

## 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., 2022 *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture*. Dossier GRENeRA **22-05**, 33 p. In De Toffoli M.<sup>[1]</sup>, Vandenberghe C.<sup>[2]</sup>, Durenne B.<sup>[3]</sup>, Imbrecht O.<sup>1</sup>, Bourmanne C.<sup>1</sup>, Bachelart F.<sup>2</sup>, Lefébure K.<sup>2</sup>, Williscombe F.<sup>3</sup>, Bergiers G.<sup>3</sup>, Weickmans B.<sup>3</sup>, Huyghebaert B.<sup>3</sup>, Colinet G.<sup>2</sup>, Lambert R.<sup>1</sup>, 2023. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2022 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> Earth and Life Institute (UCLouvain)

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

<sup>[3]</sup> Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W)

---

## **Table des matières**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONTEXTE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE.....</b>	<b>6</b>
3.1. HESBAYE .....	6
3.2. GEMBLoux AGRO-BIO TECH.....	8
3.2.1. Cultures annuelles.....	8
3.2.2. Couvert prairial .....	9
<b>4. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....</b>	<b>10</b>
<b>5. SUIVI LYSIMÉTRIQUE.....</b>	<b>11</b>
5.1. INTRODUCTION.....	11
5.2. GROSSE PIERRE CHEMIN DE FER.....	13
5.3. GROS THIER BOVENISTIER.....	15
5.4. SOLE 4 .....	17
5.5. HAUTE BOVA .....	21
5.6. EXPERIMENTATION SOL RESIDUS .....	23
<b>6. PRAIRIES .....</b>	<b>27</b>

## 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 à la culture du maïs et de 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. L'outil 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 APL<sup>1</sup> (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)<sup>2</sup>. 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.*

---

<sup>1</sup> Azote Potentiellement Lessivable.

<sup>2</sup> Rapports disponibles sur [www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/grenera\\_rapports\\_activites\\_lysimetres.htm](http://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.

En 2021, une synthèse réalisée à travers les quatre questions suivantes a été réalisée par Vandenberghe et al. (2021) :

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 ?

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).

En 2018, 10 lysimètres expérimentaux ont été restaurés. En 2019, un couvert prairial a été semée sur ces derniers.

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, 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 Hesbaya 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 lysimètres de Hesbaye sont installés dans quatre parcelles situées à proximité de Waremme au sein de trois exploitations agricoles faisant partie du « Survey Surfaces Agricoles ». Les parcelles équipées de lysimètres sont également suivies par le CPL Végémar<sup>3</sup> 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.

Trois lysimètres ont été placés dans des parcelles irrigables intégrant des cultures légumières industrielles en rotation avec les grandes cultures classiques. Le quatrième lysimètre est situé 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 et
- Sole 4 (figure 2).

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 m<sup>2</sup> 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...) (figure 1).

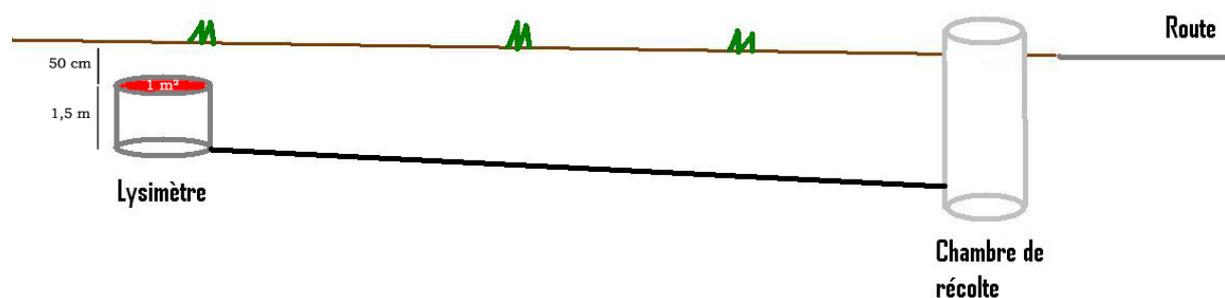


Figure 1. Coupe d'un dispositif lysimétrique (Vandenberghe et al., 2021).

<sup>3</sup> Centre Provincial Liégeois de productions VEGÉtales et MARaichères

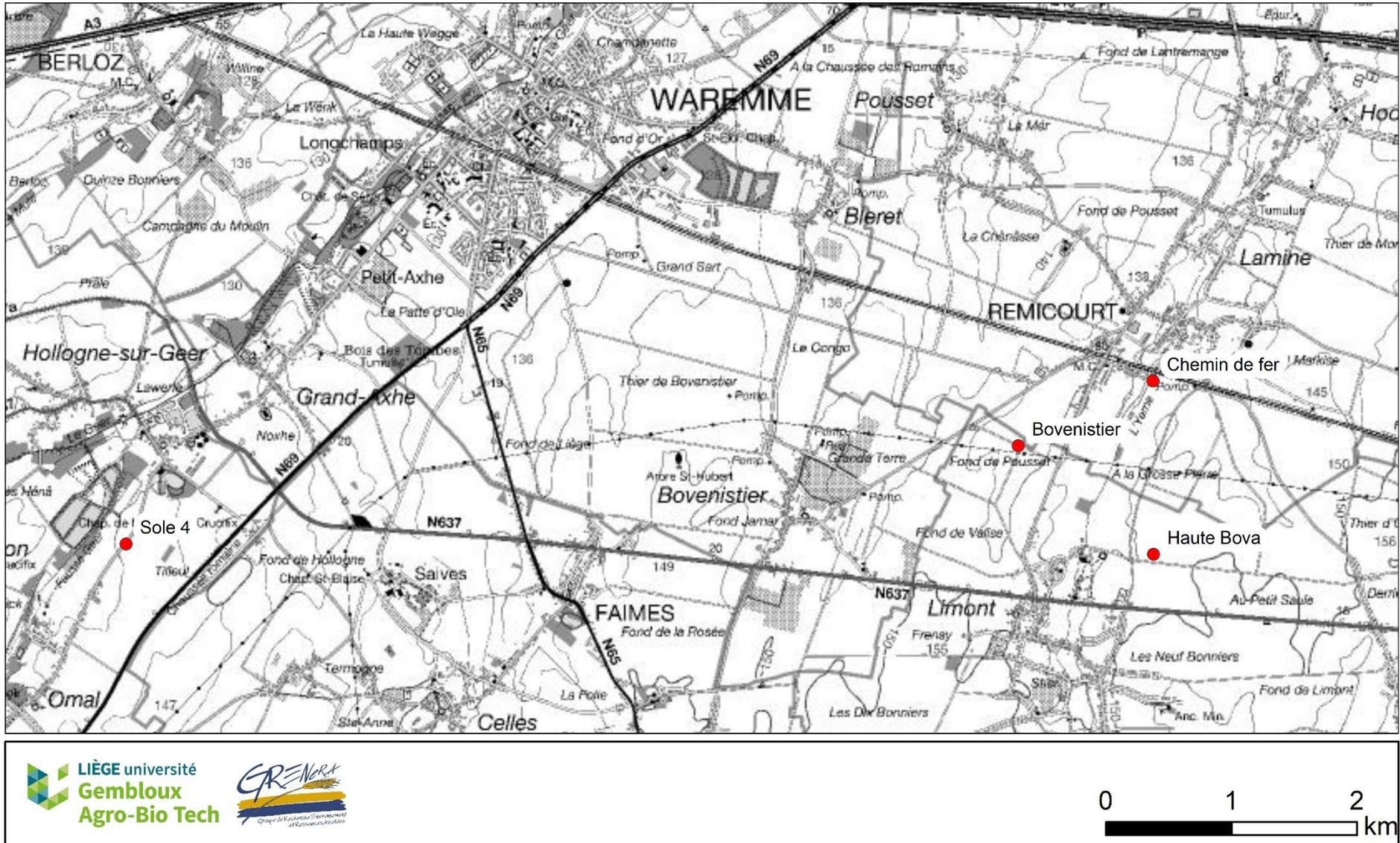


Figure 2. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Haute Bova et Sole 4.

## 3.2. Gembloux Agro-Bio Tech

### 3.2.1. Cultures annuelles

Les lysimètres ‘Sol Résidus (SR)’ ont été installés en 2008 lors de la mise en place de l’expérimentation Sol Résidus – sol couvert. Cette expérimentation vise à étudier l’impact de la gestion des résidus de cultures et de la gestion du travail du sol sur différents paramètres.

Les sols des quatre parcelles de l’expérimentation Sol Résidus équipées de lysimètres sont des sols limoneux profonds à drainage naturel favorable et à horizon B textural (figure 3).



**Figure 3. Contexte pédologique à proximité des parcelles de l’expérimentation Sol Résidus.**

Le dispositif croise deux facteurs expérimentaux :

1. gestion des résidus<sup>4</sup> (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.

<sup>4</sup> Paille de céréale

### 3.2.2. Couvert prairial

En 2019, un couvert prairial a été semé sur les dix lysimètres ‘prairie’ (photo ci-dessous). Les itinéraires culturaux mis en œuvre sur ces lysimètres devront permettre d’évaluer l’impact des dates d’apports de fertilisants organiques, notamment en entrée et en sortie d’hiver, sur la concentration en nitrate de l’eau de percolation.

Les modalités de fertilisations sont reprises dans le tableau 1.

**Tableau 1. Phasage de l'expérimentation. Fertilisation 1 : 80 kg N ha<sup>-1</sup> (organique). Fertilisation 2 : 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Fertilisation 3 : 40 kg N ha<sup>-1</sup>. Fertilisation 4 : 80 kg N ha<sup>-1</sup> (organique).**

Fertilisation \ Modalité	1	2	3	4
A	15 janvier	± 15 mai	Fin juin	-
B	1 <sup>er</sup> mars	± 15 mai	Fin juin	± 30 août
C	1 <sup>er</sup> mars	± 15 mai	Fin juin	± 30 septembre
D	1 <sup>er</sup> mars	± 15 mai	Fin juin	± 30 octobre
E	1 <sup>er</sup> mars	± 15 mai	Fin juin	-



## 4. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques, principalement la température et les précipitations, conditionnent les flux d'eau à travers la zone racinaire.

Depuis plusieurs années, les conditions météorologiques observées en Belgique présentent une variabilité interannuelle importante (tableau 2).

L'année 2020 est caractérisée par l'IRM comme « la plus chaude jamais enregistrée » (IRM, 2020)<sup>5</sup>. L'IRM qualifie l'hiver de « très doux », le printemps de « sec et très ensoleillé », l'été de « chaud et sec » et l'automne de « très chaud ».

L'année 2021 est caractérisée par l'IRM comme « très humide » (IRM, 2021)<sup>6</sup>. D'après l'IRM, l'hiver est « variable ». Le début de l'hiver (décembre 2020) était chaud. La fin du mois de décembre a été très pluvieuse. Alors que le mois de janvier était plutôt humide, celui de février était plus sec. Bien que la fin du mois de mars ait été « très chaude », le printemps est globalement qualifié de « froid ». L'été est le « plus humide jamais enregistré » à la station météorologique de Uccle. L'IRM qualifie l'automne comme « plutôt sec et très calme ». Les précipitations observées en octobre sont toutefois largement supérieures à la normale mensuelle.

L'IRM qualifie l'hiver 2021-2022 est comme « plutôt chaud et humide », le printemps 2022 comme « sec, chaud et ensoleillé » et l'été comme « extrêmement sec, chaud et ensoleillé ».

**Tableau 2. Synthèse mensuelle des données météorologiques de la station IRM à Uccle (IRM, 2023).**

	Température [°C]				Précipitation [mm]			
	2022	2021	2020	Normale	2022	2021	2020	Normale
Janvier	4,3	3	5,9	3,7	67,2	131,3	51,3	75,5
Février	6,6	5,3	7	4,2	94,2	53	107,7	65,1
Mars	8,6	7,4	7,1	7,1	2,2	44,2	81,2	59,3
Avril	10,1	7,3	12,6	10,4	37,4	35,6	19	46,7
Mai	15,1	11,6	14,2	13,9	69,2	85,8	5,4	59,7
Juin	17,7	18,6	17,5	16,7	87,6	121	69,4	70,8
Juillet	19,6	17,9	17,9	18,7	5,2	166,5	47,4	76,9
Août	21,4	16,9	20,9	18,4	17,8	123,2	51,4	86,5
Septembre	15,1	16,6	16,4	15,2	104,8	26	101,8	65,3
Octobre	14,4	11,5	11,5	11,3	40,7	121,1	75,8	67,8
Novembre	9,1	6,4	9,2	7,2	64,6	33,5	41,7	76,2
Décembre	4,2	5,6	5,7	4,3	110,5	97,6	79,9	87,4

<sup>5</sup> <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/bilans-climatologiques/2016-2020/2020/annee>

<sup>6</sup> <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/bilans-climatologiques/2021/annee>

## 5. Suivi lysimétrique en culture annuelle

---

### 5.1. Introduction

Les résultats du suivi lysimétrique sont présentés sur base des graphiques dont un exemple est repris sur la figure 4.

Le graphique A présente l'évolution des APL au cours du temps. Les mesures de la teneur en azote réalisées en dehors de la période s'étalant entre le 15 octobre et le 15 décembre ne sont pas présentées. Ces valeurs correspondent à l'indicateur du risque contamination de la ressource en eau. Lorsqu'aucune mesure APL n'a été réalisée (cas des lysimètres 'prairie'), ce graphique n'est pas présenté.

Le graphique B illustre l'évolution du cumul de la lixiviation de l'azote nitrique. Les valeurs (négatives) correspondent au produit du volume d'eau récolté à l'exutoire du lysimètre et de sa concentration en azote nitrique.

Le graphique C met en évidence le suivi de la concentration en nitrate dans les échantillons récoltés à l'exutoire du lysimètre.

Le graphique D présente le cumul des flux d'eau récoltés durant la période de drainage. Ces périodes de drainage s'étalent généralement l'hiver mais des précipitations printanières ou estivales conséquentes peuvent également induire une reprise de drainage.

Enfin, le graphique E permet d'appréhender la concentration moyenne en nitrate observée durant chaque épisode de drainage.

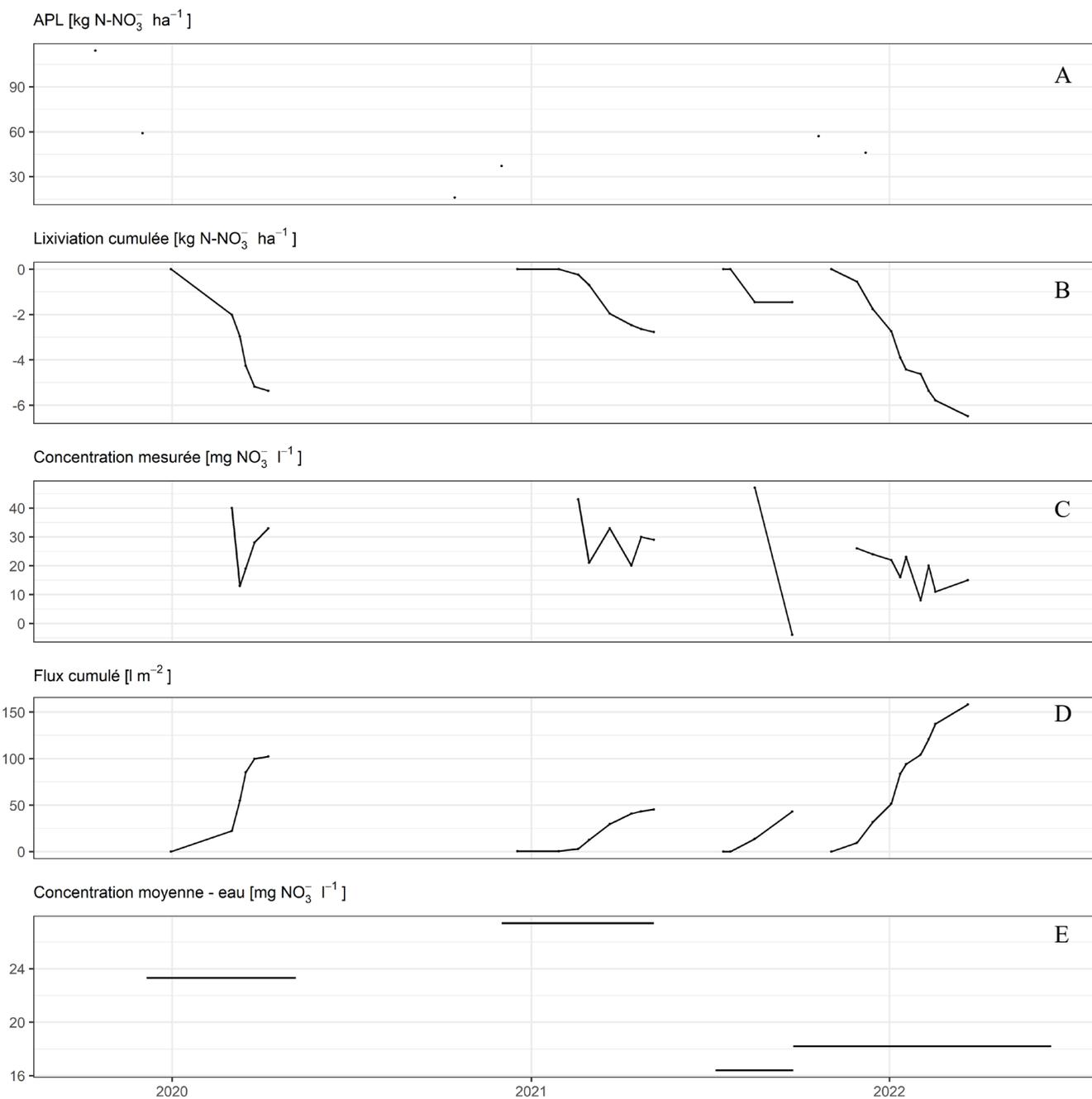


Figure 4. Suivi lysimétrique (exemple).

## 5.2. Grosse Pierre Chemin de fer

La parcelle Grosse Pierre Chemin de fer est suivie depuis 20 ans. L'itinéraire culturale récent peut être décrit comme suit.

En 2019, une culture de pommes de terre a été emblavée sur la parcelle. La culture a reçu une première dose d'engrais en mai 2019 (106 kg N ha<sup>-1</sup>) et un second en septembre 2019 (8 kg N ha<sup>-1</sup>). Il est vraisemblable que la culture de pommes de terre ait été irriguée durant l'été 2019.

Après la récolte, du froment a été semé. La céréale a été fertilisée par deux traitements respectivement en avril et en mai 2020 pour un total de 132 kg N ha<sup>-1</sup>. Après la récolte, du compost a été apporté sur la parcelle (169 kg N ha<sup>-1</sup>) avant le semis d'une CIPAN.

En 2021, une culture de carottes a été installée sur la parcelle. Elle a été fertilisée avec 40 kg N ha<sup>-1</sup>.

En 2022, la parcelle a été emblavée d'une double culture de légumes (fève et épinard).

Les APL mesurés depuis 2019 sont repris dans le tableau 3.

**Tableau 3. APL mesurés sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de fer depuis 2019.**

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2019	Pomme de terre	111	49	108	31
			37		50
			25		27
2020	Froment	55	14	26	9
			28		8
			13		9
2021	Carotte	13	6	20	6
			3		8
			4		6
2022	Fève - épinard				

Entre octobre et décembre 2019, on constate un enrichissement de la teneur en azote nitrique de couche 30-60 et une diminution dans la couche 0-30. Le RSH mesuré en janvier 2020 met en évidence une lixiviation au-delà de 90 cm d'au moins 40 kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> (non présenté dans le tableau).

La diminution de l'APL entre octobre et décembre 2020 est principalement imputable au développement végétatif de la CIPAN. Le cumul de précipitation mesurée à la station météorologique de Geer (réseau Agromet) n'est que d'environ 60 mm.

La culture de carottes de 2021 a laissé des APL faibles. Entre les deux mesures, on constate une légère augmentation de la teneur en azote nitrique dans les couches 30-60 et 60-90 cm ainsi qu'une augmentation de l'APL, résultat des processus de minéralisation.

La figure 5 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

Comme il a été discuté précédemment, une lixiviation d'au moins 40 kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> a été observée entre octobre 2019 et janvier 2020 sur base des analyses de sol. La quantité lixiviée évaluée sur base des échantillons d'eau récoltés à l'exutoire des lysimètres ne montrent pas une telle lixiviation d'azote nitrique. Au total, l'équivalent d'environ 6,5 kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> ont été observés à l'exutoire du lysimètre entre le 1<sup>er</sup> janvier 2020 et le 1 octobre 2022.

Il est vraisemblable que les cultures de froment et/ou de carotte ont profité de ce stock de nitrate.

Suite aux conditions météorologiques particulièrement pluvieuses observées en été 2021, des flux d'eau (environ 10 l) ont été mesurés à l'exutoire du lysimètre fin d'été. La concentration en nitrate était d'environ 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>. La concentration en nitrate observée durant la reprise de drainage est du même ordre de grandeur que celle observée à la fin de la période précédente.

Entre l'automne 2019 et le printemps 2022, on a observé des flux d'eau (au maximum 80 litres par an) inférieures à la « normale » attendue (environ 200 litres par an). Les conditions de sécheresse de ces dernières années (déficit hydrique annuel souvent supérieur à 100 mm et température plus élevée<sup>7</sup>) expliquent cette diminution de l'épaisseur de la lame drainante. Dans les conditions de ce lysimètre, on observe que la concentration moyenne en nitrate est inférieure à la moitié de l'APL.

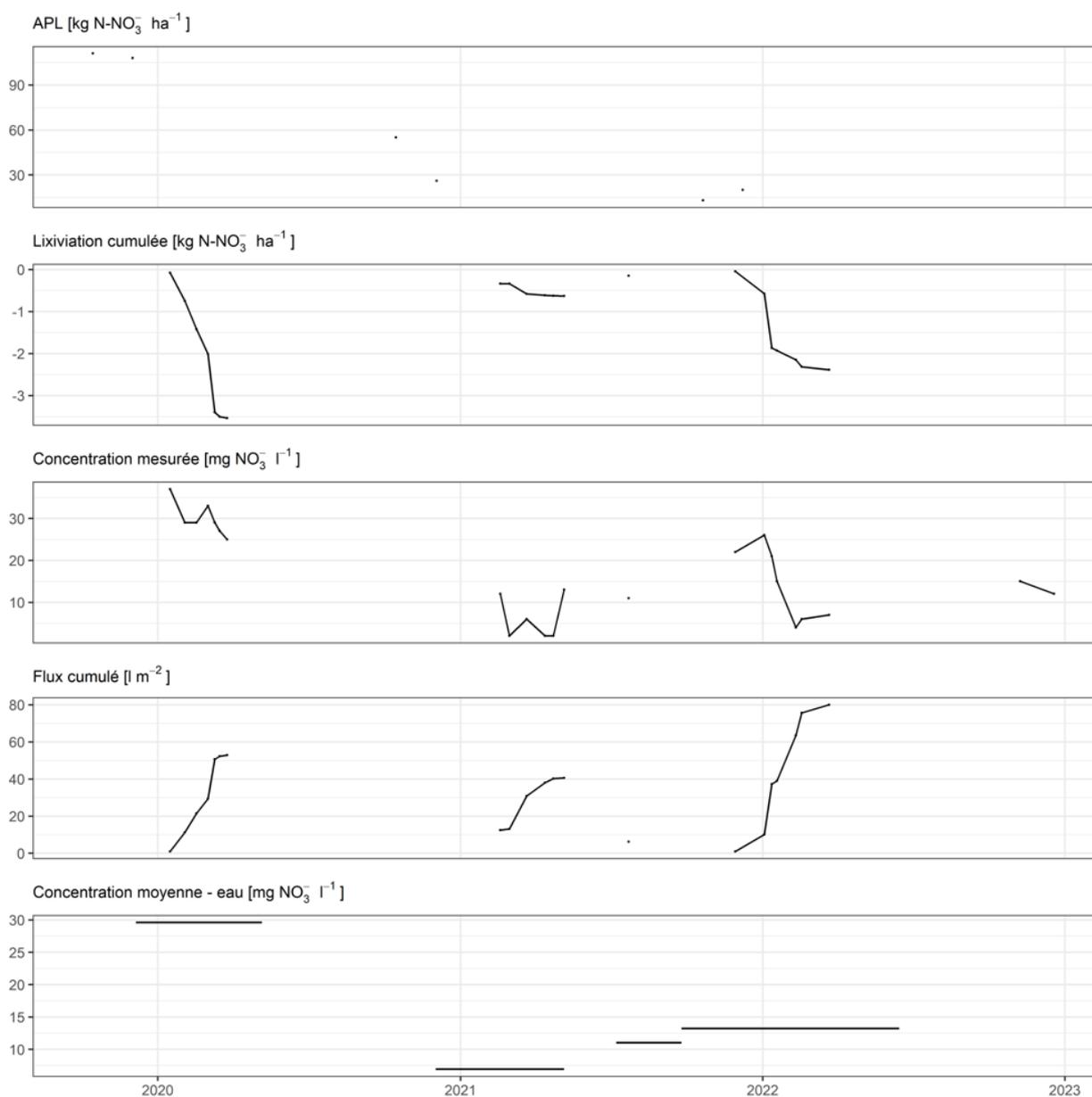


Figure 5. Suivi lysimétrique de la parcelle Grosse Pierre Chemin de fer.

<sup>7</sup> Voir Dossier GRENeRA DG 22-03

### 5.3. Gros Thier Bovenistier

La parcelle Gros Thier Bovenistier est suivie depuis 20 ans. L’itinéraire culturale récent peut être décrit comme suit.

En 2019, une culture de betterave a été emblavée sur la parcelle. Cette culture a reçu une première dose d’engrais en mars 2019 (58 kg N ha<sup>-1</sup>) et un second en juillet 2019 (9 kg N ha<sup>-1</sup>).

En 2020, la parcelle a été emblavée d’une culture de carotte. Elle a été fertilisée en mai 2020 avec 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Cette parcelle a vraisemblablement été irriguée.

Une culture de pomme de terre a été installée en 2021. La culture a été fertilisée en deux fois pour un total de 139 kg N ha<sup>-1</sup>.

Les APL mesurés depuis 2019 sont repris dans le tableau 4.

Entre octobre et décembre 2019, la teneur en azote nitrique des couche 0-30 et 30-60 diminue ; mettant en évidence une lixiviation du nitrate durant cette période. La teneur en azote nitrique de la première couche diminue également durant cette période ; signe d’une faible minéralisation de la matière organique du sol et des résidus de culture.

Les mesures APL réalisées à deux reprises en 2020 ne montrent pas de lixiviation importante dans le 0-90 cm. Un reliquat ‘sortie d’hiver’ a été réalisé en mars 2021. La teneur en azote nitrique y était alors de 39 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ; repartis en 15, 12 et 12 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> respectivement dans les couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm. L’enrichissement de la première couche met en évidence une légère minéralisation de la matière organique du sol. La lixiviation au-delà de la zone racinaire a vraisemblablement été négligeable durant cette période.

Les APL mesurés après la culture de pomme de terre de 2021 sont respectivement de 51 et 79 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> en octobre et en décembre. Contrairement au couche 30-60 et 60-90 cm, la teneur en azote nitrique de la première couche est restée stable entre les deux mesures. L’augmentation de la teneur en azote nitrique met en évidence le processus de lixiviation du nitrate.

Un reliquat ‘sortie d’hiver’ a été réalisé en janvier 2022 ; un mois environ après la dernière mesure APL. La teneur en azote nitrique n’y était plus que de 40 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ; repartis en 7, 15 et 18 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> respectivement dans les couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm.

On peut donc raisonnablement penser qu’au moins 40 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ont été lixiviés.

**Tableau 4. APL mesurés sur la parcelle Gros Thier Bovenistier depuis 2019.**

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2019	Betterave	27	11	20	8
			12		7
			4		5
2020	Carotte	32	10	37	10
			14		15
			8		12
2021	Pomme de terre	51	23	79	23
			14		31
			14		25
2022	Froment				

La figure 6 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

Aucun flux d'eau n'a été collecté à l'exutoire du lysimètre après la culture de betterave (2019).

Après la culture de carotte, environ 55 litres ont été récoltés à l'exutoire du lysimètre. Au total, la perte d'azote nitrique par lixiviation est inférieure à  $1 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ . Ces observations sont en adéquation avec les mesures APL et de reliquat 'sortie d'hiver' réalisées entre octobre 2020 et mars 2021.

En 2021, les conditions météorologiques ont conduit à une reprise de drainage durant l'été ; favorisée le faible enracinement de la culture de pomme de terre. Environ 70 litres ont été collectés avec une concentration moyenne de  $14 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ . On peut calculer que le flux d'eau a lixivié environ  $2,1 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ .

Durant la saison de drainage qui suit la culture de pomme de terre, environ 80 litres ont percolés jusqu'à l'exutoire du lysimètre. La concentration moyenne était d'environ  $20 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ . Les mesures APL et de reliquat 'sorti d'hiver' ont mis en évidence une lixiviation d'au moins  $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ . En absence de sécheresse, le suivi lysimétrique permettra d'évaluer la capacité de la culture de froment à valoriser l'azote nitrique lixivié au-delà des 90 cm de profondeur.

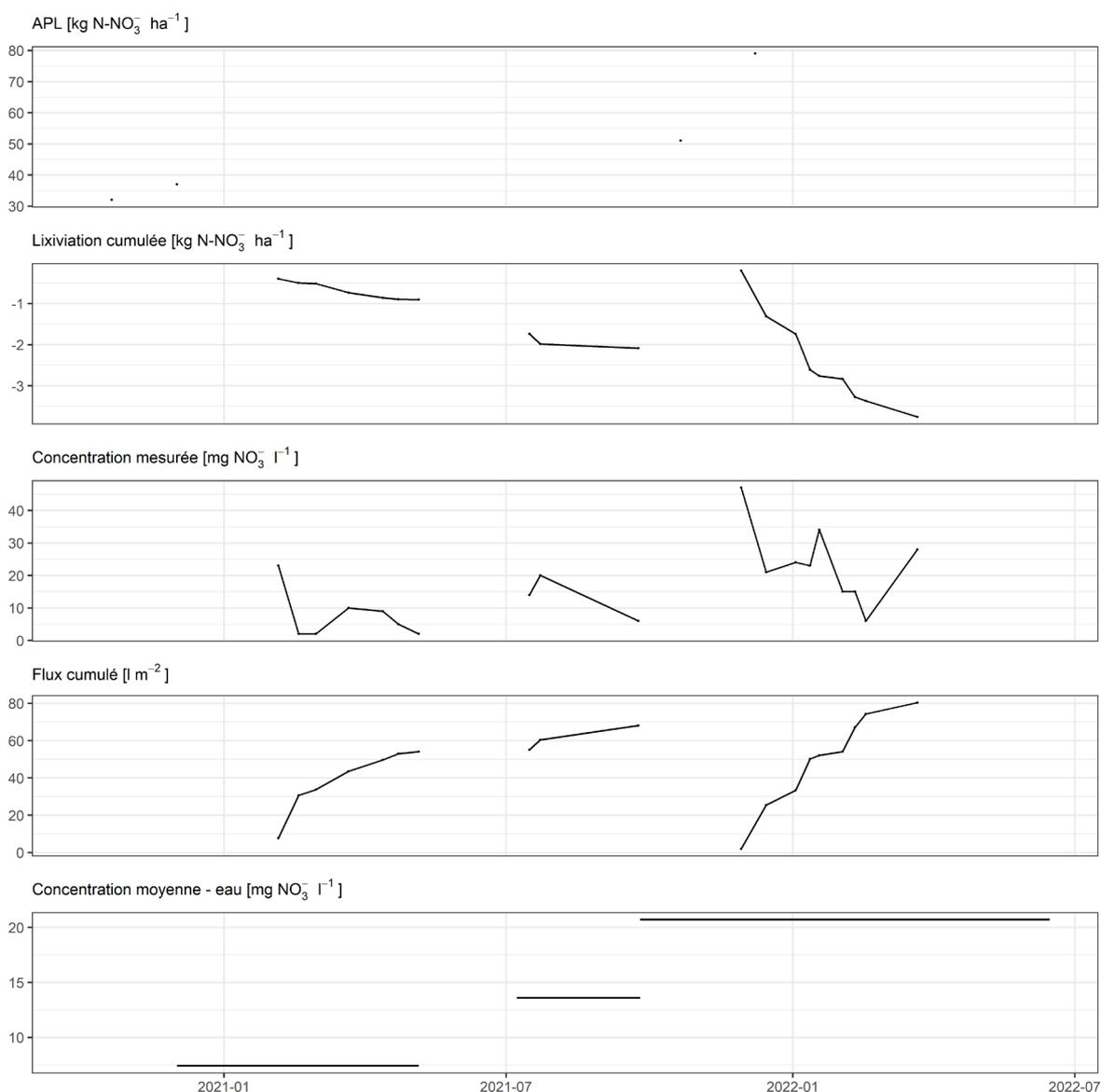


Figure 6. Suivi lysimétrique de la parcelle Gros Thier Bovenistier.

## 5.4. Sole 4

La parcelle Sole 4 est suivie depuis 20 ans. L'itinéraire culturale récent peut être décrit comme suit.

En 2019, une culture de fève suivie d'une culture d'épinard ont été emblavées sur la parcelle. La culture de fève a été fertilisée par une dose starter de  $38 \text{ kg N ha}^{-1}$ . La culture d'épinard a été fertilisée en deux fractions respectivement 90 et  $37 \text{ kg N ha}^{-1}$ . La parcelle a vraisemblablement été irriguée.

La culture de pomme de terre de 2020 a été fertilisée par trois applications entre avril et juin pour un total de  $94 \text{ kg N ha}^{-1}$ . La parcelle a vraisemblablement été irriguée.

Après la récolte de pomme de terre une culture de froment a été semée. Elle a été fertilisée à trois reprises entre mars et juin pour un total de  $193 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Après la récolte du froment, une culture d'épinard a été semée avant l'hiver.

Les APL mesurés depuis 2019 sont repris dans le tableau 5.

**Tableau 5. APL mesurés sur la parcelle Sole 4 depuis 2019.**

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2019	Fève - épinard	40	3	38	21
			34		11
			3		6
2020	Pomme de terre	137	44	111	28
			55		45
			38		38
2021	Froment	53	27	66	9
			18		43
			8		14
2022	Epinard - haricot				

En 2019, les repousses d'épinard, toujours en place en octobre, ont joué le rôle de CIPAN ; ce qui explique l'APL relativement faible.

Entre octobre et décembre 2019, l'APL total mesuré sur 90 cm est resté globalement stable. Cependant, la teneur en azote nitrique de la couche 0-30 cm augmente, par la minéralisation de la matière organique du sol et des résidus de culture, de  $18 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ . Dans la couche, 30-60 cm, la teneur diminue par lixiviation. La teneur en azote nitrique totale comprise dans la couche 30-90 cm est de  $37 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  en octobre et de  $17 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  en décembre. Par différence, on constate donc une lixiviation minimale d'au moins  $20 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ .

Une mesure du reliquat 'sortie d'hiver' a été réalisée le 5 mars 2020. Les teneurs en azote nitrique étaient de 17, 31 et  $37 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  pour un total de  $85 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  mesurées respectivement dans les couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm. La teneur en azote nitrique a donc globalement augmenté entre la mesure APL de décembre et la mesure du reliquat au printemps. La teneur dans la couche de surface est restée stable passant de 21 à  $17 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ . Les teneurs dans les couches plus profondes ont largement augmenté ;  $20 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  dans la couche 30-60 et presque  $30 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  dans la couche 60-90 cm. Après les mesures de l'APL, processus de minéralisation et de lixiviation ont continué simultanément.

Les valeurs APL mesurées en 2020 après la culture de pomme de terre sont assez élevées et diminuent entre les deux dates de mesure. La diminution de l'APL entre les deux dates n'est pas imputable au

développement végétatif du froment (semé en automne 2020). Durant cette période, le système racinaire de la culture ne lui permet d'explorer la couche 30-60 cm.

Bien que l'année 2020 ait été particulièrement chaude et sèche, le déficit hydrique a vraisemblablement été compensé par irrigation. La diminution de la teneur en azote nitrique ( $30 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ ) dans les couches 0-30 et 30-60 cm est donc vraisemblablement imputable à la lixiviation.

La teneur en azote nitrique de la couche 60-90 cm n'augmente pas entre les deux dates de mesures. Le nitrate a donc été lixiviation à une profondeur plus importante.

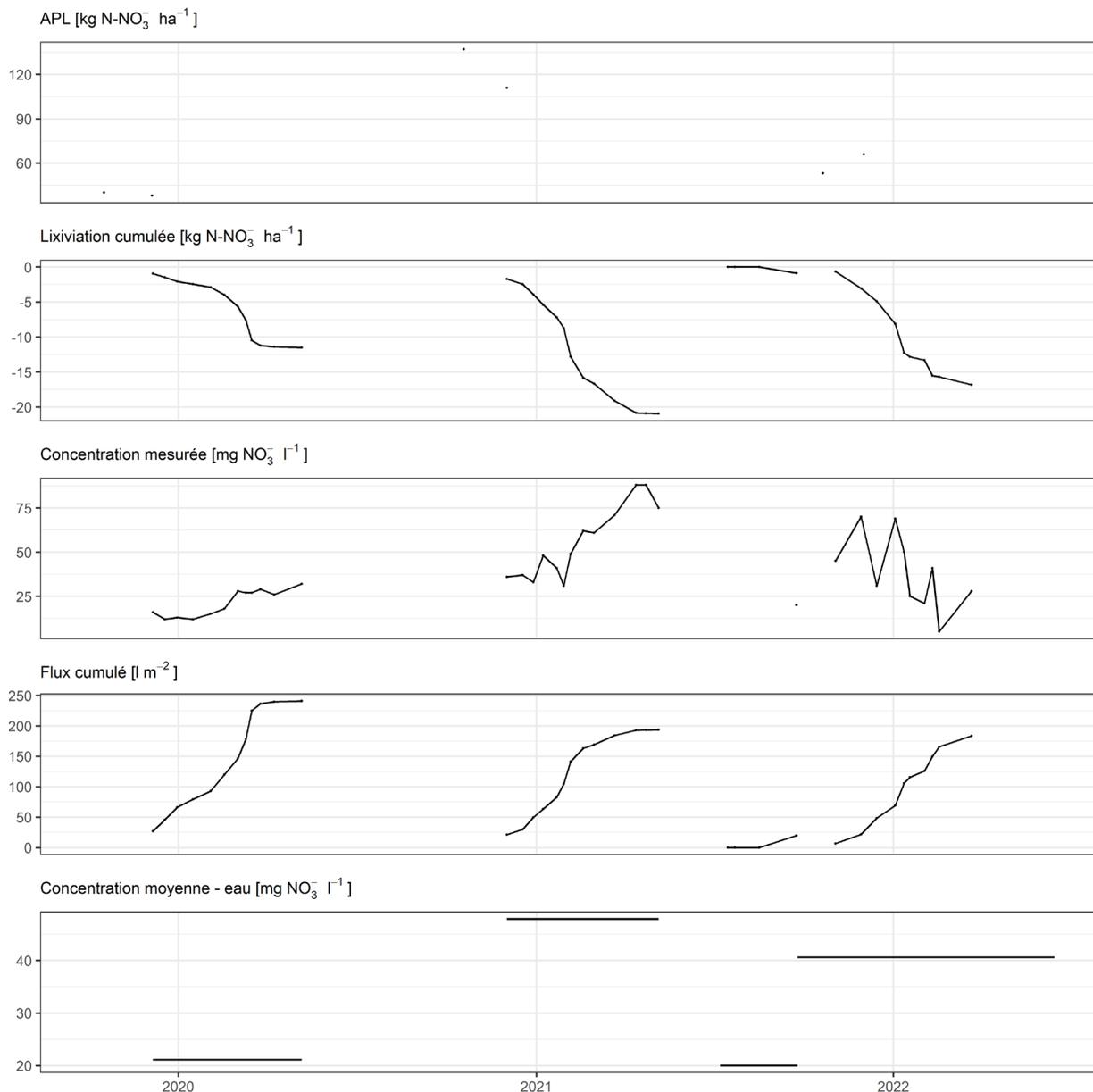
Des mesures de reliquats 'sortie d'hiver' ont été réalisés le 3 janvier et le 17 février 2021. Lors de la première mesure, les teneurs en azote nitrique étaient 6, 23 et  $41 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  dans les trois couches, soit un total de  $70 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ . Lors de la seconde mesure, les teneurs n'étaient plus que de 6, 4 et  $6 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  dans les trois couches ; soit un total de  $16 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ . Entre ces deux dates de prélèvement, la station météorologiques de Geer a enregistré une pluviométrie de 116 mm.

Entre la première mesure APL ( $137 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ ) et la dernière mesure de reliquat ( $16 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ ), au moins  $110 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  ont été lixiviés. Au cours de cette période, la station de Geer a enregistré 223 mm de pluie.

Les dernières mesures APL réalisées en 2021 mettent également en évidence le couplage des processus (lixiviation, minéralisation et prélèvement) entre les mois d'octobre et de décembre. La teneur en azote nitrique est plus importante en décembre qu'en octobre. Cependant, on constate une diminution la teneur dans la couche 0-30 cm. Une partie de ce stock a été valorisé par la culture d'épinard. Une autre a été lixiviée car la teneur en azote nitrique dans les couches 30-60 et 60-90 cm augmente.

Un tel cas de figure ne permet pas d'estimer la quantité minimale de nitrate lixiviée entre les deux prélèvements.

La figure 7 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.



**Figure 7. Suivi lysimétrique de la parcelle Sole 4.**

Les flux d'eau cumulés récoltés durant les hivers 2019-2020 et 2020-2021 à l'exutoire du lysimètre sont contradictoire par rapport aux conditions de sécheresse et confirme le fait que la parcelle ait été irriguée durant ces deux années.

Durant la saison de drainage 2019-2020, environ 10 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ont percolés jusqu'à l'exutoire du lysimètre. Pour rappel, une perte d'au moins 20 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> avait été estimé sur base des mesures APL. Compte tenu de l'irrigation de la parcelle, le volume percolé est important ; environ 250 litres. La concentration en nitrate est donc logiquement diminuée par la dilution.

Durant la période de drainage 2020-2021, la concentration en nitrate augmente jusqu'à 88 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup> avant de légèrement diminuer. Durant cette période, 21 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ont été lixivié jusqu'à l'exutoire du lysimètre.

Une reprise de drainage a été observée en septembre 2021 durant laquelle une vingtaine de litres ont été récoltés. La concentration en nitrate était alors de  $20 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ .

La concentration en nitrate observée durant la période de drainage 2021-2022 est largement supérieure à celle observée lors de la reprise de drainage. Il semblerait donc lors de la reprise de drainage, le transfert rapide, potentiellement lié à des flux préférentiels n'ait pas mobilisé l'ensemble du nitrate compris entre 90 cm et la base de lysimètre (200 cm).

Le pic de pollution lié à la lixiviation de minimum de  $110 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  dans le 0-90 cm a donc été atteint durant la période de lixiviation 2020-2021. Par la suite environ l'équivalent de  $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  a été récolté à l'exutoire du lysimètre. La culture de froment a donc valorisé environ  $70 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  situé entre 90 et 200 cm.

Les APL laissés après la culture de froment (2021) contribuent à la diminution de concentration en nitrate à l'exutoire du lysimètre.

## 5.5. Haute Bova

La parcelle Haute Bova est suivie depuis plus de 15 ans. L'itinéraire culturale récent peut être décrit comme suit.

En 2019, du froment a été semé après l'arrachage de betteraves. Il a été fertilisé par deux apports de 70 kg N ha<sup>-1</sup>. Du fumier de bovin a été apporté sur la parcelle avant le semis d'une CIPAN.

En 2020, la parcelle a été emblavée de chicorées. La culture n'a pas été fertilisée.

En 2021, la parcelle a été emblavée de froment. La culture a été fertilisée par trois apports totalisant 180 kg N ha<sup>-1</sup>. Du fumier de bovin a été apporté sur la parcelle avant le semis d'une CIPAN.

Les APL mesurés depuis 2019 sont repris dans le tableau 6.

**Tableau 6. APL mesurés sur la parcelle Haute Bova depuis 2019.**

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2019	Froment	114	69	59	9
			41		23
			4		27
2020	Chicorée	18	11	37	14
			5		15
			2		8
2021	Froment	57	37	46	14
			13		17
			7		15
2022	Betterave				

En 2019, à cause de l'apport de fumier et du faible développement de la CIPAN, l'APL mesuré en octobre est important. Sous l'action combinée du prélèvement par la CIPAN et de la lixiviation, la teneur en azote nitrique diminue dans la couche 0-30 et augmente dans la couche 60-90 cm entre les deux échantillonnages.

Sur base de ces valeurs, il n'est pas possible d'estimer une lixiviation minimum.

En 2020, les APL mesurés après l'arrachage des chicorées sont faibles. La minéralisation de la matière organique du sol et des résidus de culture et la lixiviation augmentent l'APL dans les trois couches entre octobre et décembre.

Une analyse du reliquat 'sortie d'hiver' a été réalisée le 19 janvier 2021. Le reliquat total était de 37 kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, respectivement 12, 15 et 10 kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> dans les couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm.

La distribution du stock d'azote nitrique dans le sol est donc sensiblement comparable entre la mi-décembre et le 19 janvier. Ce constat ne permet cependant pas d'affirmer qu'aucune perte par lixiviation n'a eu lieu entre ces deux dates.

En 2021, une CIPAN a été semée. Sous l'action combinée de son prélèvement du nitrate et de la lixiviation (légère augmentation du stock dans la couche 30-90 cm), l'APL de décembre est inférieur à celui d'octobre.

Une analyse du reliquat 'sortie d'hiver' a été réalisée le 24 février 2022. Le reliquat total était de  $86 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ , respectivement  $31, 29$  et  $26 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  dans les couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm. Cette dernière analyse met en évidence la minéralisation d'au moins  $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$  ainsi que la lixiviation du nitrate au moins vers les couches 30-60 et 60-90 cm.

La figure 8 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

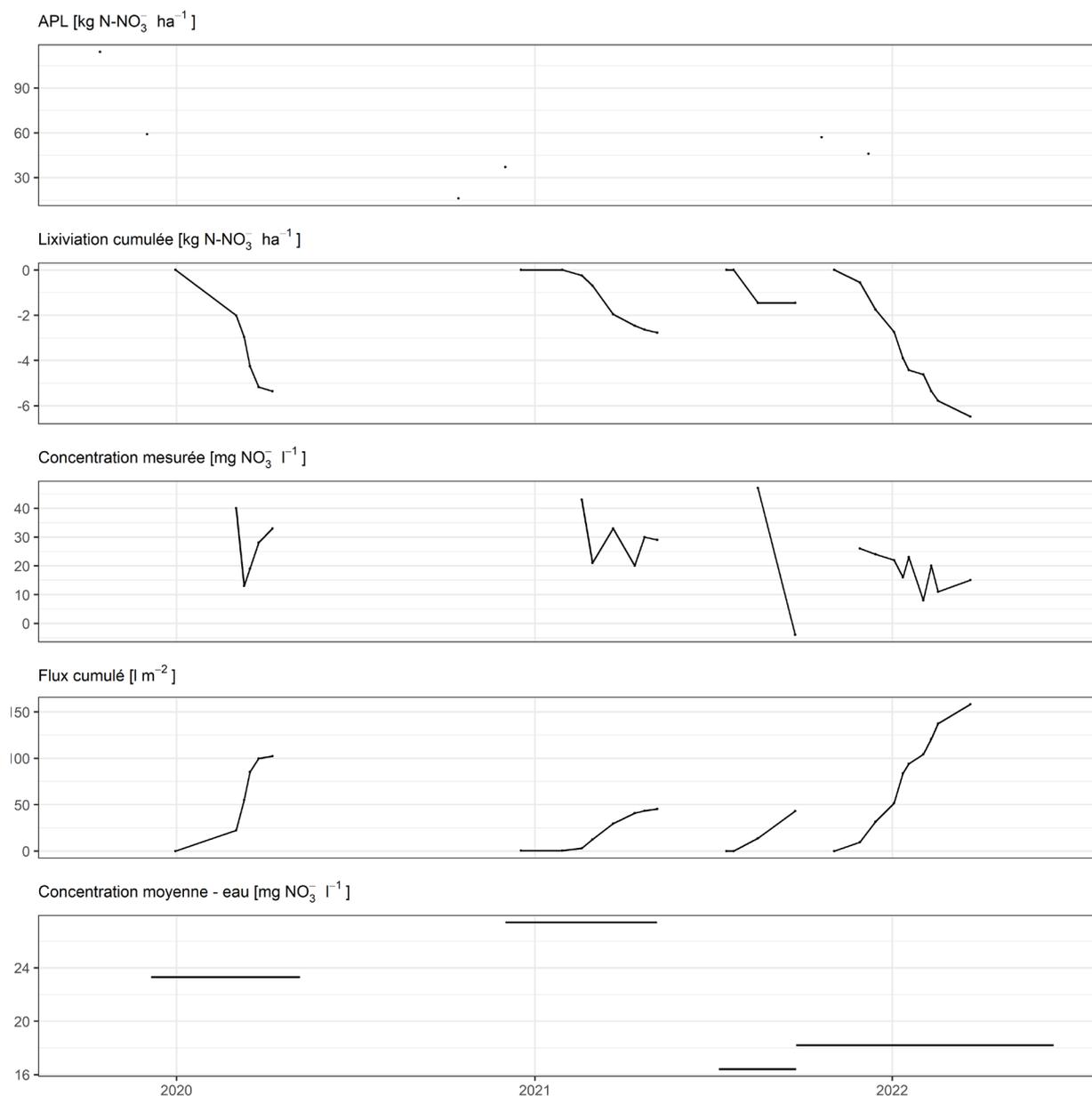


Figure 8. Suivi lysimétrique de la parcelle Haute Bova.

Depuis 2020, la concentration moyenne en nitrate dans l'eau de percolation est inférieure à 35 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>.

Une reprise de drainage a également été observée durant l'été 2021. Deux échantillons ont été prélevés. Dans les 14 litres du premier échantillon, la concentration était 47 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>. Dans le second (29 litres), la concentration était inférieure à 4 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>.

L'alternance de froment et de culture à enracinement profond mis en œuvre à l'aplomb du lysimètre de 2019 a un effet favorable pour la qualité de l'eau. Les pertes par lixiviation sont au maximum de 6 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup>.

## 5.6. Expérimentation Sol Résidus

Comme mentionné précédemment, les quatre parcelles de la plateforme Sol Résidus croisent deux facteurs :

- labour *versus* non-labour
- incorporation *versus* exportation des pailles de froment (semé tous les deux ans).

Les différentes modalités de l'essai sont répétées quatre fois. Seules les parcelles situées au droit de lysimètres font l'objet d'un suivi ; soit une des quatre répétitions.

La correspondance entre les deux facteurs et les parcelles est reprise au tableau 7.

**Tableau 7. Identification des modalités factorielles appliquées sur les parcelles 'Sol Résidus'.**

	Labour	Non-labour
Exportation de la paille	SR 8 (lab-out)	SR 4 (nlab-out)
Incorporation de la paille	SR 16 (lab-in)	SR 12 (nlab-in)

Aucune fertilisation organique n'est apportée sur la parcelle.

Entre 2019 et 2022, les parcelles Sol Résidus ont été couvertes de :

- maïs,
- froment,
- betterave,
- froment.

Notons que le lysimètre de la parcelle SR 4 ne fonctionnait pas jusqu'à sa restauration en septembre 2020. Elle a permis de s'assurer de l'étanchéité du tuyau en PEHD qui relie le lysimètre à la chambre de visite et de poser de nouveaux drains dans le lysimètre.

Les mesures APL sont réalisées une fois par an (tableau 8) :

- en 2019, les APL mesurés sur les parcelles SR 4 et 12 (non labour) étaient plus faibles que ceux des parcelles SR 8 et 16 (labour).
- en 2020, les APL des parcelles SR 4 et 12 étaient plus élevés que ceux des parcelles SR 8 et 16.
- en 2021, les APL des quatre parcelles sont comparables.

Ces observations préliminaires laissent à penser que le facteur 'labour' a une (légère) influence sur le cycle de l'azote et/ou le développement des cultures. L'influence du labour sur les propriétés pédologiques est très large. Il modifie par exemple la densité apparente du sol, la conductivité hydraulique du sol, l'agrégation des particules de sol...

A l'avenir, l'APL de l'ensemble des répétitions de l'expérimentation Sol Résidus sera mesuré. Cela permettra d'évaluer l'impact du labour et de la gestion des résidus sur le risque de lixiviation du nitrate.

**Tableau 8. Mesures APL [kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup>] réalisées dans l'expérimentation Sol Résidus.**

Culture	échantillonnage	APL SR4	APL SR8	APL SR12	APL SR16
Maïs	2 décembre 2019	36	49	45	52
Froment	20 octobre 2020	79	68	78	66
Betterave	25 octobre 2021	12	13	12	15
Froment					

Les figures 9 et 10 présentent les résultats du suivi lysimétrique récent dans les quatre parcelles Sol Résidus.

Les flux d'eau observés à l'exutoire du lysimètre SR 4 sont en adéquation avec les flux mesurés à l'exutoire des trois autres lysimètres. Environ 50 litres ont été récupérés durant la reprise de drainage de l'été 2021 et un flux d'une centaine de litres a été mesuré durant l'hiver 2021-2022.

Les concentrations moyennes en nitrate observées présentent des variations importantes entre les lysimètres :

- les moyennes des concentrations en nitrate du lysimètre SR 8 (lab-out) sont restées supérieures à 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup> entre 2019 et 2022 ;
- à l'exutoire du lysimètre SR 12 (nlab-in), les concentrations moyennes étaient proches de 40 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup> entre 2019 et 2021. A la reprise de drainage de l'été 2021, la concentration moyenne était de 85 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup> ;
- les concentrations moyennes à l'exutoire du lysimètre SR 16 (lab-in) étaient légèrement inférieures à 30 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>. Aucune reprise de drainage n'a été observée à l'exutoire de ce lysimètre en été 2021
- les concentrations mesurées dans le SR4 sont pour l'instant peu exploitables. Ce lysimètre a fait l'objet d'une réparation en 2020. Les flux d'eau observés en 2021 et 2022 n'ont pas encore atteint les flux observés aux exutoires des trois autres lysimètres.

La reprise de drainage de l'été 2021 a occasionné une lixiviation d'environ 10 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> dans les parcelles SR 8 et SR 12. Dans les parcelles SR 4 et SR 16, la lixiviation du nitrate a été négligeable durant cette période.

Après la culture de betterave et indépendamment de la reprise de drainage de l'été 2021, les concentrations moyennes ont diminué. Elles étaient comprises entre 4 et 6 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup> durant la saison de drainage 2021-2022.

Sur les quatre hivers observés, le lysimètre SR16 présente la concentration moyenne la plus faible. Ce lysimètre est en modalité 'labour & enfouissement des pailles'. Sur base des observations menées, l'enfouissement des pailles (assimilable à un maintien du taux de carbone dans le sol) a impact positif sur la lixiviation du nitrate.

Le labour a également un effet positif sur la lixiviation du nitrate puisque, dans le cas d'un enfouissement de résidus, la concentration moyenne en nitrate est inférieure à celle observée dans la modalité 'non-labour' (SR12 *versus* SR16).

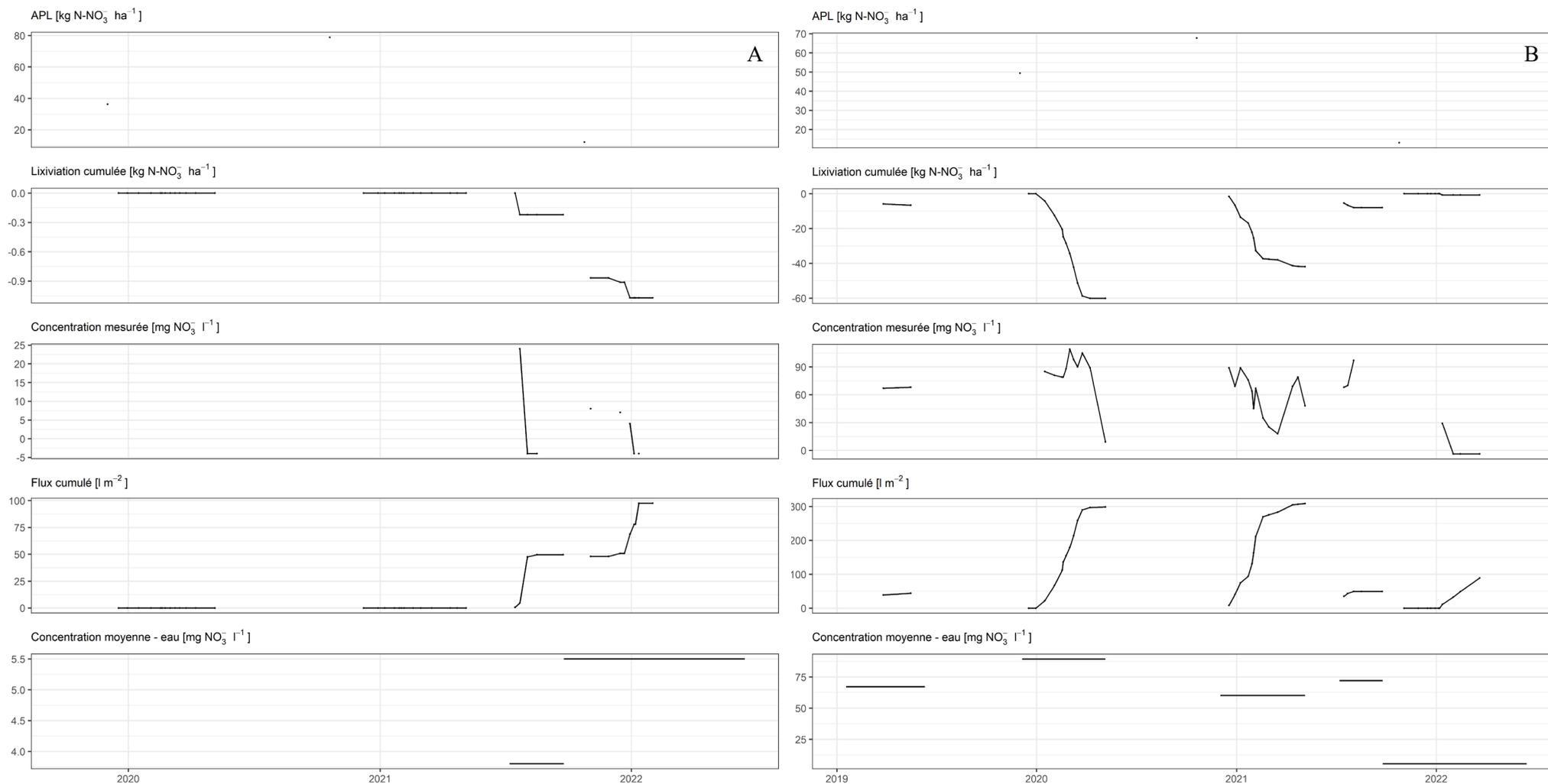


Figure 9. Suivi lysimétrique dans les lysimètres SR 4 (A) et SR 8 (B).

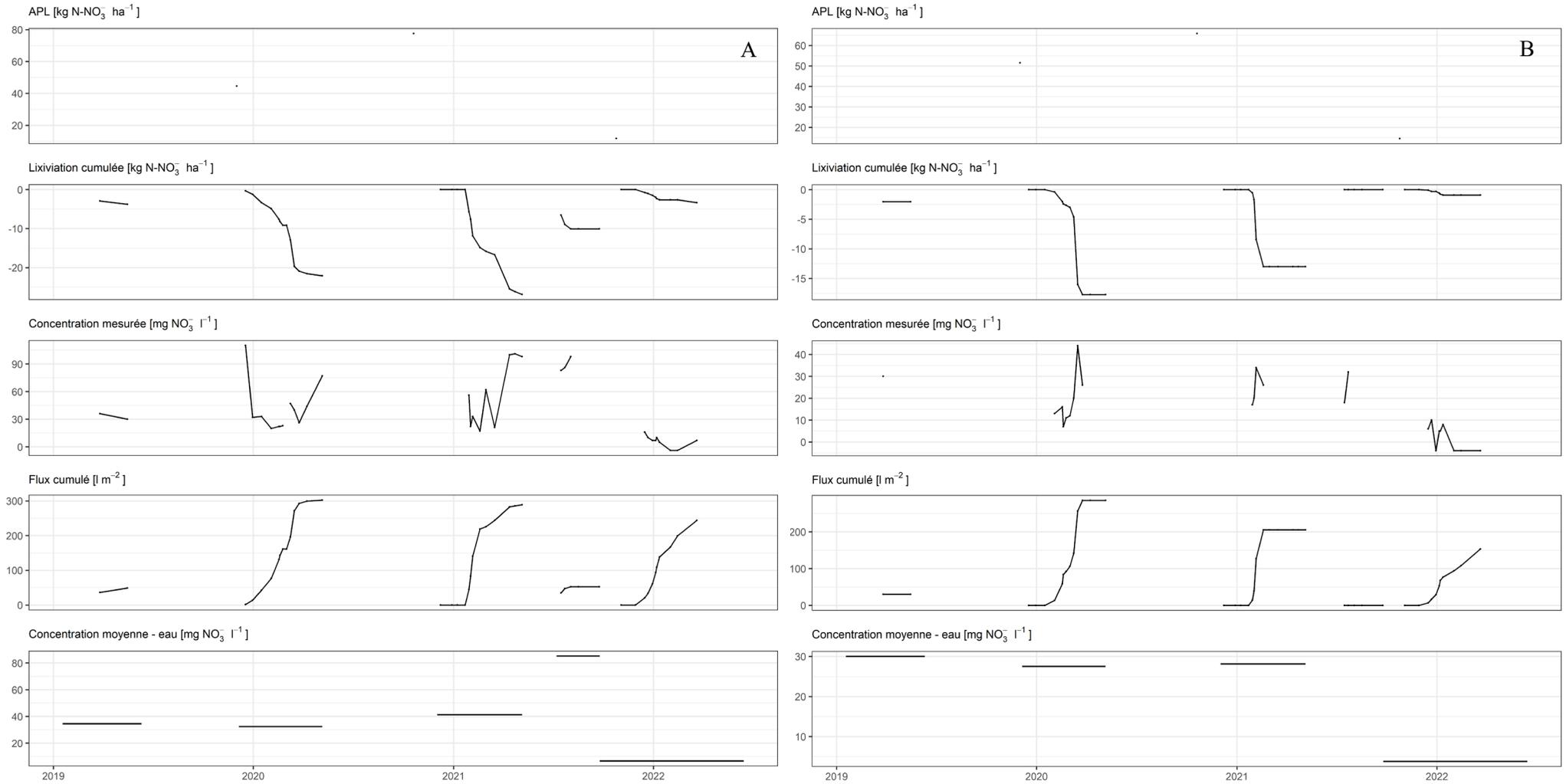


Figure 10. Suivi lysimétrique dans les lysimètres SR 12 (A) et SR 16 (B)

## 6. Suivi lysimétrique en prairie

### 6.1. Introduction

Les lysimètres ont été mis en place (semis d'un couvert prairial) en septembre 2019. Le suivi de ces lysimètres a débuté en septembre 2020.

Pour rappel, l'objectif de ces lysimètres est de mettre en évidence l'impact environnemental des apports hâtifs de fertilisant à la fin de l'hiver et des apports tardifs en fin d'automne. Pour ce faire, les dix lysimètres ont été répartis en cinq modalités (tableau 1).

Le tableau 9 détaille l'historique précis des fertilisations réalisées.

Les fertilisations apportées aux lysimètres avant le 19 janvier 2022 ne respectent pas forcément le protocole initial. Au lieu des 80 kg N ha<sup>-1</sup> prévus :

- l'équivalent de 450 kg N ha<sup>-1</sup> ont été apportés sur les deux lysimètres de la modalité B le 4 septembre 2020 ;
- l'équivalent de 320 kg N ha<sup>-1</sup> ont été apportés sur les deux lysimètres entre le 30 septembre 2020 et le 3 novembre 2021.
- 80 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ont été apportés sous forme d'engrais minéral plutôt que sous forme d'engrais organique.

Toutes les anomalies sont marquées d'une étoile dans le tableau 9.

**Tableau 9. Fertilisations minérale (noir) et organique (gris) apportées sur les lysimètres.**

Date	Modalité A	Modalité B	Modalité C	Modalité D	Modalité E
08/06/20	80	80	80	80	80
03/08/20	40	40	40	40	40
04/09/20		450*			
30/09/20			320*		
30/10/20				320*	
19/01/21	320*				
02/03/21		80*	80*	80*	80*
12/05/21	60	60	60	60	60
29/07/21	40	40	40	40	40
03/09/21		320*			
04/10/21			320*		
03/11/21				320*	
19/01/22	80				
08/03/22		80	80	80	80
11/05/22	80*	80*	80*	80*	80*
15/07/22	40	40	40	40	40
02/09/22		80			
5/10/22			80		
4/11/22				80	

En l'absence de remontée capillaire profonde, les lysimètres sont irrigués, au besoin, pour assurer le maintien de la prairie pendant de longs épisodes de sécheresse. En 2021, chaque lysimètre a reçu 160 litres d'eau soit l'équivalent de 320 mm.

## 6.2. Résultats

Les flux d'eau enregistrés à l'exutoire des dix lysimètres sont généralement assez comparables ; ce qui indique un bon fonctionnement de ceux-ci. Par ailleurs, ces flux sont d'un ordre de grandeur double (généralement entre 200 et 300 litres/m<sup>2</sup>) de celui observé pour les lysimètres placés en plein champ. L'explication principale réside certainement dans l'épaisseur de sol : les lysimètres 'prairie' n'ont que 50 cm de sol alors que les lysimètres 'culture' ont 200 cm de sol, ce qui confère à ces derniers une réserve utile en eau quatre fois plus importante pour 'tamponner' les épisodes pluviométriques importants.

En termes de concentration en nitrate, les constats suivants peuvent être faits au cours des hivers 2020/21 et 2021/22 :

- la modalité E (assimilable au témoin, c'est à dire sans apport précoce ni tardif de lisier) présente une concentration en de l'ordre de quelques milligrammes par litre sauf lors de l'épisode estival de percolation observé en été 2021 ; la concentration moyenne était de l'ordre de 55 mg l<sup>-1</sup> ;
- la modalité D (apport de lisier à la fin octobre) présente un risque élevé : au cours du premier hiver, la concentration a été faible mais au cours du second hiver, la concentration en nitrate y a été la plus élevée (de l'ordre de 60 mg l<sup>-1</sup>) ;
- la modalité A (apport de lisier vers le 15 janvier) ainsi que les modalités B et C (apport de lisier fin août ou fin septembre) présentent généralement des concentrations hivernales comprises entre 5 et 10 mg l<sup>-1</sup> ;
- toutes modalités confondues, des concentrations élevées ont été observées au cours de la reprise de percolation observée en été 2021.

En termes de flux d'azote, généralement, chaque épisode de percolation entraîne de l'ordre de quelques kilogrammes d'azote nitrique ; ce qui en comparaison avec les apports azotés (tableau 1), ne représente que quelques pourcents des 260 kg N ha<sup>-1</sup> a apportés annuellement. Seule la modalité D (apport de lisier à la fin octobre) dénote : au cours de l'hiver 2021-22, entre 20 et 30 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> ont été emportés avec l'eau de percolation (figure 14).

## 6.3. Conclusion

Deux hivers de percolation ne représentent pas une observation suffisamment longue que pour que des conclusions robustes puissent être d'ores et déjà tirées. Provisoirement, il apparaît cependant que les fertilisations à base de lisier appliquées tardivement dans l'année (fin octobre) engendrent les flux et concentration de nitrate les plus importants. A l'inverse, un apport précoce de lisier (mi-janvier) n'a pas occasionné de pertes importantes par lixiviation, dans les conditions climatiques de ces deux hivers.

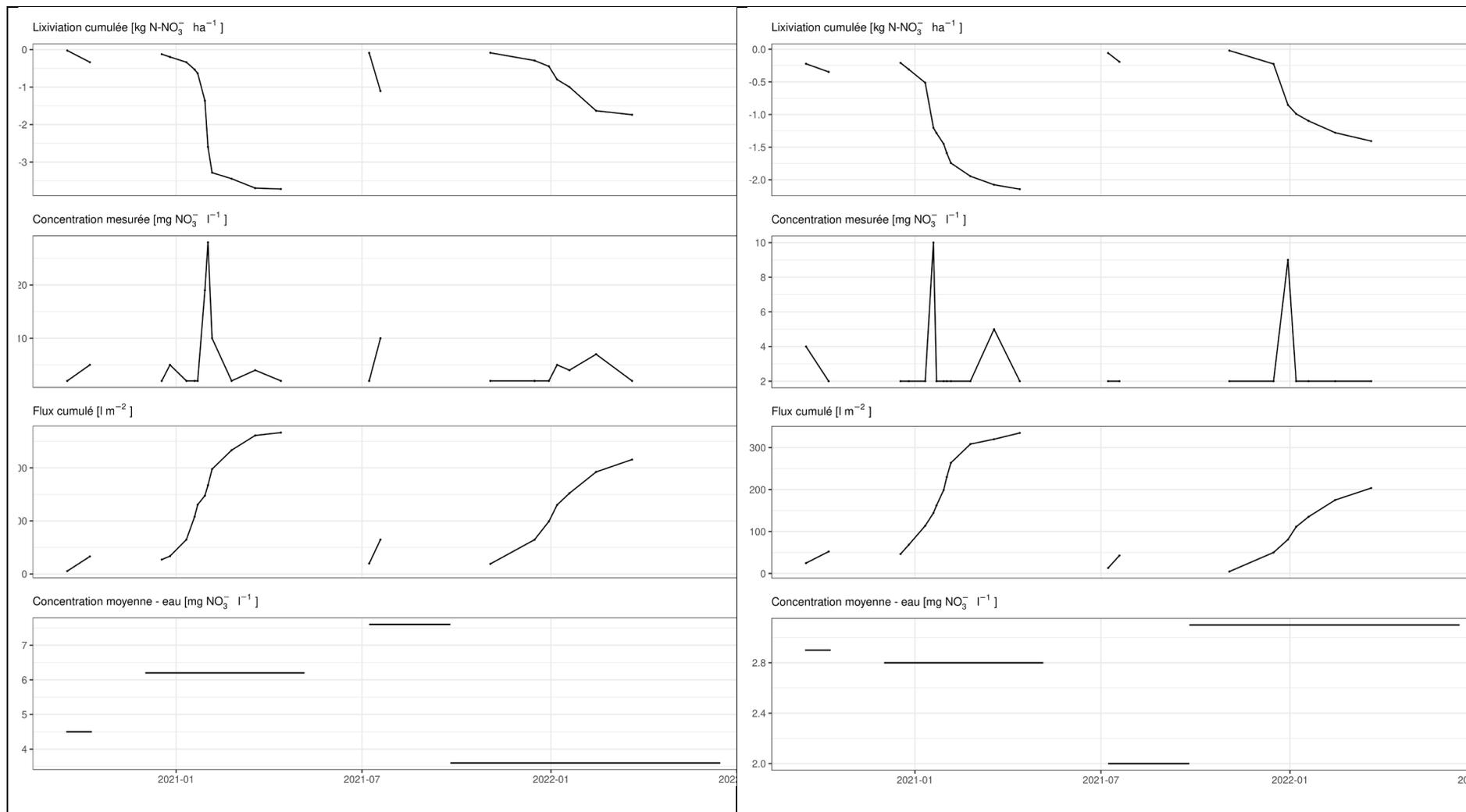


Figure 11. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité A.

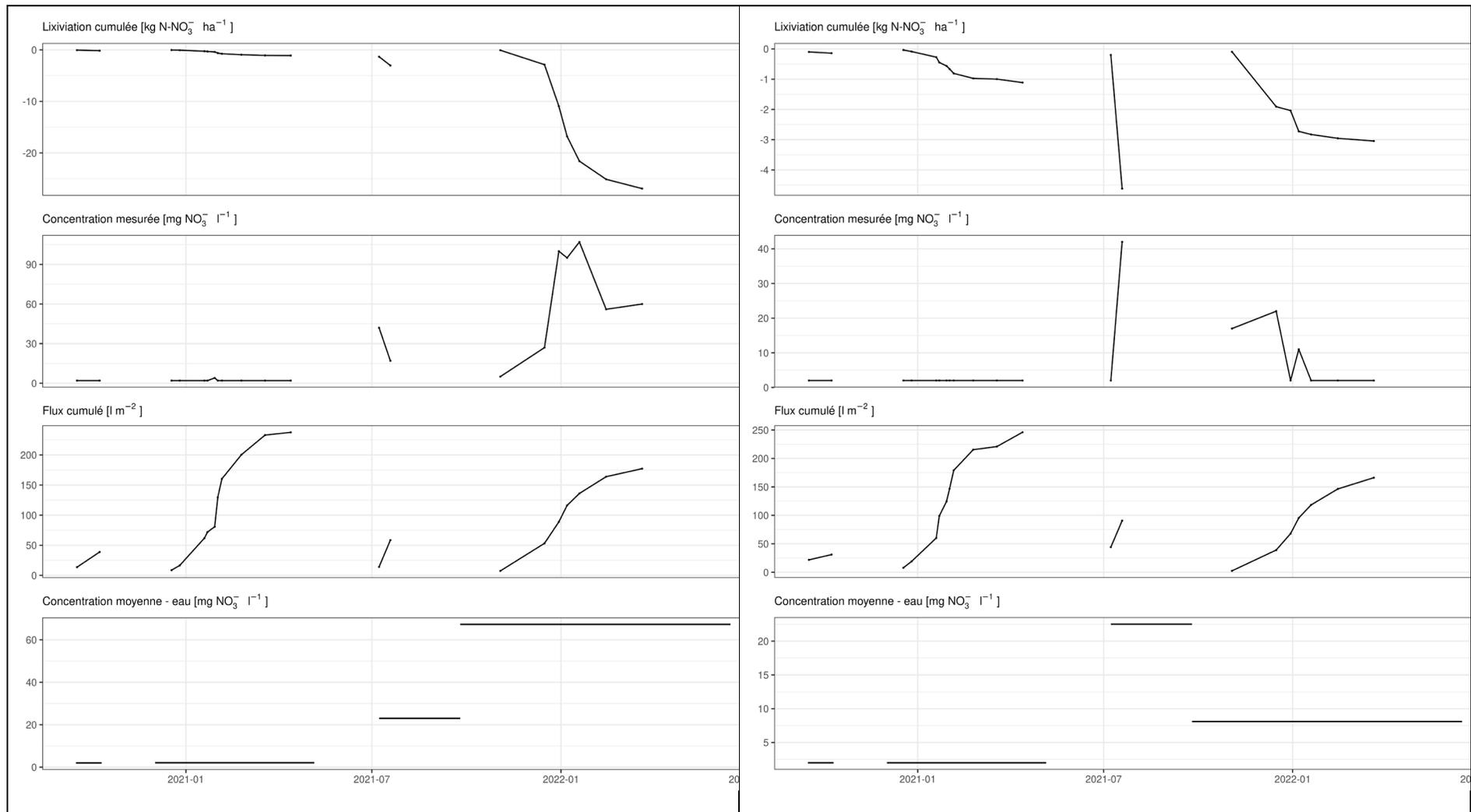


Figure 12. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité B.

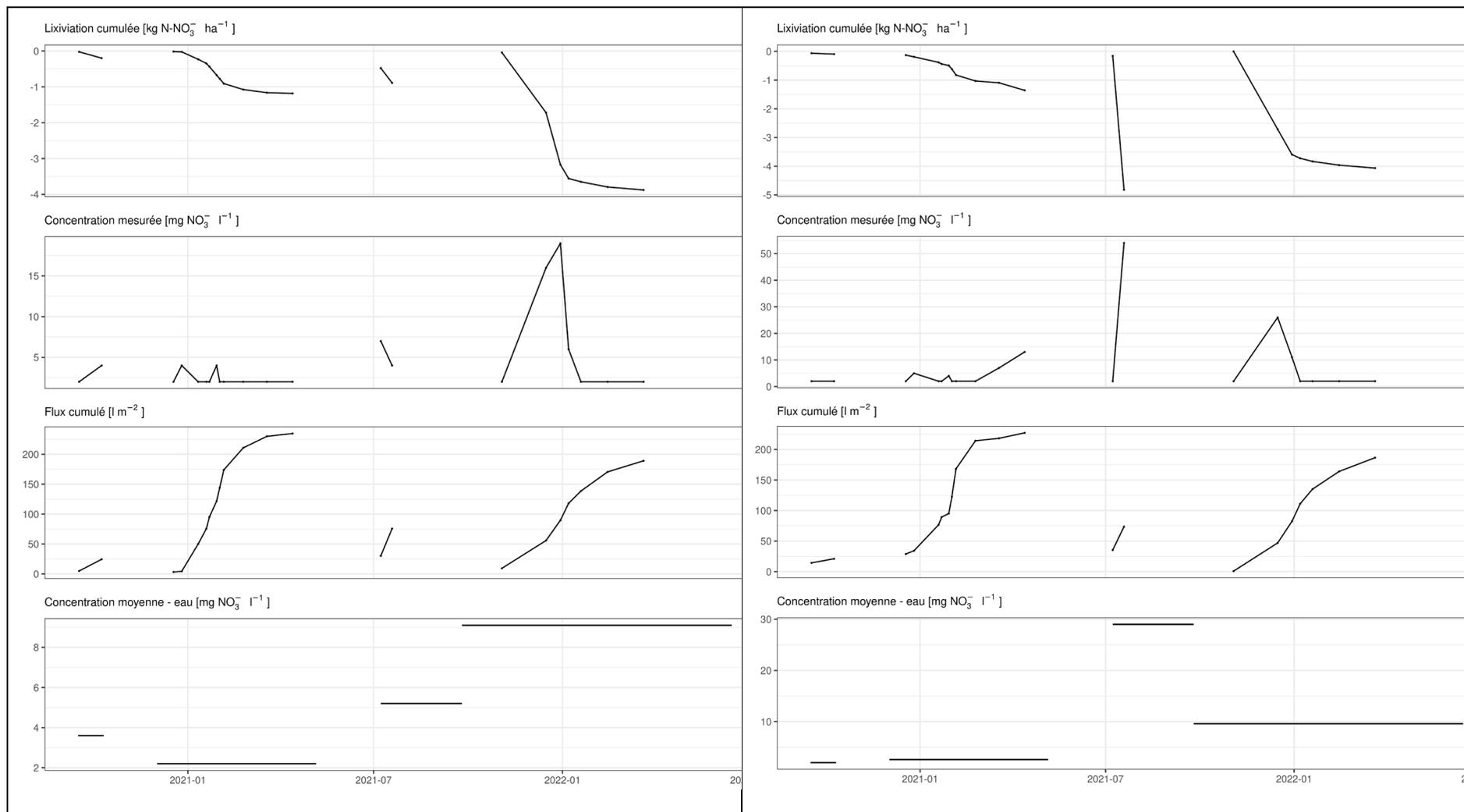


Figure 13. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité C.

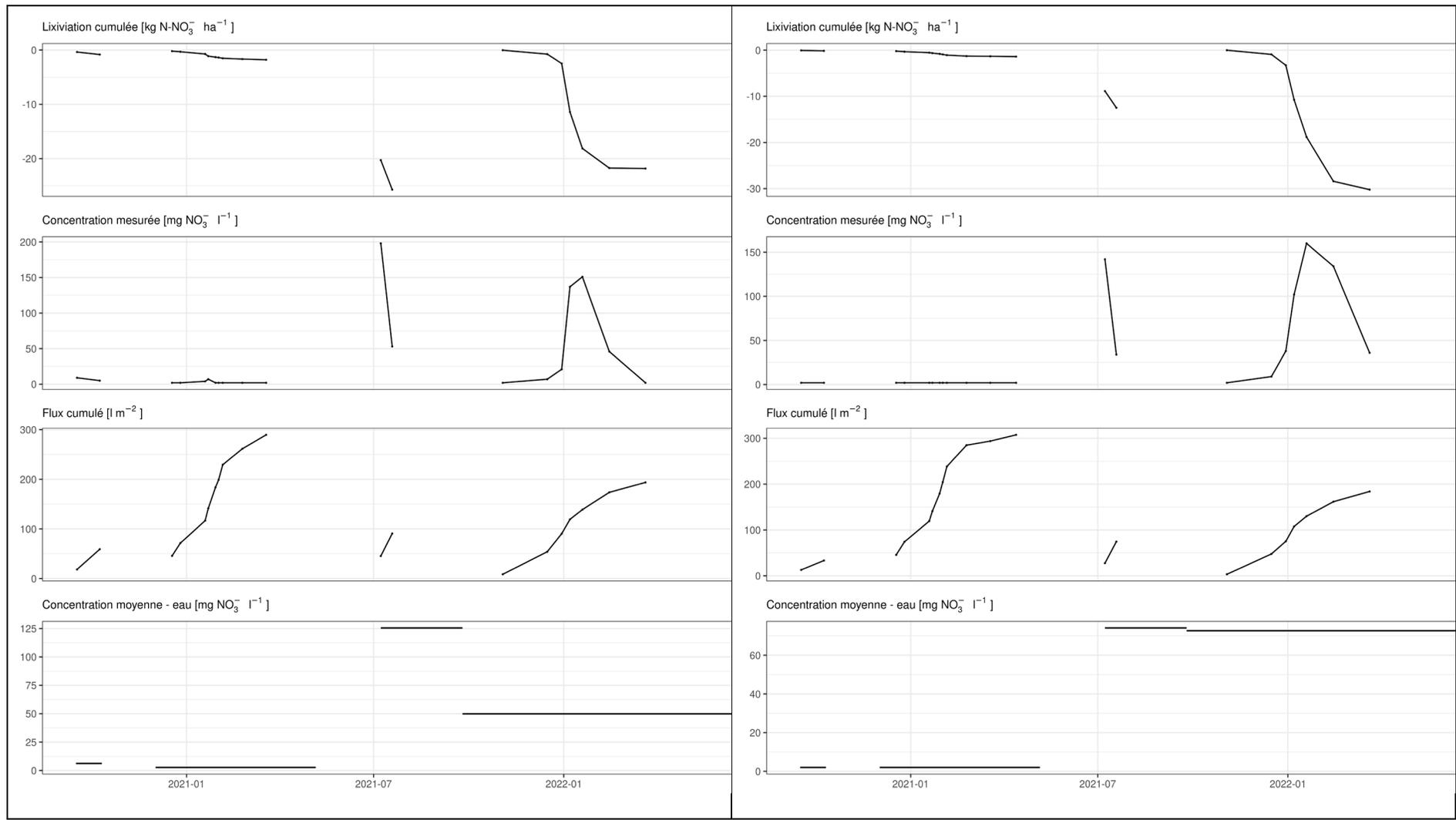


Figure 14. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité D.

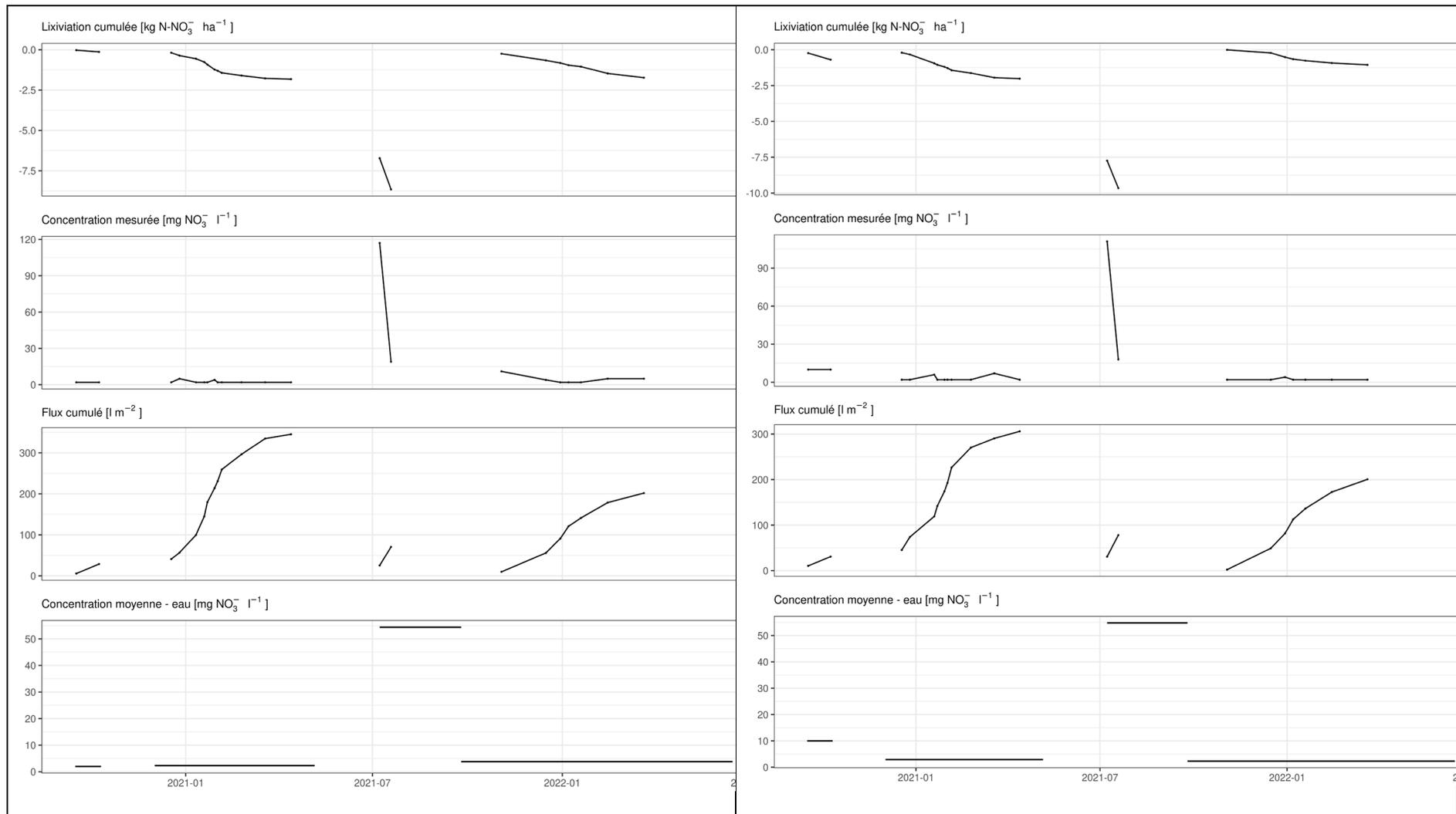


Figure 15. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité E