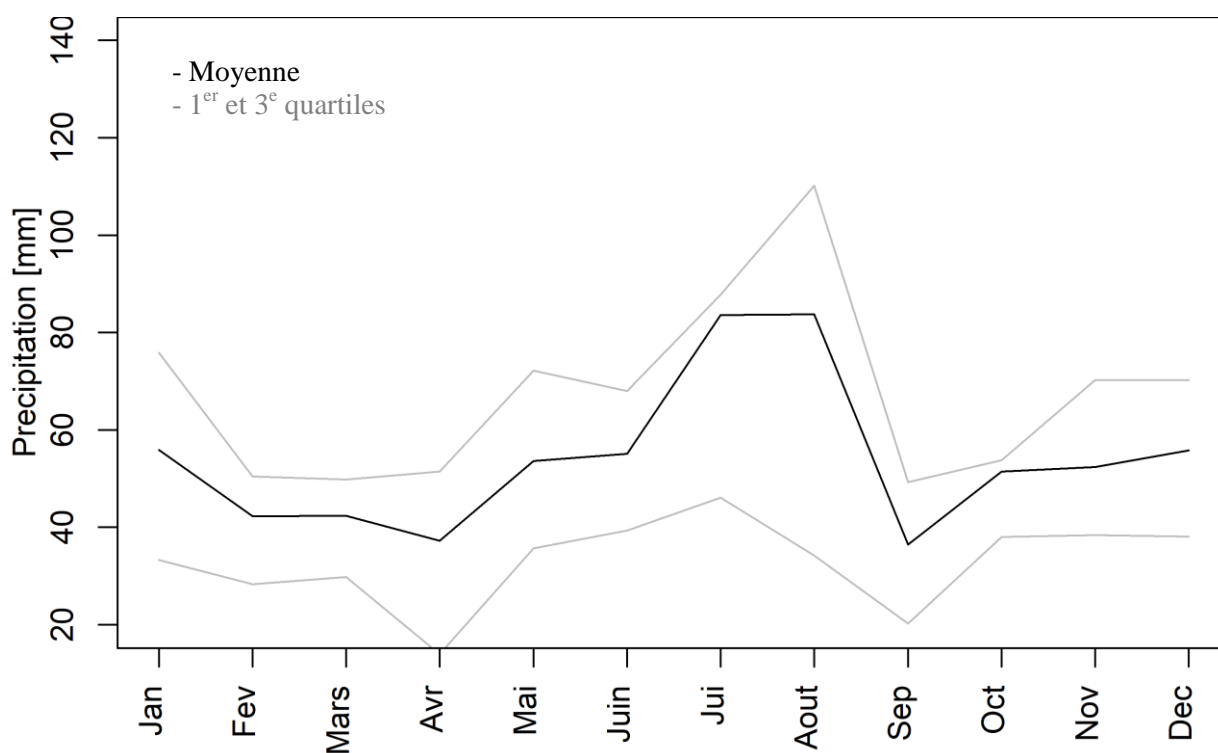


Figure 5. Moyennes (trait noir) et 1^{er} et 3^e quartiles (traits gris) de la distribution des précipitations mensuelles.

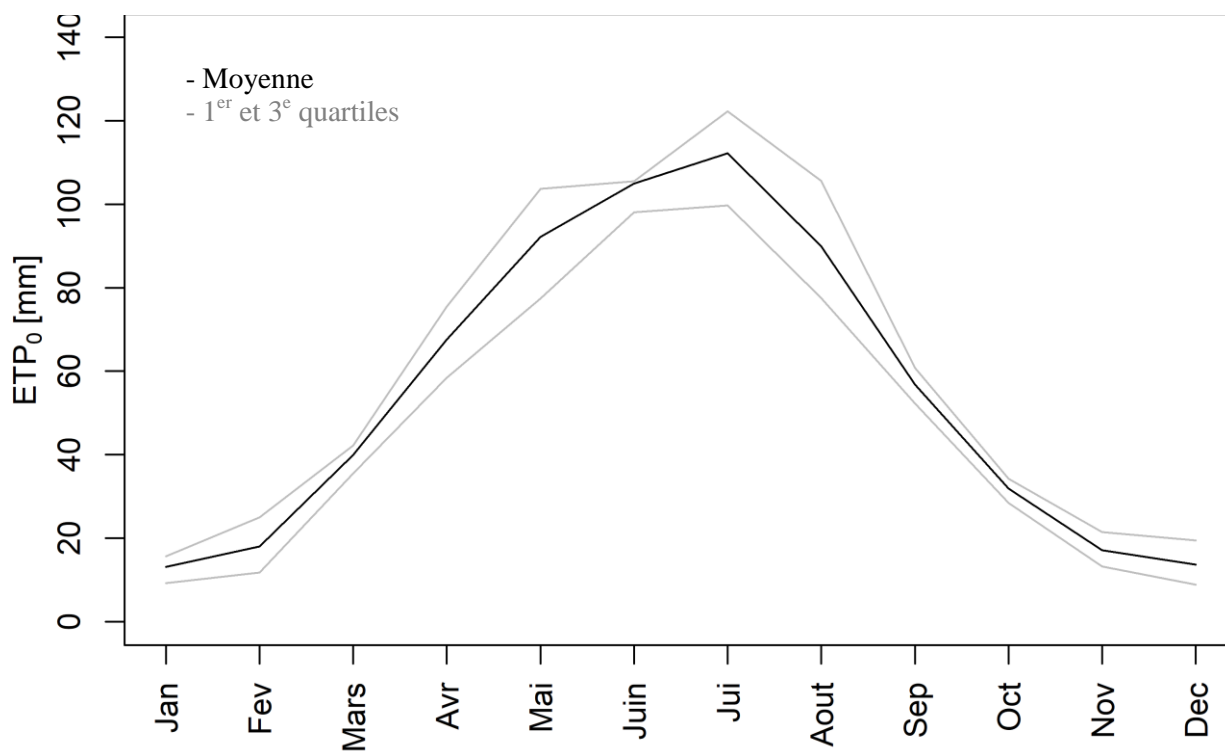


Figure 6. Moyennes (trait noir) et 1^{er} et 3^e quartiles (traits gris) de la distribution de l'évapotranspiration mensuelle.

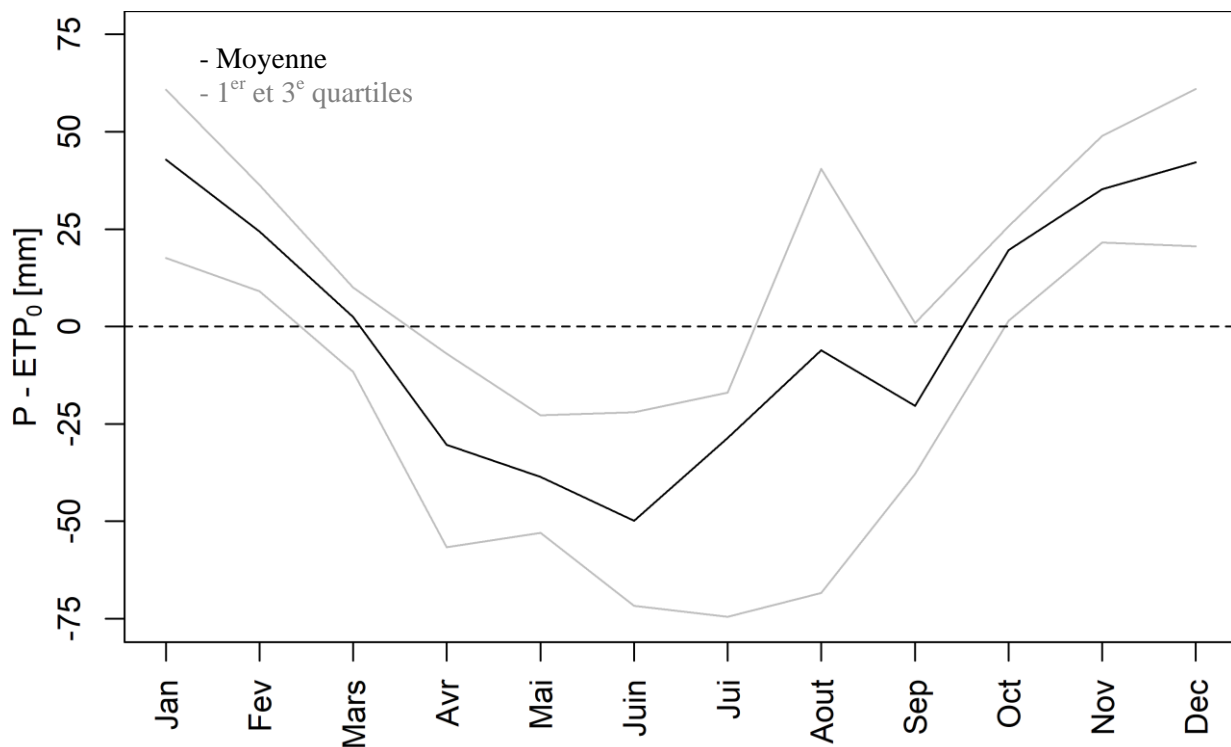


Figure 7. Moyenne (trait noir) et 1^{er} et 3^e quartiles (traits gris) de la distribution de l'eau utile ($P - ETP_0$) mensuelle.

À partir de données météorologiques ($P - ETP$) agrégées à un pas de temps mensuel (tableau 1), on peut estimer globalement le début et la fin des saisons de drainage ; la période de recharge est montrée en bleu. Les mois durant lesquels l'eau utile est négative en période de drainage et est positive en dehors des périodes de drainage sont marqués en gris.

Afin de définir au mieux le début et la fin de la période de drainage, les données mensuelles d'eau utile ont été interpolées 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 2).

À titre d'exemple, le début de la saison de drainage 2007-2008 a lieu entre le 15 juillet 2007 (où l'eau utile est de -31 mm) et le 15 août 2007 (où l'eau utile est de 5,2 mm). Par proportionnalité on peut calculer que l'eau utile est nulle le 10 août 2007.

Notons que ces estimations ne tiennent pas compte des apports d'eau par irrigation.

Enfin, terminons par ces deux remarques :

1. l'évapotranspiration est calculée pour un gazon bien hydraté et en pleine croissance, ce qui ne correspond pas aux cultures en place ;
2. trois des quatre parcelles étudiées font l'objet d'une irrigation. L'irrigation ne comble pas entièrement le besoin en eau des cultures. Elle permet cependant de garder le sol plus humide qu'en absence d'irrigation et permet donc une reprise plus précoce du drainage en début de saison de drainage. Les cultures principalement irriguées sont les cultures légumières et les pommes de terre. L'irrigation de ces cultures est très variable. Elle peut aller de rien à 4 ou 5 apports pouvant aller jusqu'à 20 mm. Lors de printemps sec, certaines cultures comme le lin ou les betteraves sont également irriguées pour favoriser la germination (Communication orale : avril 2020, Benoît Heens).

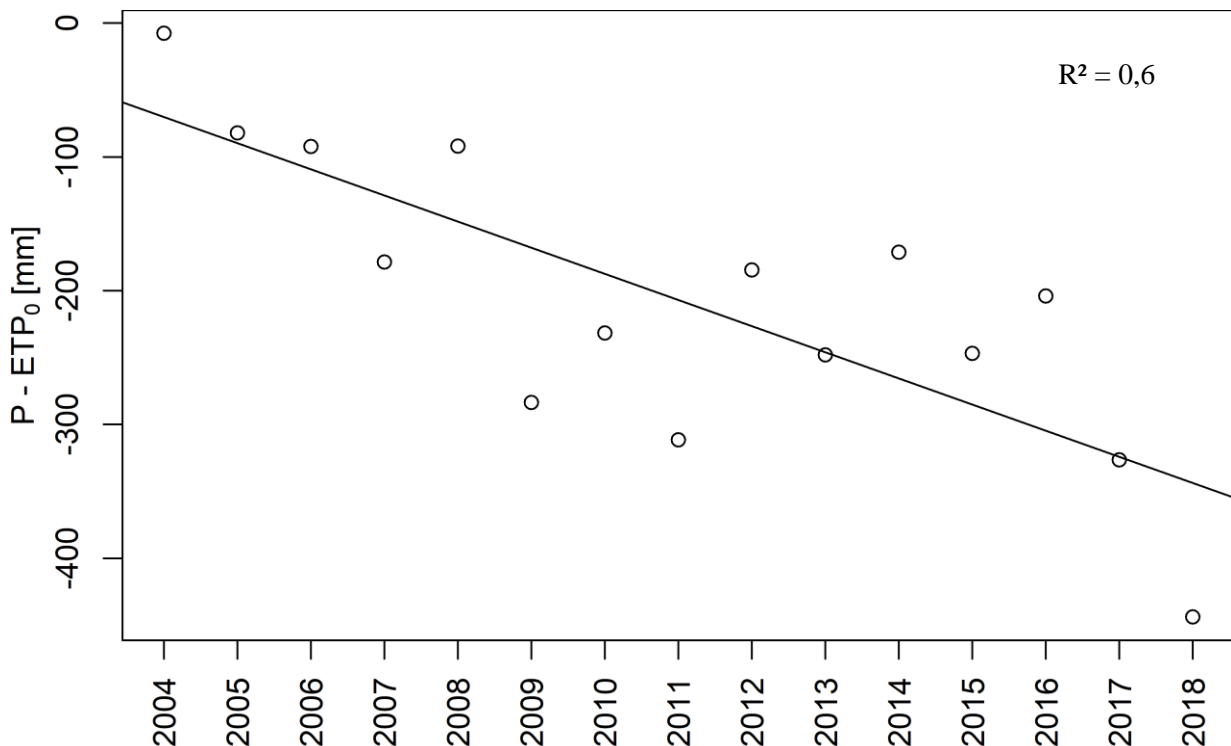
Tableau 1. Eau utile (P – ETP₀) mensuelle [mm] calculée depuis janvier 2003.

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	20,6

Tableau 2. 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

La somme des différences journalière $P - ETP_0$ établie sur l'ensemble de la période estivale montre des étés de plus en plus secs (figure 8). Le coefficient de détermination (R^2) est de 0,6 (p -value $< 0,001$).

Figure 8. Évolution de la différence $P - ETP_0$.

6.2. Bilan hydrique

Au paragraphe 6.1, le début et la fin de la saison de drainage ont été estimés sur base de l'évolution de l'eau utile définie par $P - ETP_0$.

Une fois passée la zone racinaire, l'eau du sol n'est presque plus soumise à l'influence de l'évapotranspiration. Elle peut donc s'écouler vers la profondeur en suivant le gradient de pression hydrique. Ceci explique la raison pour laquelle on constate que des flux d'eau sont encore observés à l'exutoire des lysimètres après la fin de la saison de drainage.

Les bilans de flux d'eau récupérés à l'exutoire des lysimètres sont donc évalués à partir du premier jour de la saison de drainage jusqu'au jour précédent le début de la saison suivante. Cette manière de procéder permet de tenir compte des conditions météorologiques particulières observées annuellement.

Les lysimètres ont pour la plupart été installés au cours de l'année 2003. Les flux de la saison de drainage 2003-2004 ne seront pas analysés, car le sol perturbé par l'installation ne s'était pas encore remis en place.

6.2.1. Grosse Pierre Chemin de Fer

La figure 9 illustre l'évolution des flux à l'exutoire du lysimètre depuis son installation. En moyenne, 107 litres sont récoltés annuellement à l'exutoire du lysimètre. La parcelle est irriguée (tableau 3) cependant, les données relatives à l'irrigation sont lacunaires. L'ensemble des irrigations connues a eu lieu en dehors des saisons de drainage.

En 2007, la parcelle était emblavée d'une culture de carotte. Les conventions « Lysimètre » finançant le suivi expérimental sur les parcelles équipées de lysimètre se sont arrêtées entre le 31 mai 2007 et le 1^{er} janvier 2008. Les données relatives à l'irrigation n'ont à l'époque pas été renseignées. Par la suite, plus aucune expérimentation n'a été mise en place sur ces parcelles. Les données relatives à l'irrigation n'ont donc pas été recueillies.

Durant les saisons de drainage 2011 – 2012 et 2018 – 2019, des flux d'eau inférieurs au 10^e centile (environ 38 litres) ont été observés. Ils étaient respectivement de 36 et 0 litres. De faibles percolations sont causées soit

- par un assèchement important du profil durant la première partie de la saison de drainage, typiquement avant décembre (prélèvement d'eau par les cultures [betteraves, CIPAN, ...])
- par un assèchement important du profil durant la seconde partie de la saison de drainage (printemps sec, prélèvement d'eau par les cultures céréalières, ...).

Sur la parcelle « Grosse Pierre Chemin de Fer »⁹, une culture de pommes de terre et une culture de froment ont été installées durant la saison de drainage 2011 – 2012. Avant le semis du froment, une inter-culture courte (moutarde) avait été semée. Pour ce qui est de la saison de drainage 2018 – 2019, une culture de betterave a été installée en 2018. La parcelle est restée nue jusqu'à la plantation de la culture de pommes de terre, au printemps 2019.

Le flux était également faible lors de la saison de drainage 2005 – 2006, où seulement 41 litres ont percolé. Lors de cette saison de drainage, une chicorée a été installée en 2005 et du froment a été semé lors de l'hiver 2005 – 2006.

⁹ Tableau synthétique des cultures sur la parcelle « Grosse Pierre Chemin de Fer » à l'annexe 10.1

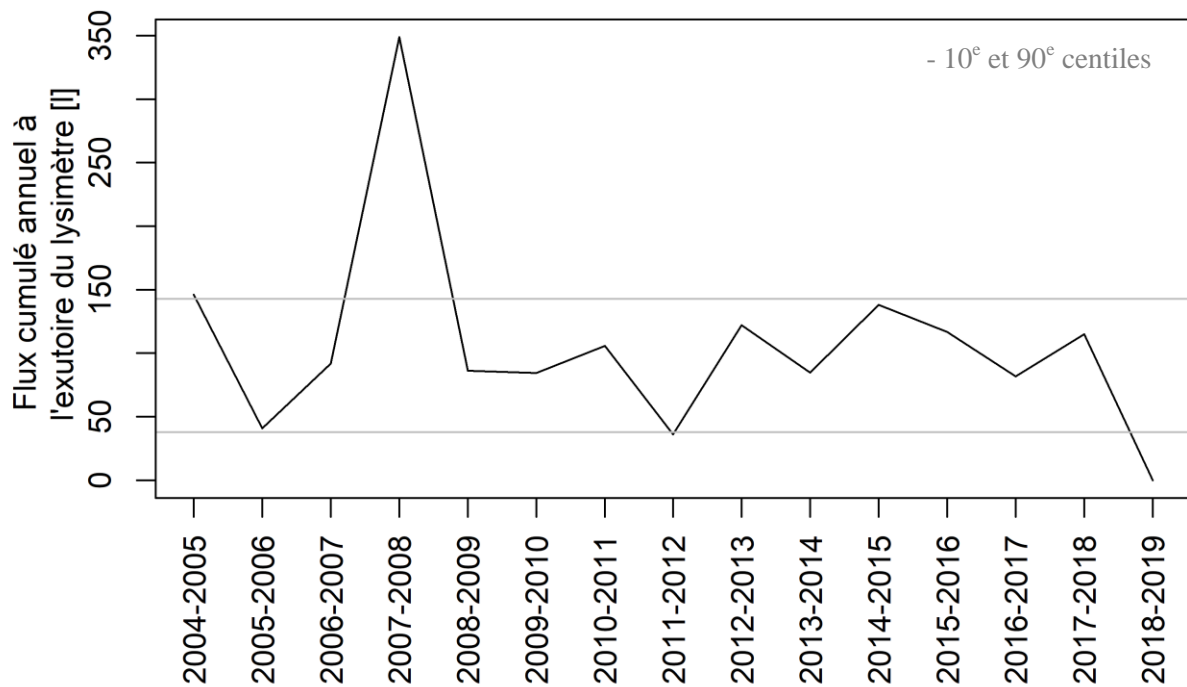


Figure 9. Flux à l'exutoire du lysimètre Grosse Pierre Chemin de Fer.

Tableau 3. Irrigations appliquées sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de Fer.

Année	Irrigation [mm]
2003	79
2004	45
2005	0
2006	0
2007	*
2008	0
2009	100
2010	0
2011	60
2012	0
2013	* (vraisemblablement 0 car lin et mai-juin relativement pluvieux)
2014	*
2015	*
2016	* (vraisemblablement 0 car froment et printemps pluvieux)
2017	*
2018	*
2019	100

* manque d'informations

Des CIPAN ont été installées à l'aplomb du lysimètre en :

- 2004, une moutarde, après une double culture de légumes (épinards – haricots) ;
- 2007, une moutarde, après une culture de carotte ;
- 2012, une association de trèfle et d'avoine, après une culture de froment et ;
- 2013, une moutarde, après une culture de lin ;

Les saisons de drainage 2004 – 2005 et 2007 – 2008 ont conduit à des flux d'eau supérieurs au 90^e centile de la distribution des flux (environ 143 litres) ; respectivement 146 et 349 litres. Les doubles cultures (en 2004) ont été irriguées. En 2007, aucune donnée relative à l'irrigation n'a été recueillie, mais il est vraisemblable que la parcelle ait été irriguée.

Les conditions météorologiques entre saisons de drainage (nombre de jours durant lesquelles on observe des précipitations, durée de la saison de drainage) expliquent en partie les différences de flux observées.

Le rapport moyen entre le volume d'eau récolté à l'exutoire du lysimètre et la somme des précipitations durant la saison de drainage est de 33 %. La gamme de variation allant de 0 % (observé durant la saison 2018 – 2019) à 81 % (observé durant la saison 2007 – 2008). On peut calculer le même ratio en tenant compte également des précipitations estivales. La moyenne est alors de 16 %.

Les saisons de drainage qui ont montré de faibles volumes de percolation (2005 – 2006, 2011 – 2012 et 2018 – 2019) montrent également une utilisation relative de l'eau plus importante, car la proportion d'eau percolant est plus faible que la moyenne.

6.2.2. Gros Thier Bovenistier

La figure 10 illustre l'évolution des flux à l'exutoire du lysimètre depuis son installation. En moyenne, 97 litres sont récoltés annuellement à l'exutoire du lysimètre. La parcelle est irriguée (tableau 4) cependant, comme pour la parcelle « Grosse Pierre Chemin de Fer », les données relatives à l'irrigation sont lacunaires.

Durant les saisons de drainage 2005 – 2006, et 2018 – 2019, des flux d'eau inférieurs au 10^e centile (environ 16 litres) ont été observés. Ils étaient respectivement de 9 et 0 litres.

Sur la parcelle « Gros Thier Bovenistier »¹⁰, des carottes ont été cultivées en 2005. La parcelle est restée nue jusqu'à la plantation de la culture de pommes de terre (2006). En 2018, la parcelle a été cultivée pour la production des légumes (pois et haricots).

¹⁰ Tableau synthétique des cultures sur la parcelle « Gros Thier Bovenistier » à l'annexe 10.2

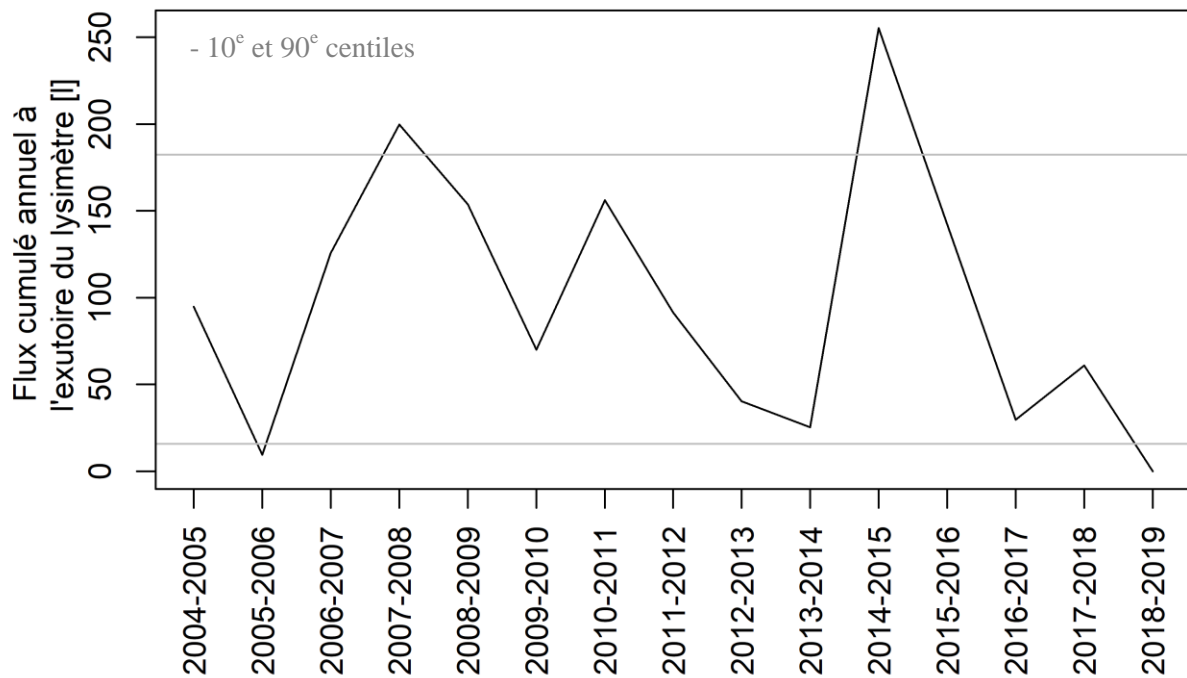


Figure 10. Flux à l'exutoire du lysimètre Gros Thier Bovenistier.

Tableau 4. Irrigations appliquées sur la parcelle Gros Thier Bovenistier.

Année	Irrigation [mm]
2003	0
2004	45
2005	33
2006	75
2007	*
2008	0
2009	106
2010	20
2011	15
2012	0
2013	*
2014	*
2015	*(vraisemblablement 0 car froment)
2016	*
2017	*
2018	*
2019	*

* manque d'informations

Des CIPAN ont été installées sur la parcelle, principalement de la moutarde sauf en 2015 où la moutarde a été associée à de la phacélie, en :

- 2008 après une culture de froment ;
- 2011 après une double culture de légumes (poireau – pois)
- 2015 après une culture de froment et ;
- 2017 après une culture de lin.

L'installation des CIPAN n'a pas conduit systématiquement à une diminution des flux. Par exemple, on observe, lors de la saison de drainage 2008 – 2009 durant laquelle du froment et une CIPAN ont été installés, une percolation d'environ 154 litres. La même succession de culture a conduit lors de la saison de drainage 2015 – 2016 à une percolation de 142 litres.

Des flux supérieurs au 90^e centile de la distribution des flux (environ 143 litres) ont été observés durant les saisons de drainage 2007 – 2008 et 2014 – 2015. Les flux étaient respectivement de 200 et de 255 litres. Les cultures qui ont précédé ces saisons de drainage étaient :

- en 2007, une culture de betteraves et ;
- en 2014, une culture de pommes de terre.

De la même manière que pour la parcelle « Grosse Pierre Chemin de Fer », on peut calculer le rapport entre le volume d'eau récolté à l'exutoire du lysimètre et les précipitations ainsi que des volumes irrigués.

Notons qu'en 2004, 45 mm ont été apportés sur la parcelle, 30 de ces 45 mm ont été apportés durant la saison de drainage 2004 – 2005, les 15 autres millimètres ont été apportés avant que la saison de drainage ne commence. Et qu'en 2005, 33 mm ont été apportés sur la parcelle, 18 de ces 33 mm ont été apportés durant la saison de drainage 2005 – 2006. Les autres irrigations ont eu lieu en dehors des saisons de drainage.

Le rapport moyen entre le volume d'eau récolté à l'exutoire du lysimètre et la somme des précipitations¹¹ durant la saison de drainage est 30 %. La gamme de variation allant de 0 % (observé durant la saison 2018 – 2019) à 72 % (observé durant la saison 2008 – 2009). En calculant le bilan en tenant compte de la période précédant la saison de drainage (et de l'irrigation), la moyenne du ratio est de 15 %.

Les saisons de drainage qui ont montré de faibles volumes de percolation (2005 – 2006 et 2018 – 2019) montrent également une utilisation relative de l'eau plus importante, car la proportion d'eau percolant est plus faible que la moyenne, respectivement 1,1 et 0 %.

6.2.3. Sole 4

La figure 11 illustre l'évolution des flux à l'exutoire du lysimètre depuis son installation. En moyenne, 94 litres sont récoltés annuellement à l'exutoire du lysimètre. La parcelle est irriguée (tableau 5) cependant, comme pour les deux parcelles précédentes, les données relatives à l'irrigation sont lacunaires. L'ensemble des irrigations connues a eu lieu en dehors des saisons de drainage.

¹¹ Tient également compte des irrigations connues.

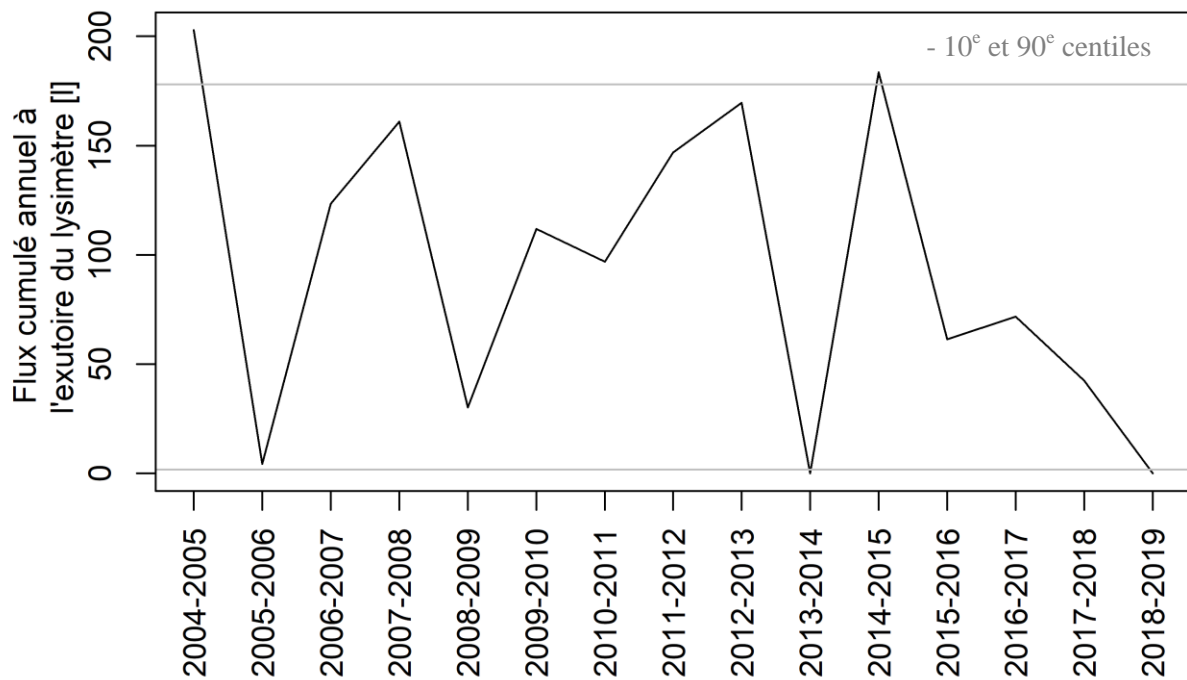


Figure 11. Flux à l'exutoire du lysimètre Sole 4.

Tableau 5. Irrigations appliquées sur la parcelle Sole 4.

Année	Irrigation [mm]
2003	0
2004	0
2005	0
2006	161
2007	* (vraisemblablement 0 car froment)
2008	0
2009	40
2010	0
2011	55
2012	0
2013	*
2014	*
2015	*
2016	* (vraisemblablement 0 car froment et printemps pluvieux)
2017	*
2018	*
2019	* (vraisemblablement 0 car froment)

* manque d'informations

Durant les saisons de drainage 2013 – 2014 et 2018 – 2019, des flux d'eau inférieurs au 10^e centile (environ 2 litres) ont été observés. Durant ces saisons de drainage, aucune percolation n'a été observée.

Notons qu'au cours de la saison de drainage 2005 – 2006, 4 litres ont été récoltés.

Sur la parcelle « Sole 4 »¹², une culture de froment suivie par une CIPAN (phacélie) a été installée durant la saison de drainage 2005 – 2006. La saison de drainage 2013 – 2014 marquait la dernière des trois années de pépinière. Enfin, durant la saison de drainage 2018 – 2019, la parcelle était couverte par du froment suivi d'une CIPAN (phacélie).

A contrario, des flux d'eau supérieurs au 90^e centile de la distribution des flux (environ 178 litres) ont été observés pendant les saisons de drainage 2004 – 2005 et 2014 – 2015. Ils étaient respectivement de 203 et 184 litres.

Durant la saison de drainage 2004 – 2005, des haricots ont été récoltés et des céréales ont été semées. Sur la saison de drainage 2014 – 2015, la parcelle a été emblavée par du maïs, et laissée nue durant l'hiver.

Le rapport moyen entre le volume d'eau récolté à l'exutoire du lysimètre et la somme des précipitations durant la saison de drainage est 29 %. La gamme de variation allant de 0 % (observé durant les saisons 2013 – 2014 et 2018 – 2019) à 68 % (observé durant la saison 2011 – 2012). En calculant le bilan en tenant compte de la période précédant la saison de drainage (et de l'irrigation), la moyenne du ratio est de 14 %.

Les saisons de drainage qui ont de faibles flux d'eau ont aussi une utilisation relative de l'eau plus importante.

6.2.4. Haute Bova

La figure 12 illustre l'évolution des flux à l'exutoire du lysimètre depuis son installation. Avant d'être installé dans la parcelle « Haute Bova » en août 2009, le lysimètre était dans une autre parcelle. Il a été déplacé pour des raisons techniques. Pour rappel, la parcelle « Haute Bova » n'est pas irriguée.

En moyenne, 79 litres sont récoltés annuellement à l'exutoire du lysimètre.

Le volume percolé durant la saison de drainage 2018 – 2019 (0 litre) est inférieur au 10^e centile de la distribution des flux. Les flux observés durant les saisons de drainages 2011 – 2012, 2013 – 2014 et 2017 – 2018 sont également faibles (inférieure à 1 litre).

Durant ces saisons, du froment a été cultivé durant les saisons de drainage 2011 – 2012 et 2013 – 2014. Entre 2017 et 2019, on retrouve la succession froment – betteraves – froment. Notons que toutes les cultures de froment ont été suivies d'une CIPAN (moutarde).

¹² Tableau synthétique des cultures sur la parcelle « Sole 4 » à l'annexe 10.3

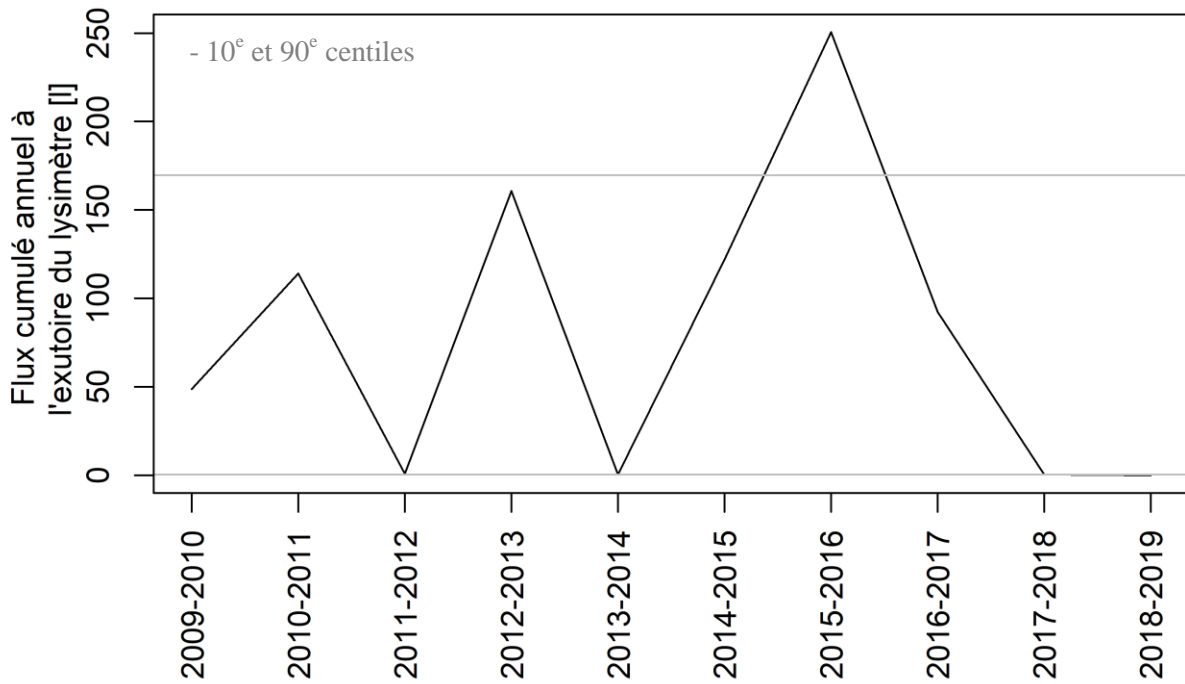


Figure 12. Flux à l'exutoire du lysimètre Haute Bova.

Des flux d'eau supérieurs au 90^e centile de la distribution des flux (environ 170 litres) ont été observés durant la saison de drainages 2015 – 2016. Ceux de la saison de drainage 2012 – 2013 sont également importants sans toutefois être supérieurs au 90^e centile. Des épisodes de pluie intense ont eu lieu lors du printemps 2016. L'herbicide et la fertilisation de la culture de pommes de terre ont d'ailleurs rapidement percolé jusqu'à l'exutoire du lysimètre.

Le rapport moyen entre le volume d'eau récolté à l'exutoire du lysimètre et la somme des précipitations durant la saison de drainage est 25 %. La gamme de variation allant de 0 % (observé durant les saisons 2011 – 2012, 2013 – 2014, 2017 – 2018 et 2018 – 2019) à 78 % (observé durant la saison 2015 – 2016). En calculant le bilan en tenant compte de la période précédant la saison de drainage, la moyenne du ratio est de 12 %.

6.3. Conclusions

Le tableau 6 reprend l'ensemble des années pour lesquelles les flux observés étaient soit inférieurs au 10^e centile soit supérieurs au 90^e centile.

On constate que les flux de certaines saisons sont systématiquement classés comme inférieurs à la limite inférieure (2005 – 2006 ou encore 2018 – 2019) et que d'autres sont systématiquement classés comme supérieurs à la limite supérieure (2007 – 2008).

Dans ce cas de figure, on peut considérer que les conditions météorologiques ont eu une influence prépondérante sur les volumes percolés.

Pour d'autres saisons de drainage comme 2013 – 2014 ou 2014 – 2015, les mesures du volume percolé sont inférieures au 10^e centile ou supérieures 90^e centiles pour certains des lysimètres. Dans ce cas, en plus du facteur météorologique, les cultures installées ont eu un impact sur l'infiltration de l'eau.

Tableau 6. Classement des volumes percolés par saisons de drainages et par parcelle.

	Grosse Pierre Chemin de Fer	Gros Thier Bovenistier	Sole 4	Haute Bova
Flux inférieurs	2005 – 2006 ‡	2005 – 2006	2005 – 2006 ‡	
	2011 – 2012			2011 – 2012 ‡
			2013 – 2014	2013 – 2014 ‡
				2017 – 2018 ‡
	2018 - 2019	2018 - 2019	2018 - 2019	2018 - 2019
Flux supérieurs	2004 – 2005		2004 – 2005	
	2007 - 2008	2007 - 2008	2007 - 2008	
			2012 – 2013 ‡	2012 – 2013 ‡
		2014 – 2015	2014 – 2015	
		2015 – 2016 ‡		2015 – 2016

‡ Proche des limites fixées par les 10^e et 90^e centiles

Comme il a été montré à la figure 8, le déficit hydrique se marque de plus en plus été après été. Les conditions météorologiques ont un effet direct sur le volume d'eau percolé à travers les lysimètres et donc sur la recharge des nappes phréatiques. Les deux dernières saisons de drainage sont au moins reprises une fois dans la liste des saisons ayant des flux inférieurs au 10^e centile.

Une meilleure connaissance de l'irrigation des cultures permettrait de mieux discriminer l'influence des cultures elles-mêmes. Une attention particulière sera portée sur ce point à l'avenir.

7. Installation de lysimètres à Gembloux Agro-Bio Tech

Depuis 2018, GRENeRA restaure la fosse lysimétrique historiquement présente sur le site de Gembloux Agro-Bio Tech. La fosse lysimétrique est composée de :

- 5 lysimètres d'environ 50 cm de haut (petits),
- 5 lysimètres d'environ 100 cm de haut (moyens) et
- 3 lysimètres d'environ 150 cm de haut (grands).

Les travaux de restauration ont consisté à remplacer les poutres et les fonds rouillés des vieux lysimètres par de nouvelles poutres et par de nouvelles tôles d'acier (figure 13).



Figure 13.Restauration des poutres supportant les lysimètres.

Chaque catégorie de lysimètres repose sur une paire de poutres encastrées dans les murs de la fosse. Les poutres sont placées à des profondeurs différentes pour qu'*in fine*, tous les lysimètres soient à ras du sol (figure 14).



Figure 14. Placement des petits lysimètres.

7.1. Remplissage

Les petits et moyens lysimètres ont été remplis pour construire 10 lysimètres similaires.

Chaque lysimètre a été rempli successivement par :

1. Un fond de cailloux drainant ;
2. Un géotextile ;
3. De la terre légèrement caillouteuse ;
4. De la terre arable.

La hauteur du fond drainant dépend de la hauteur des lysimètres. Alors que les petits lysimètres ont un fond drainant de quelques cm, le fond drainant dans les lysimètres de taille moyenne est de 50 cm.

Les hauteurs de terre légèrement caillouteuse et de la terre arable sont identiques dans tous les lysimètres respectivement 18 et 16 cm.

Ces différentes couches de terre ont été reconstituées en tassant la terre légèrement caillouteuse jusqu'à la densité de $1,5 \text{ T m}^{-3}$ et la terre arable jusqu'à la densité de $1,35 \text{ T m}^{-3}$.

Enfin, un mélange 'prairie' (raygrass, trèfle) a été semé (figure 15).



Figure 15. Développement des semis le 14 octobre 2019.

7.2. Expérimentation

Les lysimètres seront utilisés pour répondre aux questions relatives aux enjeux environnementaux des épandages automnaux de lisier. Le 21 septembre 2018, une dérogation ministérielle avait autorisé l'épandage sur prairie de fertilisants organiques à action rapide ainsi que de fumier mou, à concurrence de 80 kg d'azote par hectare au maximum jusqu'au 20 octobre 2018 inclus. Les résultats du contrôle APL avaient alors montré des résultats jamais encore observés ; un taux de conformité pour la classe A8 (prairie) anormalement faible et une part relativement importante des mesures APL présentant des valeurs extrêmes ($>200 \text{ kg N-NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$)¹³ (Dossier GRENeRA 18-06).

Les questions liées aux épandages de lisier en début de saison sont encore aux cœurs des questions scientifiques actuelles¹⁴. Les autorisations d'épandage « à partir de » et « jusqu'à » sont souvent

¹³ 50 max en 2017 (Dossier GRENeRA 17-06).

¹⁴ <https://www.sillonbelge.be/art/d-20200212-3YURC5>

confondues avec obligations d'épandage « à partir de » et « jusqu'à ». Les aspects agronomiques et environnementaux ne sont pas souvent intégrés dans les réflexions.

Ainsi, le protocole permettra d'objectiver l'impact des différentes fertilisations organiques réalisées en janvier et en octobre sur la qualité de l'eau et des fourrages produits.

Sur les 10 lysimètres, il est prévu de faucher 4 fois l'herbe. Cinq modalités (2 répétitions par modalité) de fertilisations seront étudiées. Ces modalités se différencient sur la première date d'application (15 janvier ou 1^{er} mars) et sur la date de la dernière application (absence d'application avant la dernière coupe, application le 30 août, le 30 septembre ou le 30 octobre) (tableau 7).

Tableau 7. 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	-

Après chaque coupe, la matière sèche sera pesée. En fonction des budgets disponibles, d'autres analyses seront réalisées (teneur en azote, VEM, ...).

8. 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)

Cette année, aucun lixiviat n'a été récolté à l'exutoire des lysimètres. Ce qui confirme les tendances observées ces dernières années. L'analyse des données météorologiques (Source : CRA-W/Réseau Pameseb) dans la région de Waremme montre une fréquence et une intensité plus importante des épisodes de sécheresse estivale depuis 2004.

9. Bibliographie

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.

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. + annexes¹⁵.

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.

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.

¹⁵ Disponible sur

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

10. Annexes

10.1. Itinéraire culturel de la parcelle « Grosse Pierre Chemin de fer »

Année	Culture				
	Culture [1]	Culture [2]	Inter-culture courte	Hiver	Inter-culture longue
2003	Fèves				
2004	Épinards	Haricots			Moutarde
2005	Chicorées				
2006	Froment				
2007	Carottes				Moutarde
2008	Fèves	Choux			
2009		Poireaux			
2010	Pois	Haricots			
2011	Pommes de terre		Moutarde	Froment	
2012	Froment				Trèfle et Avoine
2013	Lin				Moutarde
2014	Carottes				
2015	Fèves	Epinards		Froment	
2016	Froment				Moutarde
2017	Pois	Haricots			
2018	Betteraves				
2019	Pommes de terre				

10.2. Itinéraire culturel de la parcelle « Gros Thier Bovenistier »

Année	Culture				
	Culture [1]	Culture [2]	Inter-culture courte	Hiver	Inter-culture longue
2004	Fèves	Choux			
2005	Carottes				
2006	Pommes de terre				
2007	Betteraves			Froment	
2008	Froment				Moutarde
2009	Fèves	Epinards			
2010				Poireaux	
2011	Poireaux	Pois			Moutarde
2012	Betteraves				
2013	Carottes				
2014	Pommes de terre			Froment	
2015	Froment				Moutarde et Phacélie
2016	Fèves	Epinards			Moutarde
2017	Lin				Moutarde
2018	Pois	Haricots			
2019	Betteraves				

10.3. Itinéraire cultural de la parcelle « Sole 4 »

Année	Culture				
	Culture [1]	Culture [2]	Inter-culture courte	Hiver	Inter-culture longue
2003	Froment				Avoine
2004	Haricots			Froment	
2005	Froment				Phacélie
2006	Fèves	Epinards		Froment	
2007	Froment				
2008	Carottes				
2009	Haricots		Avoine	Froment	
2010	Froment				
2011	Pépinières + raygrass				
2012	Pépinières				
2013	Pépinières				
2014	Maïs				
2015	Pommes de terre			Froment	
2016	Froment				Phacélie
2017	Betteraves			Froment	
2018	Froment				Phacélie
2019	Fèves	Epinards			

10.4. Itinéraire culturel de la parcelle « Haute Bova »

Année	Culture				
	Culture [1]	Culture [2]	Inter-culture courte	Hiver	Inter-culture longue
2009	Froment				Moutarde
2010	Betteraves			Froment	
2011	Froment				Moutarde
2012	Pois		Nyger	Froment	
2013	Froment				Moutarde
2014	Betteraves			Froment	
2015	Froment				Moutarde
2016	Pommes de terre (plants)			Froment	
2017	Froment				Moutarde
2018	betteraves			Froment	
2019	Froment				Moutarde