

## Le lysimètre, un outil d'évaluation de l'APL en tant qu'indicateur environnemental



Ce document doit être cité de la manière suivante :

Vandenberghe C., Lefébure K., Colinet G., 2021 *Le lysimètre, un outil d'évaluation de l'APL en tant qu'indicateur environnemental*. Dossier GRENeRA **21-05**, 12 p. In Durenne B.<sup>[1]</sup>, Vandenberghe C.<sup>[2]</sup>, De Toffoli M.<sup>[3]</sup>, Bachelart F.<sup>2</sup>, Imbrecht O.<sup>3</sup>, Lefébure K.<sup>2</sup>, Williscotte F.<sup>1</sup>, Bergiers G.<sup>1</sup>, Weickmans B.<sup>1</sup>, Lambert R.<sup>3</sup>, Colinet G.<sup>2</sup>, Huyghebaert B.<sup>1</sup>.2022. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2021 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau*. Centre wallon de Recherches agronomiques, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech et Université catholique de Louvain.

---

<sup>[1]</sup> Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W)

<sup>[2]</sup> Gembloux Agro-Bio Tech (ULg)

<sup>[3]</sup> Earth and Life Institute (UCL)

---

**Table des matières**

1. INTRODUCTION.....	3
2. L'APL EST-IL UN BON INDICATEUR DE LA CONCENTRATION EN NITRATE DE L'EAU A LA BASE DE LA ZONE RACINAIRE ? .....	5
3. QUEL EST L'IMPACT DU CLIMAT ANNUEL (TEMPERATURE, PLUVIOMETRIE) SUR CETTE RELATION ?.....	7
4. QUELLES SONT LES LIMITES DE CET INDICATEUR ? .....	9
5. CONCLUSIONS .....	11
6. BIBLIOGRAPHIE.....	12

# 1. Introduction

En région wallonne (Belgique), entre 1997 et 2001, une dizaine d'exploitations agricoles pilotes ont fait l'objet d'un suivi scientifique afin d'évaluer deux indicateurs de gestion de l'azote : le bilan d'azote (de l'exploitation et de l'assolement) et le reliquat d'azote nitrique dans le sol en novembre (APL – Azote Potentiellement Lessivable) (Lambert et al, 2001).

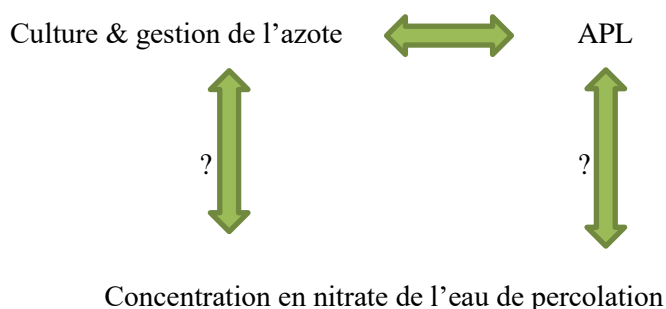
Le profil de ces exploitations (polycultures<sup>1</sup> – élevage<sup>2</sup>, environ 80 ha) est représentatif de la région agricole des Sables du Bruxelliens<sup>3</sup>.

Ce suivi pluriannuel a mis en évidence l'intérêt de l'APL dans l'évaluation des pratiques de gestion de l'azote :

- une gestion raisonnée de la fertilisation diminue l'APL,
- la mise en place d'une culture intermédiaire piège à nitrate diminue l'APL
- les caractéristiques (profondeur d'enracinement, durée de végétation, date de récolte) de chaque culture impactent l'APL.

La période de la mesure (novembre) est charnière entre la fin de prélèvement d'azote par les cultures (y compris CIPAN) et le début du processus de lixiviation. Dans ce sens, l'APL pourrait constituer une photographie de la pression nitrate sur les eaux souterraines.

Il restait donc à valider la relation entre la concentration en nitrate de l'eau de percolation et d'une part la gestion de l'azote et d'autre part, l'APL (figure 1).



**Figure 1. Relation gestion de l'azote - APL - qualité de l'eau**

Pour mener cette validation, en 2003, quatre lysimètres ont été installés en plein champ, dans quatre parcelles, afin de collecter l'eau de percolation.

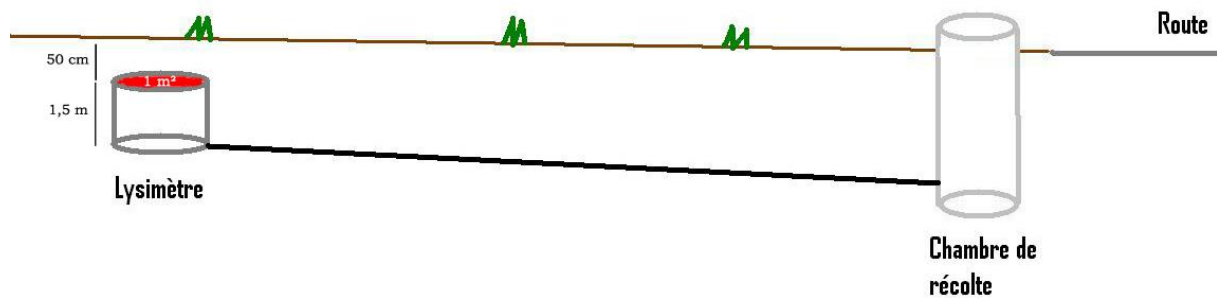
Chaque lysimètre est un 'tonneau' en inox, d'un mètre carré de section et de 1,5 m de hauteur, rempli de sol et placé à 2 m de profondeur de manière à (1) ne pas entraver les opérations de travail du sol et (2) à collecter l'eau qui quitte la zone racinaire maximale (2 m).

<sup>1</sup> Froment d'hiver, escourgeon, betterave sucrière, maïs, pomme de terre, légumineuse

<sup>2</sup> Bovin (laitier, engraissement ou mixte)

<sup>3</sup> Limon du quaternaire (épaisseur 1 à 10 m.) sur sable aquifère du tertiaire

Chaque lysimètre est placé dans une partie de la parcelle qui ne doit normalement pas faire l'objet de 'redoublage' d'apport d'azote et est connecté gravitairement via un tuyau en polyéthylène haute densité à un réservoir de collecte placé dans une chambre de visite installée en bordure de parcelle (figure 2).



**Figure 2. Coupe d'un dispositif lysimétrique**

Ces quatre parcelles sont situées en région limoneuse dans des exploitations agricoles faisant partie du Survey Surfaces Agricoles (Vandenberghe et al, 2005), réseau de plus de 200 parcelles encadrées par deux membres scientifiques<sup>4</sup> de la Structure PROTECT'eau pour définir annuellement les références APL (Detoffoli et al, 2022). Chaque parcelle de ce réseau fait annuellement l'objet d'un conseil de fertilisation azotée (méthode du bilan) et de deux échantillonnages de sol (entre le 15 et le 30 octobre et entre le 1<sup>er</sup> et le 15 décembre) en vue de mesurer la concentration en azote nitrique (APL).

Le sol de ces parcelles est de texture limoneuse (entre 10 m et 20 m d'épaisseur) reposant sur un aquifère crayeux. La teneur en carbone de l'horizon de surface est comprise entre 1,0 et 1,2 %, la teneur en limon (entre 2 et 50 $\mu$ m) est supérieure à 70% et la charge caillouteuse est nulle.

La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 650 mm distribuée plus ou moins également au cours de l'année. La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 3,2 °C et du mois le plus chaud (juillet) est de 19,1 °C.

Généralement, les lysimètres débitent de l'eau de décembre à avril. Au cours de cette période, des visites bimensuelles, voire hebdomadaires sont effectuées afin de mesurer le volume d'eau collecté et d'en prendre un échantillon pour analyses (nitrate, produits phytosanitaires).

Un des intérêts d'un lysimètre est de pouvoir établir l'épaisseur de la lame d'eau qui percole. Cette mesure permet de calculer des flux (en l'occurrence, des kilogrammes d'azote nitrique par hectare) et de les comparer aux apports d'engrais azotés (Lefébure et al, 2017).

Les 18 années d'observations dans ces quatre parcelles observatoires vont permettre de répondre à quatre questions en relation avec la figure 1 :

1. l'APL est-il un bon indicateur de la concentration en nitrate de l'eau à la base de la zone racinaire ?
2. quel est l'impact du climat annuel (température, pluviométrie) sur cette relation ?
3. quelles sont les limites de cet indicateur ?
4. La culture et la gestion de l'azote ont-elles bien un impact sur la qualité de l'eau ?

<sup>4</sup> Earth and Life Institute (UCLouvain) et Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège)

## 2. L'APL est-il un bon indicateur de la concentration en nitrate de l'eau à la base de la zone racinaire ?

---

La figure 3 illustre la qualité de la relation entre l'APL et la concentration en nitrate mesurée à l'exutoire du lysimètre au cours de période hivernale qui suit.

En 2006, la parcelle SEU25 (figure 3) est occupée par une culture de pomme de terre de transformation (fabrication de frites). L'APL mesuré en automne, à trois reprises (octobre, novembre et décembre) affiche une valeur moyenne de 115 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>. Au cours de l'hiver qui suit, la concentration en nitrate de l'eau collectée dans la chambre de visite varie de 60 à 95 mg.l<sup>-1</sup>.

En 2007, la parcelle a fait l'objet d'un semis de betterave sucrière. L'APL mesuré fin novembre renseigne un stock de 23 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>. La concentration en nitrate mesurée dans l'eau collectée dans la chambre de visite au cours de l'année 2008 fluctue entre 10 et 30 mg.l<sup>-1</sup>. Trois pics de concentration (entre 80 et 90 mg.l<sup>-1</sup>) sont observés au cours de cette année. Ils ont été observés à des moments où les flux d'eau étaient très faibles et, par conséquent, ne représentent qu'une très petite partie de la lixiviation de nitrate observée au cours de cette année.

Cette observation (concomitance d'une concentration élevée lors d'un débit très faible) n'est pas rare et illustre bien l'intérêt des lysimètres : une méconnaissance de la lame drainante lors de chaque mesure de concentration conduirait à dresser, par une simple moyenne arithmétique, un portrait incorrect de la lixiviation du nitrate. A l'inverse, la mesure du volume d'eau lors de chaque dosage de nitrate permet d'avoir une image bien précise du flux d'azote nitrique.

En 2008, la parcelle était occupée par une culture de froment d'hiver dont la récolte a été suivie d'un semis de CIPAN. L'APL a été mesuré à deux reprises en automne (54 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> fin octobre et 18 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> début décembre). La concentration en nitrate dans l'eau récoltée en 2009 à l'exutoire du lysimètre est restée inférieure à 50 mg.l<sup>-1</sup>.

En 2009 et 2010, la parcelle a été successivement occupée par de la fève, de l'épinard et du poireau. Au cours de ces deux années, les mesures de l'APL ont affiché des résultats compris entre 172 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> et 265 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>. Début 2010, la concentration en nitrate à l'exutoire du lysimètre reste cependant inférieure à 50 mg.l<sup>-1</sup>. Ce constat est interprété comme un 'résidu' de l'effet de la CIPAN présente fin 2008. Fin 2010 et en 2011, la concentration en nitrate de l'eau augmente pour atteindre 130 mg.l<sup>-1</sup>, teneur à mettre en relation avec les APL élevés observés au cours des deux années de légume.

La CIPAN installée en 2011 après la récolte de haricot n'a pas eu l'effet escompté sur l'APL et le reliquat azoté en sortie d'hiver (RSH) : 103 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> le 24 février 2012. Conséquence de ce niveau élevé, la concentration en nitrate reste également élevée au cours de l'année 2012.

En 2012 et 2013, la parcelle a été successivement occupée par de la betterave et de la carotte. Au cours de ces deux années, les APL ont variés entre 11 e 34 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>. Début 2013, la concentration en nitrate a chuté sous 10 mg.l<sup>-1</sup>. Début 2014, la concentration restait inférieure à 25 mg.l<sup>-1</sup>.

Ces huit années d'observations illustrent clairement la relation entre l'APL et la concentration en nitrate à l'exutoire du lysimètre.

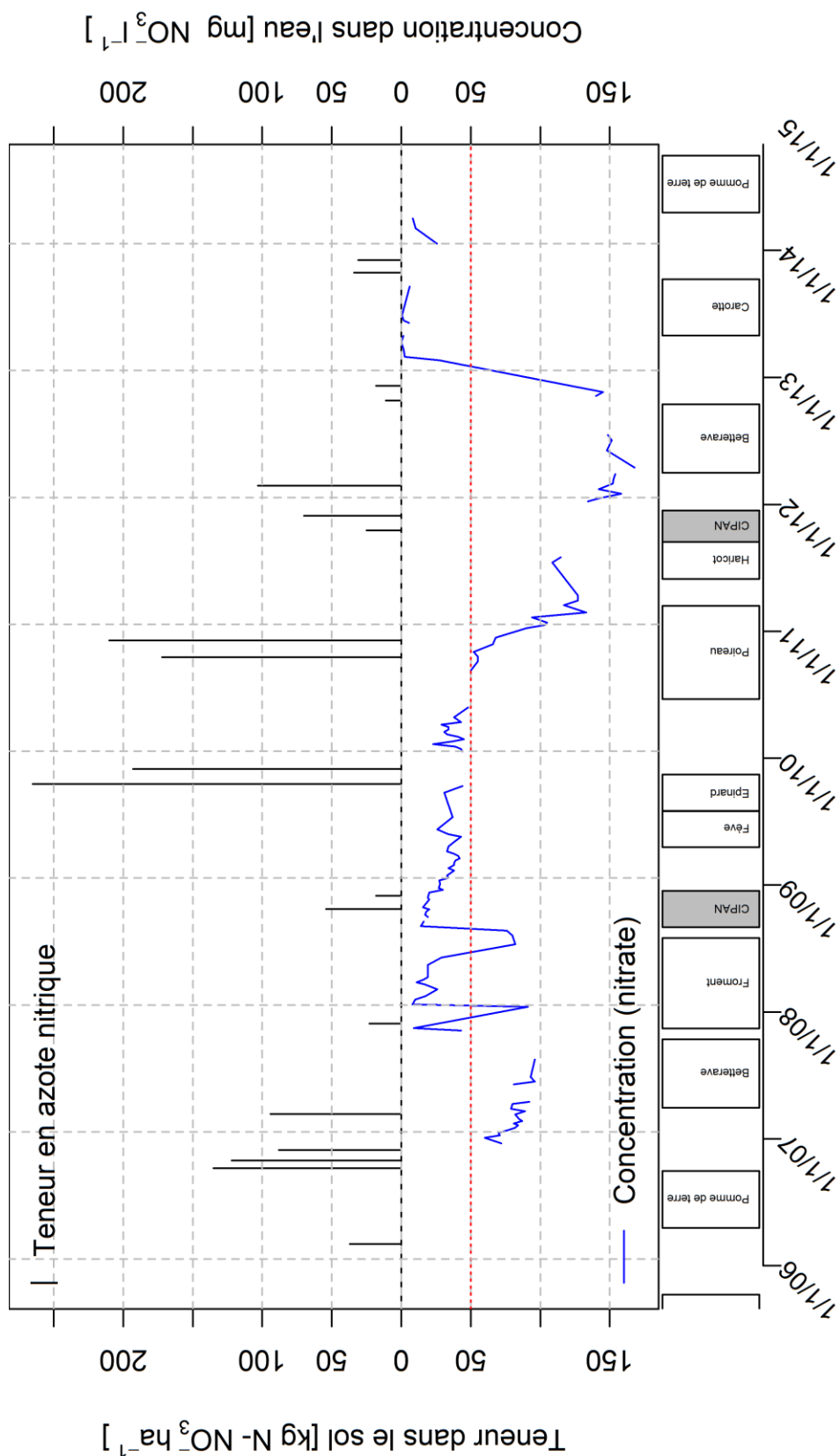


Figure 3. Reliquat azoté dans le sol et concentration en nitrate de l'eau du lysimètre de la parcelle SEU25

### 3. Quel est l'impact du climat annuel (température, pluviométrie) sur cette relation ?

---

La période s'étalant de début 2016 à fin 2021 offre la possibilité d'apprécier l'impact des conditions climatiques sur la concentration en nitrate et les flux d'eau.

Deux épisodes pluvieux sont étudiés pour illustrer l'impact d'une pluviométrie abondante sur la concentration en nitrate et les flux d'eau.

Le premier épisode a lieu en juin 2016 (après un mois de mai déjà assez pluvieux) : le cumul de pluie au cours de ce mois atteint 176 mm d'eau (soit plus de deux fois la quantité normalement attendue au cours de ce mois). Il s'en suit une reprise de la percolation jusqu'à la base du lysimètre qui fournira plus de 150 mm d'eau entre la fin juin et la mi-juillet.

En 2016, la parcelle LHO99 (figure 4) était occupée par une pomme de terre plantée à l'enfouissement d'une CIPAN réalisé fin 2015.

Au cours de cet épisode de percolation, la concentration en nitrate de l'eau récoltée dans la chambre de visite était en moyenne de 130 mg.l<sup>-1</sup>. Ce nitrate a été attribué à la pomme de terre puisque les échantillons d'eau ont révélé des traces de l'herbicide utilisé un mois plus tôt pour cette culture.

Fin du printemps 2021, un nouvel épisode de pluie est observé : entre le 15 juin et le 15 juillet, le cumul de pluviométrie atteint 230 mm. Cette année-là, la parcelle était emblavée d'un froment d'hiver. Une reprise de la percolation est, comme en 2016, observée à partir de la fin juillet. Malgré une pluviométrie supérieure à celle observée en 2016, le volume d'eau collecté dans la chambre de visite n'excèdera pas 40 litres, soit près de quatre fois moins que celui observé en 2016 et ce, malgré une pluviométrie supérieure.

L'explication de cette différence réside dans la culture en place : en 2016, il s'agissait d'une pomme de terre 'fraichement' plantée : le développement racinaire était réduit en juin et les besoins en eau encore relativement faibles. A l'inverse, en 2021, le froment, en place depuis huit mois, présentait un système racinaire bien développé et profond et était à un stade de développement (début de remplissage du grain) consommateur d'eau.

Cet impact du développement racinaire sur un éventuel phénomène de lixiviation estivale a également été observé sur trois autres lysimètres en 2016.

A l'opposé de ces conditions d'humidité, une période de sécheresse a sévi de l'été 2017 à l'été 2020. Il a grosso modo manqué 10 à 30 % de la pluviométrie annuelle attendue avec des déficits hydriques souvent plus importants d'avril à septembre.

En conséquence, de fin 2017 à début 2021, quasiment aucun volume d'eau n'a été récolté dans les chambres de visite. Depuis la reprise de la percolation (printemps 2020 à la suite d'un mois de février très pluvieux), il a 'heureusement' été constaté que l'azote ne s'est pas accumulé dans le sol (entre 90 cm, la zone explorée par l'analyse de sol et 2 m, la base du lysimètre) au cours de cette période de sécheresse pour constituer un pic de concentration. Le développement racinaire profond de la betterave et du froment a certainement contribué à consommer ce stock d'azote et ainsi limiter la lixiviation du nitrate.



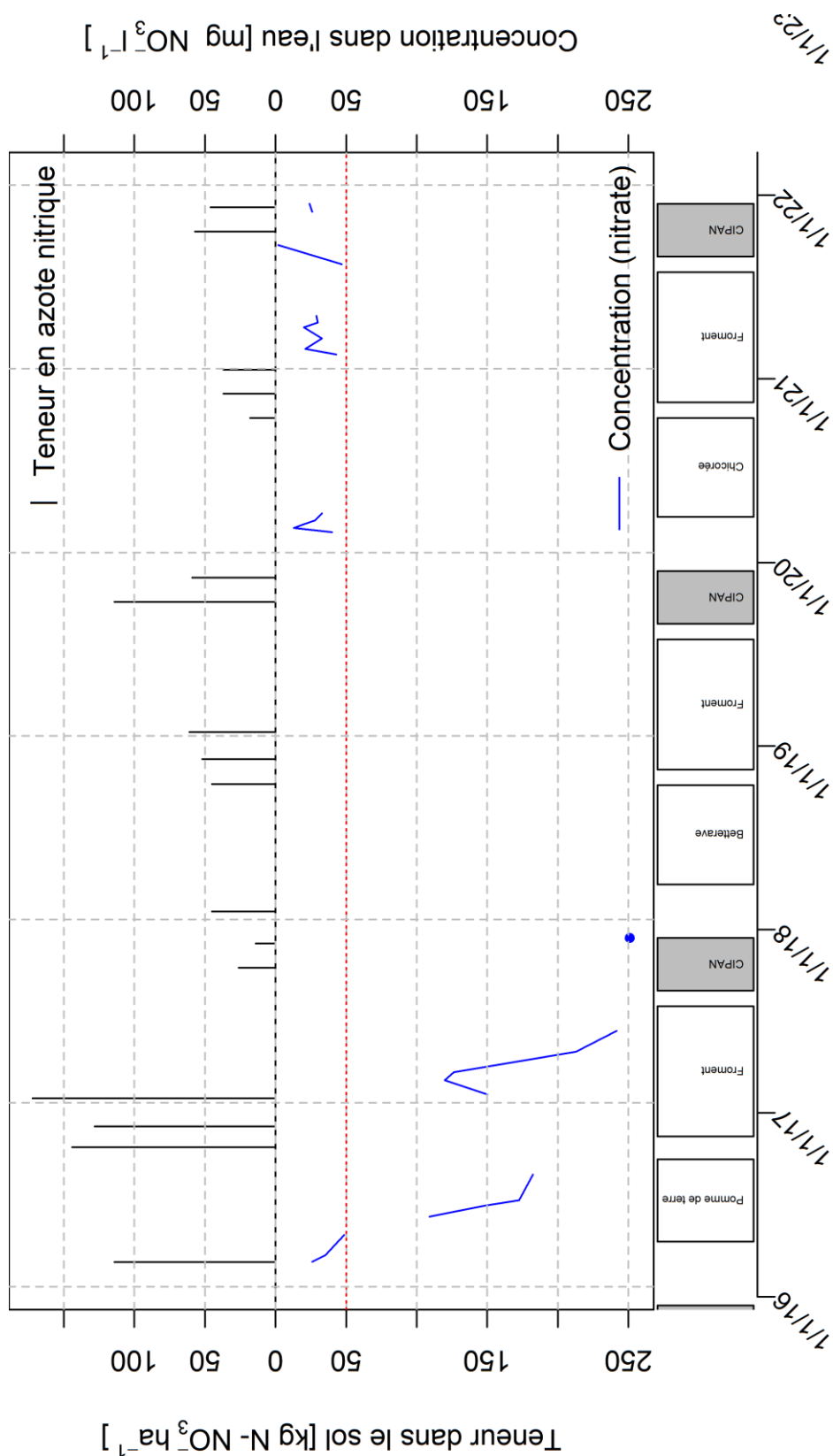


Figure 4. Reliquat azoté dans le sol et concentration en nitrate de l'eau du lysimètre de la parcelle LHO99

## 4. Quelles sont les limites de cet indicateur ?

---

La mesure de l'APL est une 'photographie' à un instant donné d'un stock d'azote nitrique dans une couche de sol (le plus souvent 90 cm sous la surface).

Le terme 'photographie' est un peu usurpé puisque dans la réalité, une quinzaine de 'pixels' (carottes de sol) sont exploités, analysés pour constituer cette photographie. Cet aspect est traité par Colinet (2022).

La notion de 'à un instant donné' peut également constituer une limite de cet indicateur. Comme l'illustre les figures 3 et 4, dans la majorité des situations, deux à trois mesures d'APL sont réalisées en automne (octobre, parfois novembre et décembre). Des variations, à la hausse ou à la baisse sont toujours observées au cours de cette période et sont le fait d'un ou plusieurs facteurs qui interagissent (simultanément) sur le stock d'azote nitrique dans le sol.

Le facteur 'pluie' est bien évidemment un moteur de diminution de l'APL au cours de l'automne. A titre d'exemple, en 2006 sur la parcelle SEU25 (figure 3), le sol est resté nu au cours de l'hiver, après la récolte des pommes de terre. L'APL est passé de 122 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> le 31 octobre à 88 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> le 30 novembre à la suite de 46 mm de pluie entre ces deux analyses.

La présence d'une CIPAN contribue logiquement à diminuer l'APL, à l'instar de ce qui est observé sur la parcelle SEU25 (figure 3) en automne 2009. Cependant, si le stock d'azote nitrique est trop important et si la CIPAN ne se développe pas bien, l'APL augmente au cours de l'hiver comme observé fin 2011 début 2012 sur cette parcelle.

La minéralisation de résidus de culture tels que des feuilles de betterave peut également être à l'origine d'une augmentation de l'APL au cours de l'automne comme observé en 2018 sur la parcelle LHO99 (figure 4).

Une deuxième limite de l'APL en tant qu'indicateur environnemental apparaît lors de conditions météorologiques 'exceptionnelles' (voir paragraphe précédent) qui déclenchent de la lixiviation en dehors de la période attendue ou à l'inverse, n'engendrent aucune lixiviation par manque de pluie.

L'APL peut également parfois 'cacher' l'impact de pratiques qui vont perdurer plusieurs années. Le suivi de la parcelle SEU29 (figure 5) illustre ce propos. Fin d'été 2006, un apport de compost de déchets verts équivalent à 600 kg N.ha<sup>-1</sup> est réalisé après la récolte du froment. Logiquement, l'APL mesuré à trois reprises au cours de l'automne atteint 261 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>. Au cours des quatre années qui suivent, la parcelle est occupée par des cultures légumières à enracinement peu profond qui ont fait l'objet d'une fertilisation azotée assez réduite (20 kg N.ha<sup>-1</sup> pour la carotte en 2007, aucune fertilisation pour la fève et le chou frisé en 2008 et 100 kg N.ha<sup>-1</sup> pour le poireau en 2009 et aucune fertilisation sur le pois et le haricot en 2010). L'APL mesuré au cours de cette période varie entre 72 et 112 kg N-NO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>. Par contre, dès la fin 2007, la concentration en nitrate dans l'eau va augmenter pour atteindre un plus de 450 mg.l<sup>-1</sup> au printemps 2008. Il faudra attendre trois années supplémentaires pour que, début 2011, la concentration soit inférieure à 100 mg.l<sup>-1</sup>. Début 2013, après une succession froment d'hiver – CIPAN, la concentration en nitrate est inférieure à 30 mg.l<sup>-1</sup>.

Dans le cas présent, cet excès d'apport azoté aura donc eu un impact cinq années durant sur la qualité de l'eau, impact qui n'était pas décelable par le simple suivi de l'APL au cours de cette période.

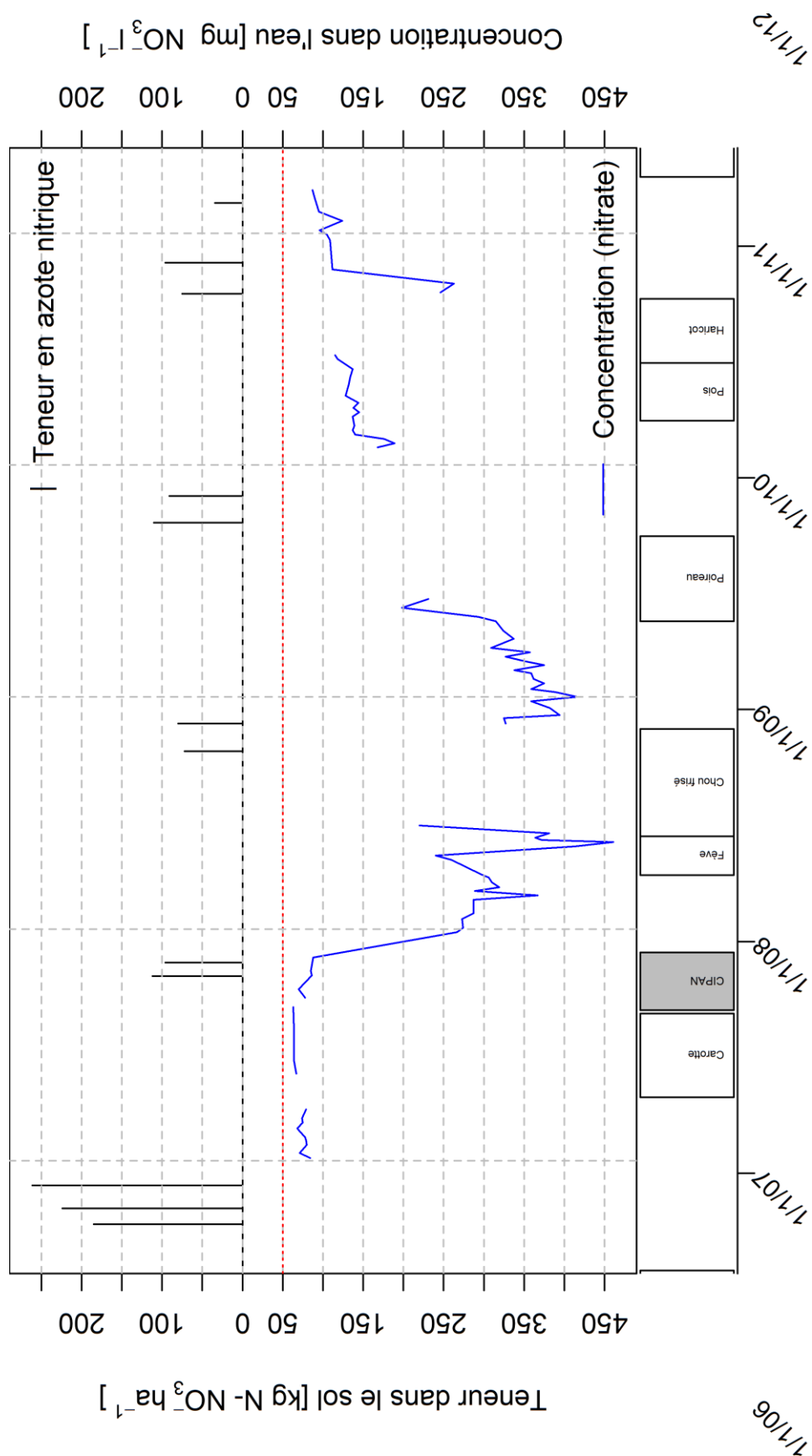


Figure 5. Reliquat azoté dans le sol et concentration en nitrate de l'eau du lysimètre de la parcelle SEU29

## 5. Conclusions

---

Les lysimètres installés en plein champ, dans quatre parcelles limoneuses situées en moyenne Belgique ont permis d'observer les flux d'eau et de nitrate à la base de la zone racinaire depuis près de vingt ans.

Ces observations complétées par la connaissance des pratiques agricoles mises en œuvre par les exploitants de ces parcelles ont permis d'apprécier la relation entre APL et concentration en nitrate de l'eau de percolation et de valider la qualité de l'APL en tant qu'indicateur environnemental.

Par ailleurs, les exemples présentés ont également permis d'observer l'impact des cultures, intercultures et mode de gestion de l'azote sur la qualité de l'eau de percolation, répondant ainsi à la quatrième question posée (figure 1).

L'intérêt de l'APL pour la prédiction de l'impact sur la qualité de l'eau souterraine a fait l'objet d'une étude similaire à l'échelle d'un petit bassin versant (Lefébure et al, 2022) avec les mêmes conclusions.

Les atouts mais également les limites de cet indicateur ont fait l'objet d'investigations complémentaires et approfondies dans le cadre d'une thèse de doctorat (Vandenberghe C., 2016).

Vu l'intérêt de cet outil, un site lysimétrique expérimental identique est valorisé depuis 2017 à Gembloux Agro-Bio Tech en vue d'étudier l'impact de pratiques différenciées (labour *versus* non-labour, restitution des pailles *versus* exportation des pailles) sur les flux d'eau et de nitrate.

Enfin, ces équipements sont également utilisés dans le suivi des flux de produits phytopharmaceutiques (PPP) avec un schéma semblable, à savoir (1) mesure de la concentration en PPP dans des échantillons de sol et dans l'eau et (2) interprétation à la lumière des traitements PPP effectués (Vandenberghe et al, 2021).

---

## 6. Bibliographie

---

Lambert R., Van Bol V., Maljean J-F., Peeters A., 2001. Recherche-action en vue de la preparation et de la mise en œuvre du programme d'action de la zone des Sables bruxelliens en application de la directive européenne CEE/\*91/676 (nitrates). Université catholique de Louvain, 107 p. [https://www.researchgate.net/publication/235245884\\_Prop'eau-sable\\_Recherche-action\\_en\\_vue\\_de\\_la\\_preparation\\_et\\_de\\_la\\_mise\\_en\\_oeuvre\\_du\\_plan\\_d'action\\_de\\_la\\_zone\\_des\\_sables\\_bruuxelliens\\_en\\_application\\_de\\_la\\_directive\\_europeenne\\_CEE91676\\_nitrates\\_Rapport](https://www.researchgate.net/publication/235245884_Prop'eau-sable_Recherche-action_en_vue_de_la_preparation_et_de_la_mise_en_oeuvre_du_plan_d'action_de_la_zone_des_sables_bruuxelliens_en_application_de_la_directive_europeenne_CEE91676_nitrates_Rapport)

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. 33p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Limbourg Q., Bachelart F., Imbrecht O., Bah B., Lefébure K., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2017 Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2017 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau. Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, Université catholique de Louvain et Centre wallon de Recherches agronomiques, 33 p. + annexes. <https://hdl.handle.net/2268/225704>

Vandenberghe C., Bontemps P-Y., Lambert R., Peeters A. and Marcoen J. M., 2005. Implementation of the Nitrate Directive in Belgium : the Agricultural Surface Survey. In N management in agrosystems in relation to the Water Framework Directive, Maastricht, Netherlands. <https://hdl.handle.net/2268/63420>

Vandenberghe C., 2016. Performance de l'indicateur 'Azote Potentiellement Lessivable' pour l'évaluation de la gestion du nitrate et du risque pour la qualité de l'eau. Thèse de doctorat. Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 222 p. + annexes. <https://hdl.handle.net/2268/201372>

Vandenberghe C., Blondel A., Pierreux J., Lacroix C., Colinet G., Dumont B., Pigeon O., 2021. Evaluation du devenir des produits phytopharmaceutiques en plein champ en fonction des pratiques culturales pour le développement d'une agriculture éco responsable (Sol-Phy-Ly). Rapport d'activités final 2018-2021. Gembloux Agro-Bio Tech (Uliège) & Centre wallon de Recherches Agronomiques. 122 pages.