



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 :

Vandenberghe C., Colinet G., 2025 *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture*. Dossier GRENeRA **25-05**, 29 p. In De Toffoli M.^[2], Bergiers G.^[1], Vandenberghe C.^[3], Vandenbosche M.¹, Imbrecht O.², Bachelart F.³, Durenne B.¹, Colinet G.³, Huyghebaert B.¹, Lambert R.², 2025. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2025 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau*. Centre wallon de Recherches agronomiques, Université catholique de Louvain et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech.

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	2
2. CONTEXTE	3
3. DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE.....	5
3.1. HESBAYE	5
3.2. GEMBLoux AGRO-BIO TECH.....	7
3.2.1. Cultures annuelles.....	7
3.2.2. Couvert prairial	8
4. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....	9
5. SUIVI LYSIMÉTRIQUE EN CULTURE ANNUELLE.....	10
5.1. INTRODUCTION.....	10
5.2. GROSSE PIERRE CHEMIN DE FER.....	12
5.3. GROS THIER BOVENISTIER.....	15
5.4. SOLE 4	17
5.5. HAUTE BOVA	19
5.6. RETROSPECTIVE SUR LES QUATRE PARCELLES DE HESBAYE.....	21
6. SUIVI LYSIMETRIQUE EN PRAIRIE.....	23
6.1. INTRODUCTION.....	23
6.2. RESULTATS.....	24
6.3. CONCLUSION.....	24

^[2] Earth and Life Institute (UCLouvain)

^[1] Centre wallon de Recherches agronomiques

^[3] Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège) - GRENeRA

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 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 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.*

¹ Azote Potentiellement Lessivable.

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

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

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

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. Une attention particulière a été 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 Végémar³ 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 (figure 2) 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.

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

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

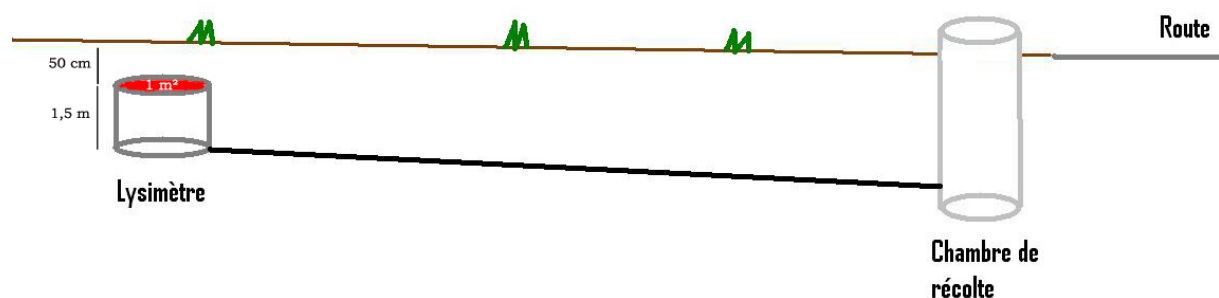


Figure 1. Coupe d'un dispositif lysimétrique (Vandenberghe *et al.*, 2021).

³ Centre Provincial Liégeois de productions VEGétales et MARaichères

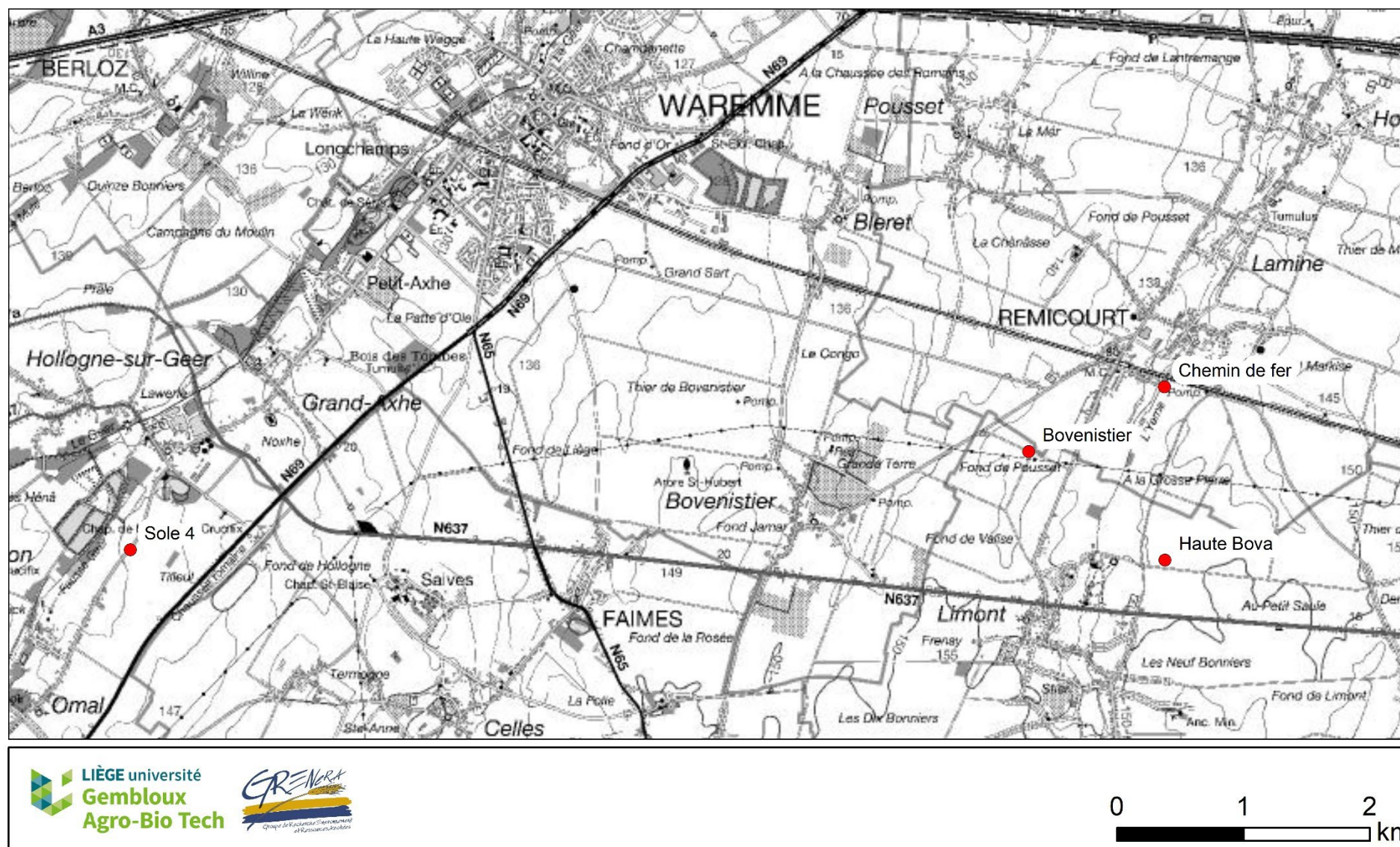


Figure 2. Carte de localisation des lysimètres Grosse Pierre Chemin de Fer, Gros Thier Bovenistier, Haute Bova et Sole 4.

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 résidus⁴ (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.

En 2025, suite à des problèmes d’infiltration dans des chambres de collecte, le suivi n’a pu être complètement réalisé et n’est, par conséquent, pas présenté dans ce rapport.

⁴ 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⁻¹ (organique). Fertilisation 2 : 60 kg N ha⁻¹. Fertilisation 3 : 40 kg N ha⁻¹. Fertilisation 4 : 80 kg N 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	-



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'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 ».

L'automne 2022 est qualifié de chaud (parmi les trois plus chaud depuis 1991 et normalement humide. L'hiver 2022-2023 est globalement dans la normale tant en température qu'en pluviométrie 'totale' (ce qui n'exclut pas des périodes de pluie et de sécheresse au cours de cette saison).

L'année 2023 a globalement été assez chaude (parmi les trois plus chaudes depuis 1991) et plus humide que la normale avec trois mois (mars, juillet et novembre) très pluvieux.

L'année 2024 est l'année la plus pluvieuse depuis 1991 (1171 mm observés à Uccle en comparaison à une normale de 837 mm) alors que la température moyenne est, elle, conforme « aux attentes ».

L'année 2025 se caractérise par une température moyenne élevée (en quatrième position depuis 1833) ; seul le mois de janvier présente une température moyenne inférieure à la normale. En termes de précipitation, après 2024 avec un record d'excès pluviométrique, 2025 affiche un déficit remarquable : 621 mm de pluie à comparer à une normale de 837 mm.

Tableau 2. Synthèse mensuelle des données météorologiques de la station IRM à Uccle (IRM, 2025).

	Température [°C]					Précipitation [mm]				
	2025	2024	2023	2022	Normale	2025	2024	2023	2022	Normale
Janvier	3,0	3,7	5,2	4,3	3,7	154	82	91	67	75,5
Février	4,4	8,3	5,9	6,6	4,2	47	127	13	94	65,1
Mars	8,3	9,1	7,5	8,6	7,1	59	79	127	2	59,3
Avril	12,3	10,9	9,0	10,1	10,4	20	81	66	37	46,7
Mai	14,7	14,9	14,0	15,1	13,9	60	125	49	69	59,7
Juin	19,3	16,0	20,3	17,7	16,7	71	74	41	88	70,8
Juillet	19,4	18,9	18,4	19,6	18,7	81	97	131	5	76,9
Août	19,3	19,8	18,1	21,4	18,4	18	153	108	18	86,5
Septembre	15,6	15,4	18,8	15,1	15,2	65	124	65	105	65,3
Octobre	12,0	12,6	13,6	14,4	11,3	68	68	87	41	67,8
Novembre	8,4	7,3	7,8	9,1	7,2	89	84	132	65	76,2
Décembre	6,3	5,3	7,0	4,2	4,3	33	77	102	111	87,4

(en gras, valeurs parmi les trois plus élevées/plus faibles depuis 1991)

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.

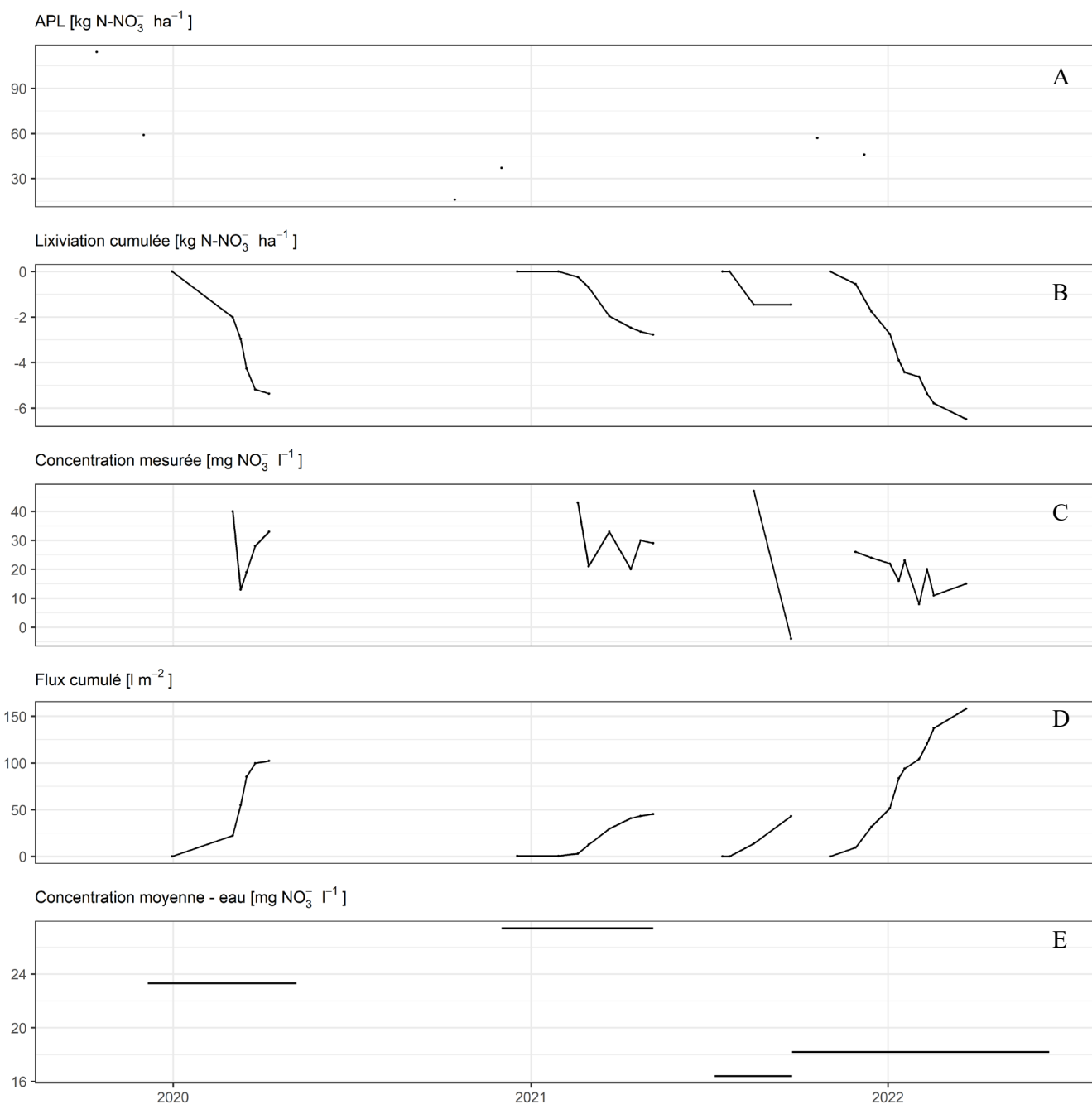


Figure 4. Suivi lysimétrique (exemple).

5.2. Grosse Pierre Chemin de fer

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

En 2021, une culture de carottes a été installée sur la parcelle. Elle a été fertilisée avec 40 kg N ha⁻¹.

En 2022, la parcelle a été emblavée d'une double culture de légumes : des fèves (fertilisées avec 50 kg N.ha⁻¹) et des épinards (fertilisés avec 120 kg N.ha⁻¹).

En 2023, la parcelle a été successivement emblavée de pois (fertilisé avec 39 kg N.ha⁻¹), de haricot et d'une CIPAN.

En 2024, des betteraves ont été semées au printemps et fertilisées avec 100 kg N.ha⁻¹.

En 2025, la parcelle a été emblavée par des pommes de terre.

Les APL mesurés depuis 2021 sont repris dans le tableau 3.

Tableau 3. APL mesurés sur la parcelle Grosse Pierre Chemin de fer au cours des cinq dernières années.

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2021	Carotte	13	6	20	6
			3		8
			4		6
2022	Fève	18	3	71	30
	Epinard		6		33
			9		8
2023	Pois	116	34	95	14
	Haricot		45		36
	CIPAN		37		45
2024	Betterave	11	4	19	7
			4		7
			3		5
2025	Pomme de terre	75	41	74	21
			23		38
			11		15

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.

En octobre 2022, le faible reliquat est dû à la présence de repousses d'épinard qui, après le labour de la parcelle, se sont décomposées dans le sol pour augmenter le reliquat en décembre.

En 2023, la CIPAN n'a que très partiellement résorbé le reliquat azoté induit par deux cultures de légumineuse.

En 2024, la betterave a laissé un reliquat azoté très réduit en automne.

En 2025, le reliquat azoté en automne est plutôt faible en automne pour une culture de pommes de terre.

La figure 5 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

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 NO₃⁻ l⁻¹. 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.

Au cours de l'hiver 2021-2022, les flux d'eau ont été moindres que pour une année « normale » (environ 200 litres par an). L'hiver 2022-2023, plus pluvieux que le précédent, a été plus « normal » en termes de flux d'eau. Au cours de cet hiver, 8 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ ont été lixiviés.

Dans les conditions de ce lysimètre, on observe au cours de ces deux périodes de percolation (hivers 2021-2022 et 2022-2023) que la concentration moyenne en nitrate est inférieure à la moitié de l'APL.

L'hiver 2023-2024 très pluvieux a occasionné une lixiviation de plus de 100 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ ; bien plus que la simple différence de reliquat azoté entre décembre 2024 et février 2025 (54 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹). Conséquence de cette pluviométrie, plus de 400 l.m⁻² ont été collectés à l'exutoire de ce lysimètre ; la concentration moyenne en nitrate au cours de la saison de percolation a été de 130 mg.l⁻¹.

L'hiver 2024-2025, nettement moins pluvieux et combiné à un APL assez faible, n'a permis qu'une lixiviation d'une dizaine de kg N-NO₃⁻ ha⁻¹. La concentration en moyenne au cours de la saison de percolation a été de 18 mg.l⁻¹.

L'examen de cette figure illustre qu'une concentration élevée est la combinaison d'un flux d'eau important et d'un niveau élevé d'APL. Ainsi, au cours de l'hiver 2022-2023, un APL moyen (71 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ en décembre) n'a induit qu'une concentration moyenne en nitrate de 16 mg.l⁻¹.

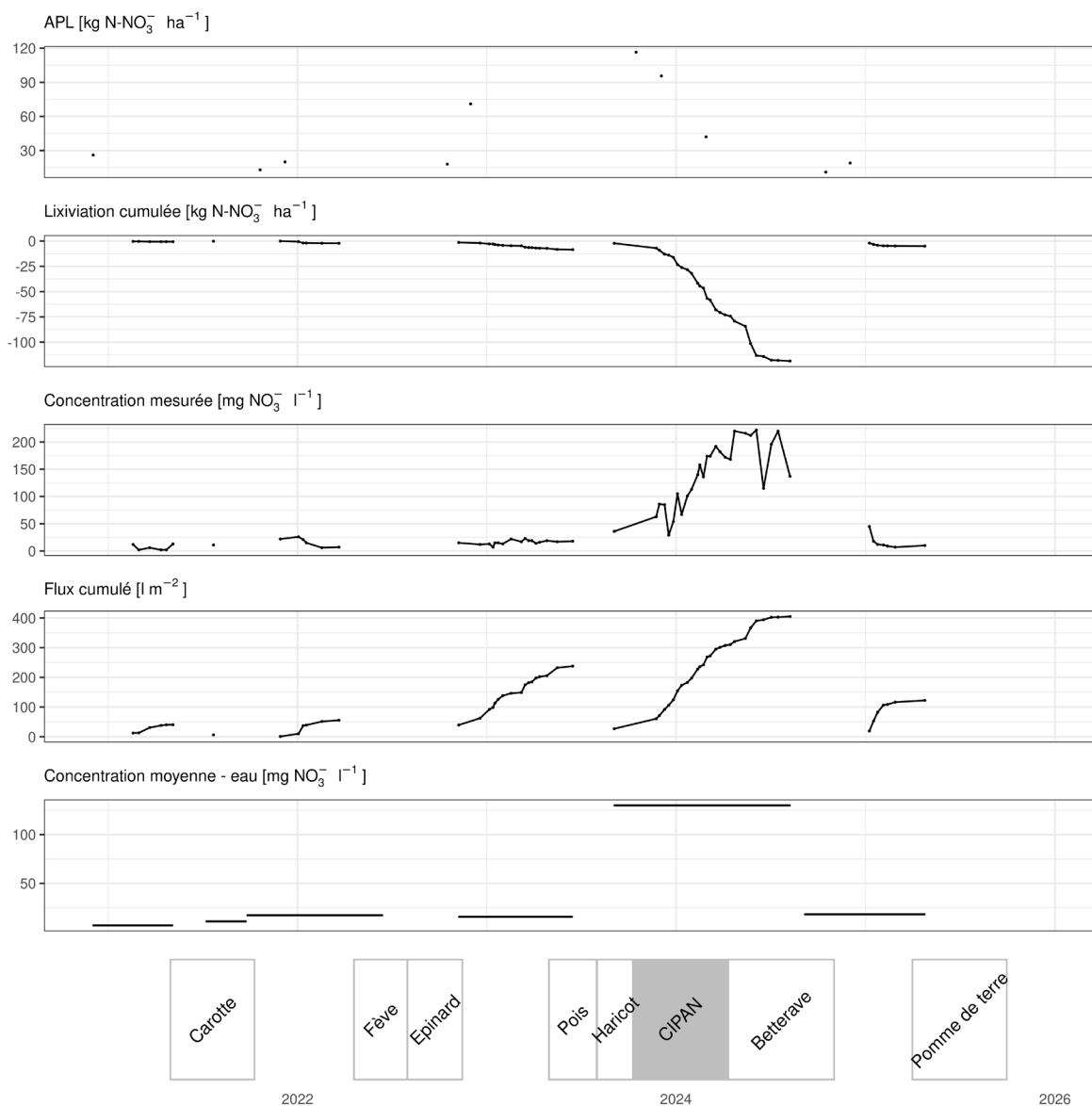


Figure 5. Suivi lysimétrique de la parcelle Grosse Pierre Chemin de fer.

5.3. Gros Thier Bovenistier

La parcelle Gros Thier Bovenistier est suivie depuis 20 ans. L'itinéraire culturale des cinq dernières années peut être décrit comme suit.

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⁻¹.

Une culture de froment a été semée à l'automne 2021. Elle a été fertilisée en deux applications pour un total de 140 kg N.ha⁻¹. Après la récolte, un apport de compost (équivalent à 204 kg N.ha⁻¹) a été réalisé en aout 2022.

En 2023, 41 kg N.ha⁻¹ ont été apporté pour la culture des fèves et 175 kg N.ha⁻¹ pour les épinards.

En 2024, le lin n'a pas été fertilisé et une CIPAN a été semée après la récolte du lin.

En 2025, le pois n'a pas été fertilisé et 43 kg N.ha⁻¹ ont été apportés le haricot.

Les APL mesurés depuis 2021 sont repris dans le tableau 4.

Les APL mesurés après la culture de pomme de terre de 2021 sont respectivement de 51 et 79 kg N-NO₃ ha⁻¹ en octobre et en décembre. 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-NO₃ ha⁻¹. On peut donc raisonnablement penser qu'au moins 40 kg N-NO₃ ha⁻¹ ont été lixiviés.

En 2022, la CIPAN semée après la récolte du froment a permis des niveaux d'APL très bas.

En 2023, une diminution de l'APL a été observée entre octobre et décembre due à la présence d'une CIPAN et à l'importante pluviométrie observée.

En 2024, l'APL après récolte de lin est passé de 79 à 29 kg N-NO₃ ha⁻¹ ; combinaison de l'impact de la CIPAN et de la pluviométrie.

En 2025, l'APL est 'logiquement' élevé à la suite d'une double récolte de légumes.

Tableau 4. APL mesurés sur la parcelle Gros Thier Bovenistier au cours des cinq dernières années.

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2021	Pomme de terre	51	23	79	23
			14		31
			14		25
2022	Froment	23	5	6	1
	CIPAN		13		1
			5		4
2023	Fève	187	91	76	8
	Epinard		56		27
	CIPAN		40		41
2024	Lin	79	9	29	7
	CIPAN		33		9
			37		13
2025	Pois/haricot	107	51	124	41
			41		51
			15		32

La figure 6 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

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 $14 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Le flux d'eau a lixivié environ $2 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

Durant la saison de drainage qui suit la culture de pomme de terre (2021-2022), environ 80 litres ont percolé jusqu'à l'exutoire du lysimètre avec une concentration moyenne de $21 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Les mesures APL et de reliquat 'sortie d'hiver' ont mis en évidence une lixiviation d'au moins $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. Cependant, à l'exutoire du lysimètre, le flux mesuré n'a été que de $4 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. 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.

Au cours de l'hiver 2022-2023, la présence d'une CIPAN après la culture de froment a permis de limiter le flux de nitrate avec une concentration moyenne au cours de cette période de $12 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2023-2024, la concentration moyenne reste faible, de l'ordre de $22 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2024-2025, la concentration moyenne en nitrate est, dès le début de la période de percolation, plus élevée. La moyenne s'établit à $90 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Il s'agit très vraisemblablement de l'impact de l'APL élevé mesuré en automne 2023, après la récolte des épinards.

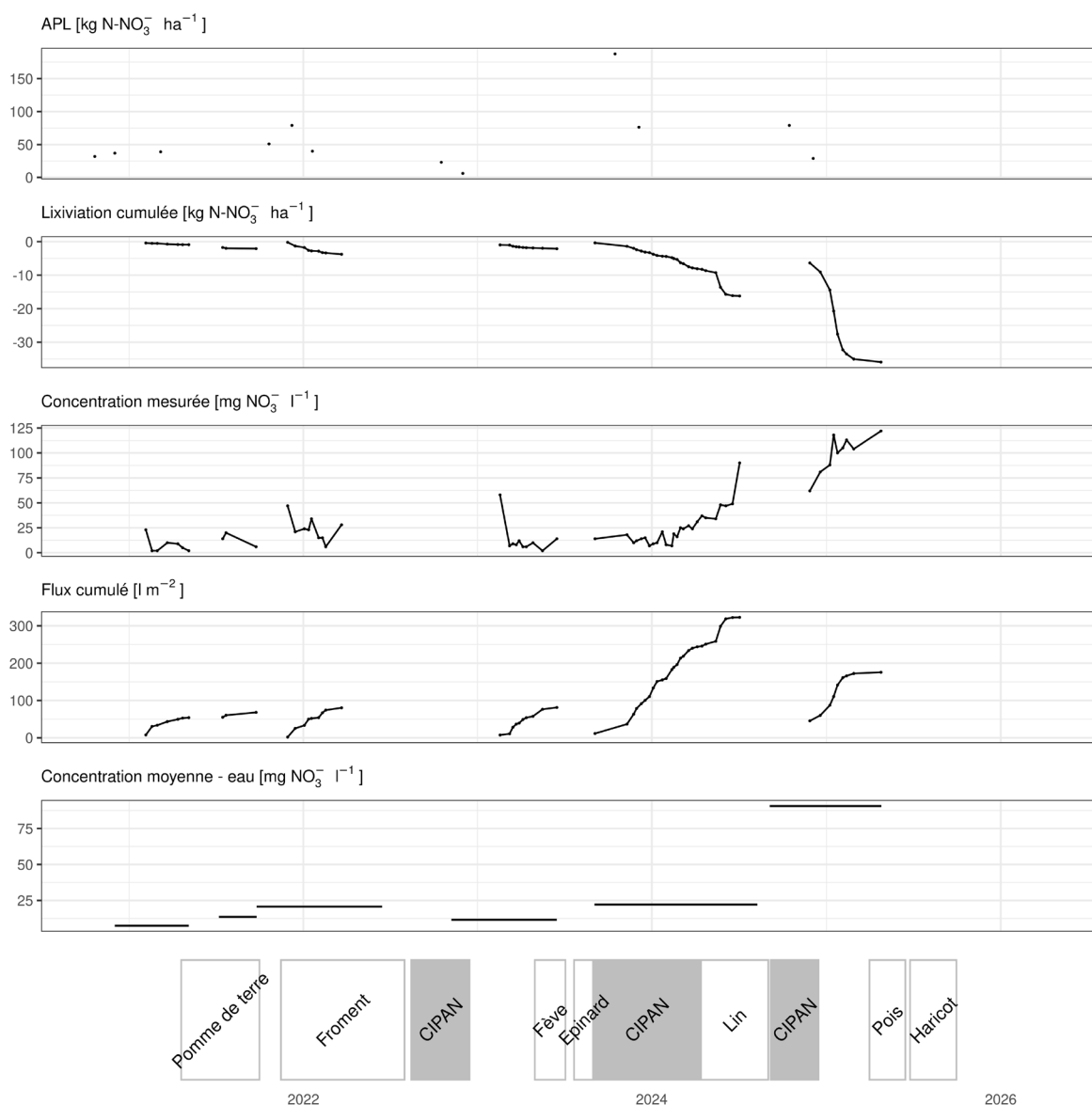


Figure 6. Suivi lysimétrique de la parcelle Gros Thier Bovenistier.

5.4. Sole 4

La parcelle Sole 4 est suivie depuis 20 ans. L'itinéraire culturale des cinq dernières années peut être décrit comme suit.

Après la récolte de pomme de terre en 2020, une culture de froment a été semée. Elle a été fertilisée à trois reprises entre mars et juin pour un total de 193 kg N ha⁻¹.

Après la récolte du froment, une culture d'épinard a été semée avant l'hiver et fertilisée en deux applications pour un total de 214 kg N.ha⁻¹. Cette culture a été suivie au cours de l'été 2022 d'une culture de haricot qui a été fertilisée avec 59 kg N.ha⁻¹.

Un froment a ensuite été semé début d'automne 2022. Le froment a été suivi d'une CIPAN en automne 2023.

Les APL mesurés depuis 2021 sont repris dans le tableau 5.

Tableau 5. APL mesurés sur la parcelle Sole 4 au cours des cinq dernières années.

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2021	Froment	53	27	66	9
			18		43
			8		14
2022	Epinard	162	70	145	43
	Haricot		76		68
			16		34
2023	Froment	32	9	12	6
	CIPAN		16		4
			7		2
2024	Carotte	5	2	8	3
			2		3
			1		2
2025	Froment	14	3	8	4
	CIPAN		9		3
			2		1

Les mesures APL réalisées en 2021 mettent 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.

En 2022, la succession épinard-haricot laisse logiquement un reliquat azoté élevé dans le sol en début de période de lixiviation.

En 2023, la présence d'une CIPAN semée après la récolte du froment permet de maintenir un niveau APL assez bas.

En 2024, la culture de la carotte a laissé, comme généralement, un niveau d'APL également assez bas.

En 2025, la présence d'une CIPAN après la récolte du froment permet de maintenir l'APL à un niveau très bas.

La figure 7 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

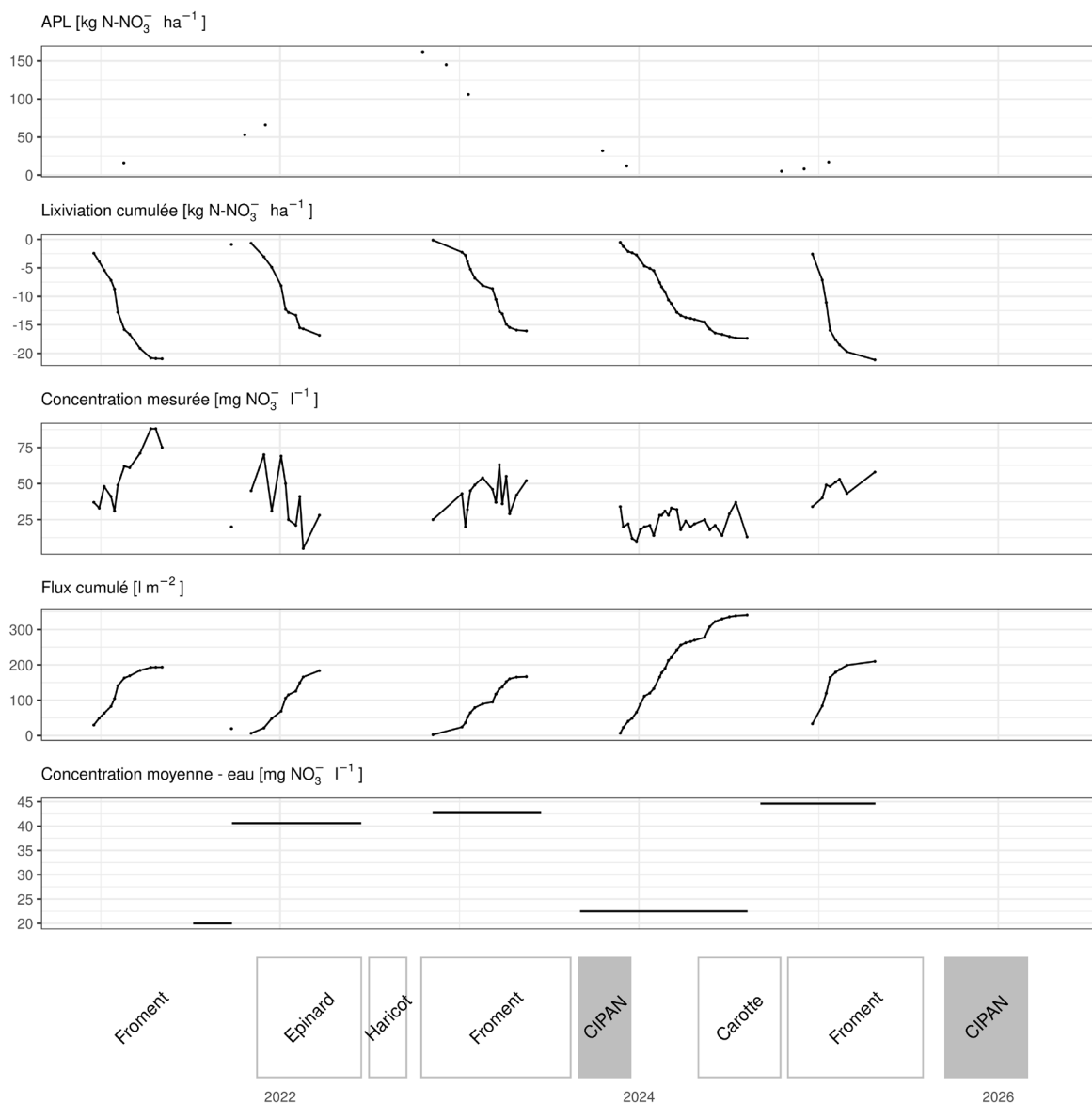


Figure 7. Suivi lysimétrique de la parcelle Sole 4.

Suite à l'été pluvieux, 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).

Fin 2022, bien que ce reliquat soit élevé après la récolte des haricots, la présence de froment (avec son enracinement profond) a permis de limiter le flux d'azote à la base du lysimètre à $15 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. La concentration moyenne de nitrate au cours de cette période à la base du lysimètre s'établit néanmoins à $43 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2023-2024, le flux d'eau a été important ($341 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$) mais vu le niveau bas d'APL, la concentration moyenne au cours de cette période a été de $23 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2024-2025, bien que l'APL après carotte soit faible, la concentration en nitrate à l'exutoire du lysimètre affiche une concentration moyenne de $45 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

5.5. Haute Bova

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

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

En 2022, la parcelle a été emblavée de betterave. Cette culture a été fertilisée avec 60 kg N.ha⁻¹.

En 2023, la parcelle a été emblavée d'une culture de pois (fertilisé avec 65 kg N.ha⁻¹) qui a été suivi d'un froment d'hiver.

En 2024, le froment a été fertilisé avec 100 kg N.ha⁻¹. Une CIPAN a été installée après la récolte de la céréale.

En 2025, la pomme de terre a reçu 40 kg N.ha⁻¹.

Les APL mesurés depuis 2021 sont repris dans le tableau 6.

Tableau 6. APL mesurés sur la parcelle Haute Bova au cours des cinq dernières années.

Année	Culture	APL octobre	Détails par couche	APL décembre	Détails par couche
2021	Froment + CIPAN	57	37	46	14
			13		17
			7		15
2022	Betterave	15	8	41	27
			4		5
			3		9
2023	Pois + CIPAN	124	62	128	15
			39		51
			23		62
2024	Froment + CIPAN	145	48	81	11
			65		31
			32		39
2025	Pomme de terre	82	50	66	31
			18		28
			14		7

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 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹, respectivement 31, 29 et 26 kg N-NO₃⁻ 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 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ ainsi que la lixiviation du nitrate au moins vers les couches 30-60 et 60-90 cm.

Cet azote a logiquement bien été capté par la betterave, en témoigne le faible reliquat en début d'automne 2022 (15 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹).

En 2023 et 2024, l'effet CIPAN a été peu marqué. Celle de 2023 a été assez vite détruite pour semer du froment et celle de 2024 est peu marqué suite à une faible levée de la CIPAN.

En 2025, l'APL est relativement faible pour une culture de pommes de terre.

La figure 8 présente les résultats du suivi lysimétrique récent.

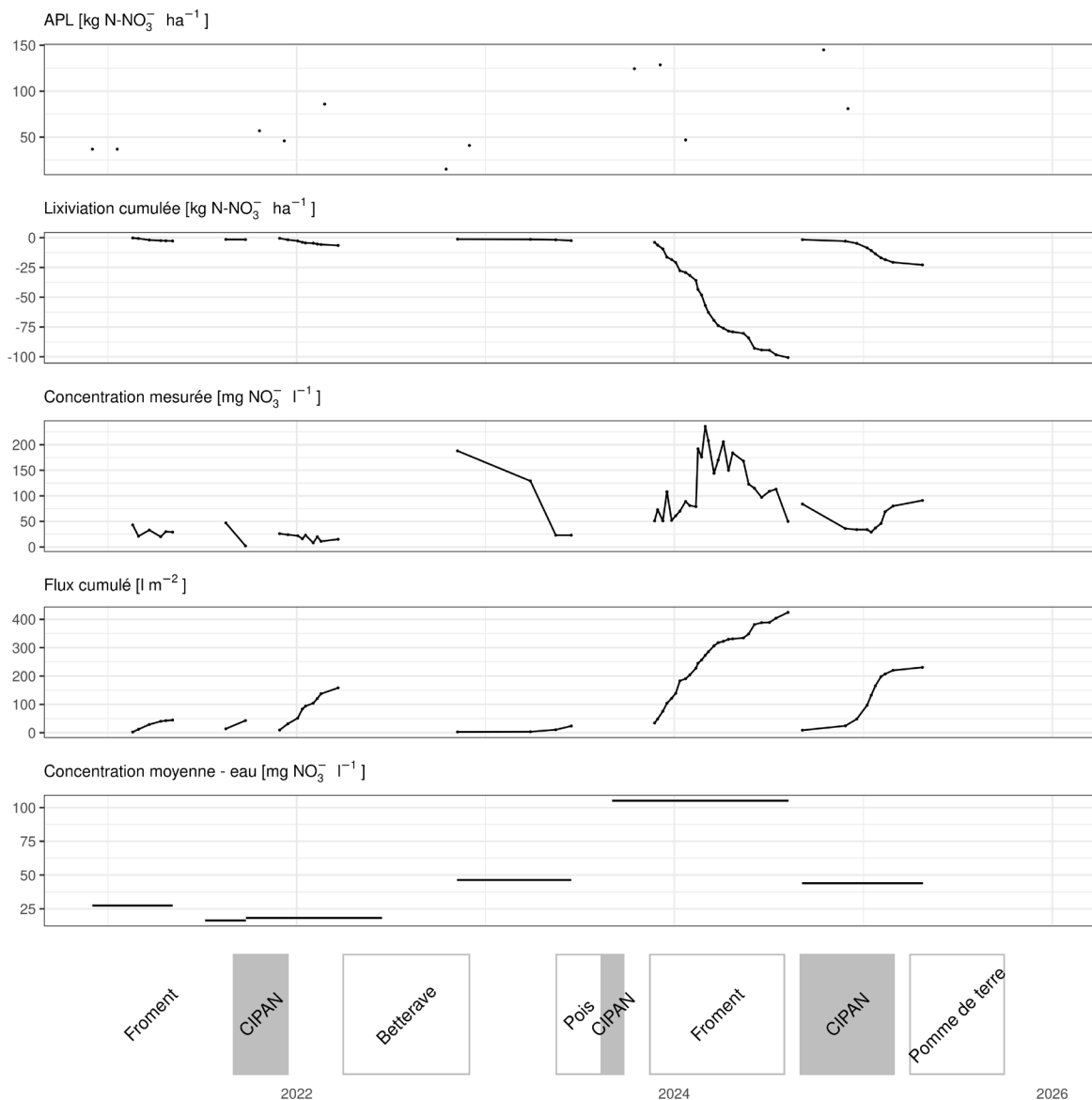


Figure 8. Suivi lysimétrique de la parcelle Haute Bova.

Une reprise de drainage a été observée durant l'été 2021 suite à l'important épisode de pluie. La concentration moyenne des deux échantillons prélevés est de $16 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2021-2022, les flux d'eau importants (plus de 150 l.m^{-2}) ont limité la concentration en nitrate à l'exutoire du lysimètre (de l'ordre de $20 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$).

A l'inverse, au cours de l'hiver 2022-2023, les flux d'eau ont été assez faibles (environ 20 l/m^2) en raison de l'enracinement profond de la betterave et de sa période végétative assez longue qui laisse un sol sec en profondeur en fin d'automne. Bien que l'APL soit assez bas, la petitesse des flux a occasionné, au cours de cet hiver 2022-2023, une concentration en nitrate proche des $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2023-2024, la pluviométrie a entraîné l'équivalent d'environ $100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ à l'exutoire du lysimètre. Ce flux est assez cohérent avec la diminution du reliquat d'azote nitrique dans le sol observé entre début décembre 2023 et fin janvier 2024. Conséquence de ce flux, la concentration moyenne de l'eau au cours de la période de lixiviation s'élève à $105 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Au cours de l'hiver 2024-2025, la présence d'une CIPAN a permis de limiter la lixiviation, ce qui a permis de contenir la concentration moyenne de l'eau autour d'une valeur moyenne de $44 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

5.6. Rétrospective sur les quatre parcelles de Hesbaye

Au cours de ces dernières années (2018-2022), la région wallonne a connu, à l'exception de 2021, quatre années climatiques plus sèches et plus chaude que la normale (années encadrées de vert - figure 9). Plus récemment, 2023 et 2024 peuvent être qualifiées d'humide et chaudes. 2025 renoue avec un climat sec et chaud.



Précipitations, températures et insolation à Uccle, valeurs annuelles

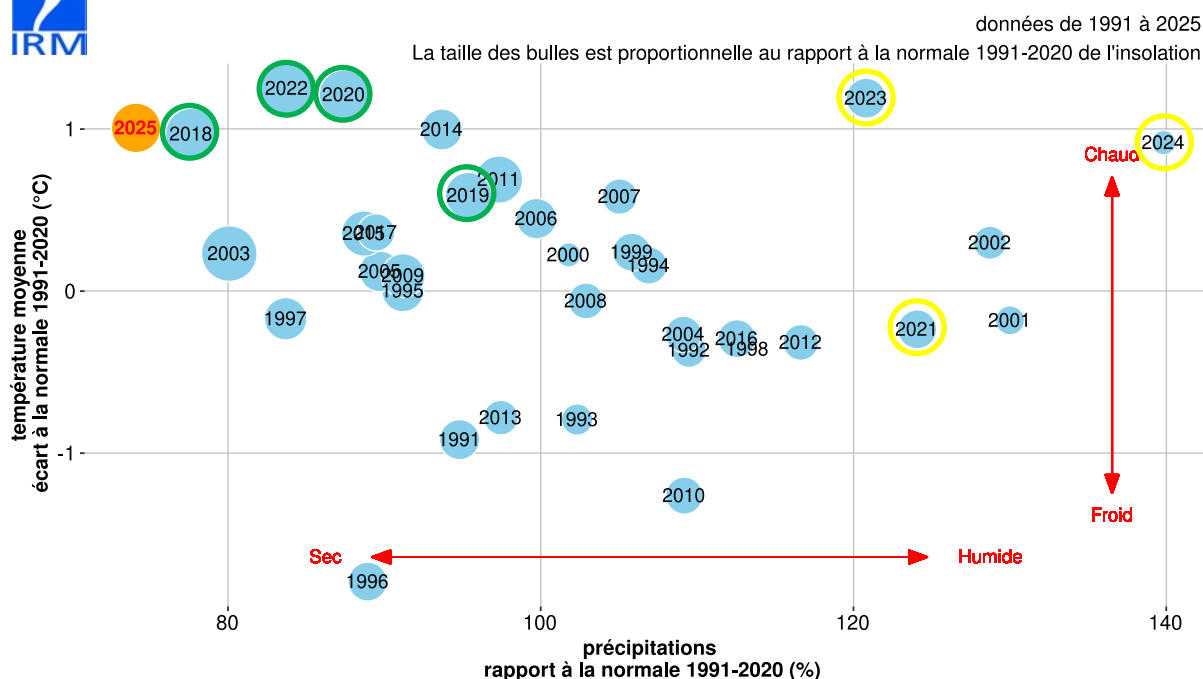


Figure 9. Bilan climatique annuel (Source : IRM⁵).

La figure 10 illustre l'APL moyen des quatre parcelles équipées d'un lysimètre en Hesbaye. Par « moyen », il faut entendre la moyenne annuelle des deux observations (seconde quinzaine d'octobre et première quinzaine de décembre) réalisées dans chaque parcelle.

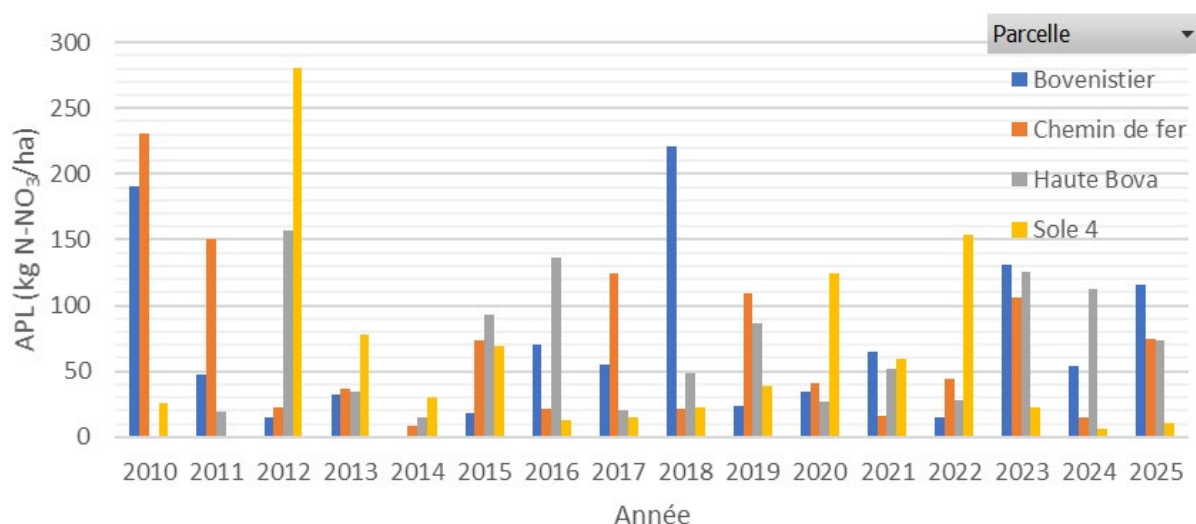


Figure 10. APL moyen dans les parcelles équipées d'un lysimètre en Hesbaye (période 2010-2025).

⁵ <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/bilans-climatologiques/2025/annee>

L'observation de cette figure ne permet pas de mettre en évidence une tendance globale claire, en gardant à l'esprit que les successions culturales de chaque parcelle ont peu évolué au cours de ces treize années. Il n'est pas opportun de pousser plus loin l'analyse par une comparaison d'une année avec une autre car celle-ci sera affectée par le climat et l'occupation du sol. L'APL moyen de ces quatre parcelles depuis 2010 est de $66 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$. Quelques valeurs élevées tirent la moyenne vers le haut puisque la médiane des observations est de $39 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$. Ce constat illustre l'impact de ces valeurs élevées sur la pression nitrate globale.

La figure 11 illustre la concentration en nitrate à l'exutoire des quatre lysimètres. Chaque valeur est une moyenne (pondérée par le volume d'eau écoulé entre deux analyses d'eau) des observations réalisées lors d'un épisode de percolation. Une séquence de deux années (par exemple 2009-2010) signifie une percolation hivernale. Une seule année indique une reprise de percolation (souvent estivale ou automnale) entre deux périodes hivernales.

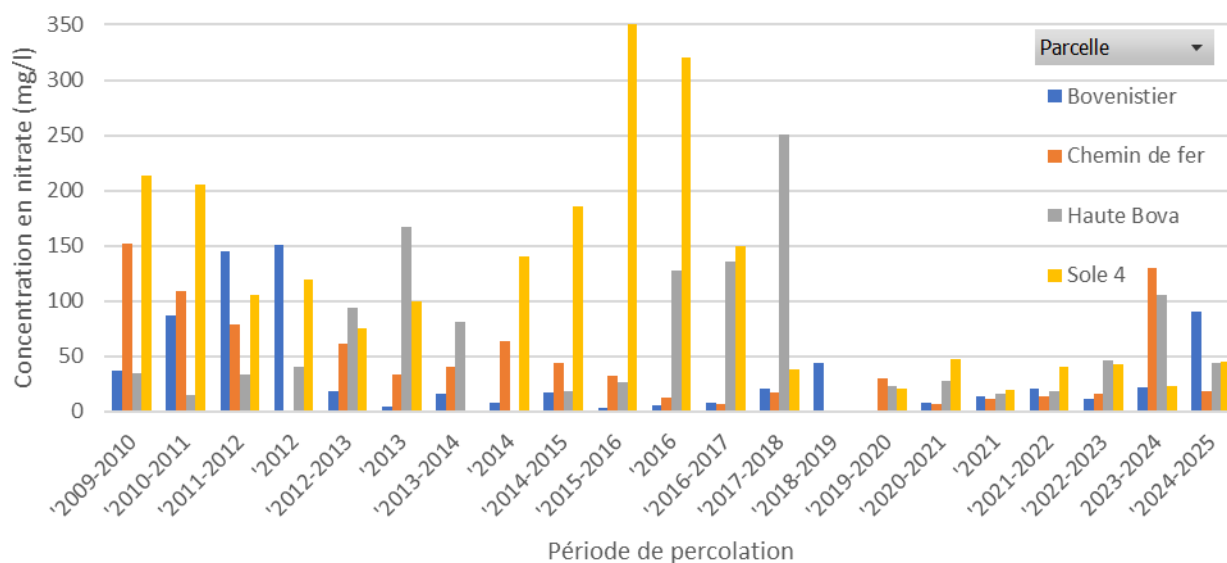


Figure 11. Concentration moyenne (par épisode de percolation) en nitrate de l'eau à l'exutoire des lysimètres (période 2009-2025).

L'observation de cette figure indique que depuis l'hiver 2018-2019, la concentration en nitrate de l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres n'excède, en moyenne, plus le seuil de non-potabilité (50 mg.l^{-1}).

Un retour sur les observations APL, en gardant cet « avant-après » 2018-2019, indique une pression nitrate comparable ; c'est-à-dire une absence de différence significative ($p\text{-value} = 0.65$) des moyennes avant et après 2018 (une moyenne⁶ de $70 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ jusqu'à fin 2017 et moyenne de $62 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ à partir de 2018).

Cependant, l'importante pluviométrie observée depuis 2023 a provoqué une franche remontée de la concentration en nitrate dans l'eau récoltée à la base de deux des trois lysimètres qui ont affiché un APL élevé en 2023. Un constat similaire peut être fait en 2016.

Une vue globale sur les quatre lysimètres depuis 2009 renseigne une concentration moyenne en nitrate de $69 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ avec, comme dans le cadre des observations APL, un impact important des valeurs élevées puisque la médiane des observations est de $38 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$.

Le constat suivant peut schématiquement être fait :

1. en année sèche, la concentration reste faible même si l'APL est moyen à élevé ;
2. en année humide, la concentration est élevée en cas d'APL moyen à élevé.

⁶ 4 lysimètres x 2 mesures/an x 8 années

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 7 détaille l'historique précis des fertilisations réalisées. Conséquence d'une erreur de calcul, les fertilisations apportées aux lysimètres avant le septembre 2022 ne respectent pas le protocole initial. Toutes les anomalies sont marquées d'un fond orange dans ce tableau.

Tableau 7. Fertilisations (kg N/ha) minérale (noir) et organique (gris) apportées sur les lysimètres.

Date	Modalité A	Modalité B	Modalité C	Modalité D	Modalité E
08/06/20	320	320	320	320	320
03/08/20	160	160	160	160	160
04/09/20		450			
30/09/20			320		
30/10/20				320	
19/01/21	320				
02/03/21		320	320	320	320
12/05/21	240	240	240	240	240
29/07/21	160	160	160	160	160
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	320	320	320	320	320
15/07/22	160	160	160	160	160
02/09/22		80			
5/10/22			80		
4/11/22				80	
16/01/23	80				
6/03/23		80	80	80	80
8/05/23	60	60	60	60	60
19/07/23	40	40	40	40	40
15/09/23		80			
18/10/23			80		
7/11/23				80	
22/01/24	80				
19/03/24		80	80	80	80
14/05/24	60	60	60	60	60
09/07/24	40	40	40	40	40
24/09/24		80			
14/10/24			80		
05/11/24				80	
10/01/25	80				
03/03/25		80	80	80	80
20/05/25	60	60	60	60	60
30/07/25	40	40	40	40	40

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. Ainsi, les irrigations suivantes ont été réalisées sur chaque lysimètre :

- en 2021 : 160 litres d'eau soit, l'équivalent de 320 mm ;
- en 2022 : 160 litres d'eau, soit l'équivalent de 320 mm ;
- en 2023 : 40 litres d'eau, soit l'équivalent de 80 mm ;
- en 2024 : 10 litres d'eau, soit l'équivalent de 20 mm ;
- en 2025 : 72 litres d'eau, soit l'équivalent de 144 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/m²) 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 cinq derniers hivers (2020/21 à 2024/25) :

- En cas d'excès de fertilisation (2020 à juillet 2022), la modalité D (apport de lisier à la fin octobre) présente un risque élevé : au cours du second hiver, la concentration en nitrate y a été la plus élevée (de l'ordre de 60 mg l⁻¹). De plus, huit des dix lysimètres ont présenté un dépassement important du seuil de 50 mg l⁻¹ lors d'une reprise de percolation en été 2022.
- Lorsque la fertilisation est appliquée conformément au protocole (à partir de septembre 2022), la concentration en nitrate est comprise entre 10 et 30 mg l⁻¹, quelles que soient les modalités d'apport de lisier.

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 apports annuels.

6.3. Conclusion

Cinq hivers de percolation représentent une observation suffisamment longue que pour que des conclusions puissent être d'ores et déjà tirées. Il apparaît que dans un contexte de surfertilisation (réalisé durant deux ans sur les lysimètres), un ou plusieurs (dans le cas d'un apport tardif de lisier) dépassements du seuil de 50 mg l⁻¹ ont été observés.

Par contre, lorsque la fertilisation est conforme au protocole (100 kg ha⁻¹ de Nminéral et de 80 à 160 kg ha⁻¹ de Norg), la concentration en nitrate aux exutoires des lysimètres au cours des trois derniers hivers est comprise entre 10 et 30 mg l⁻¹, quelles que soient les modalités d'apport de lisier.

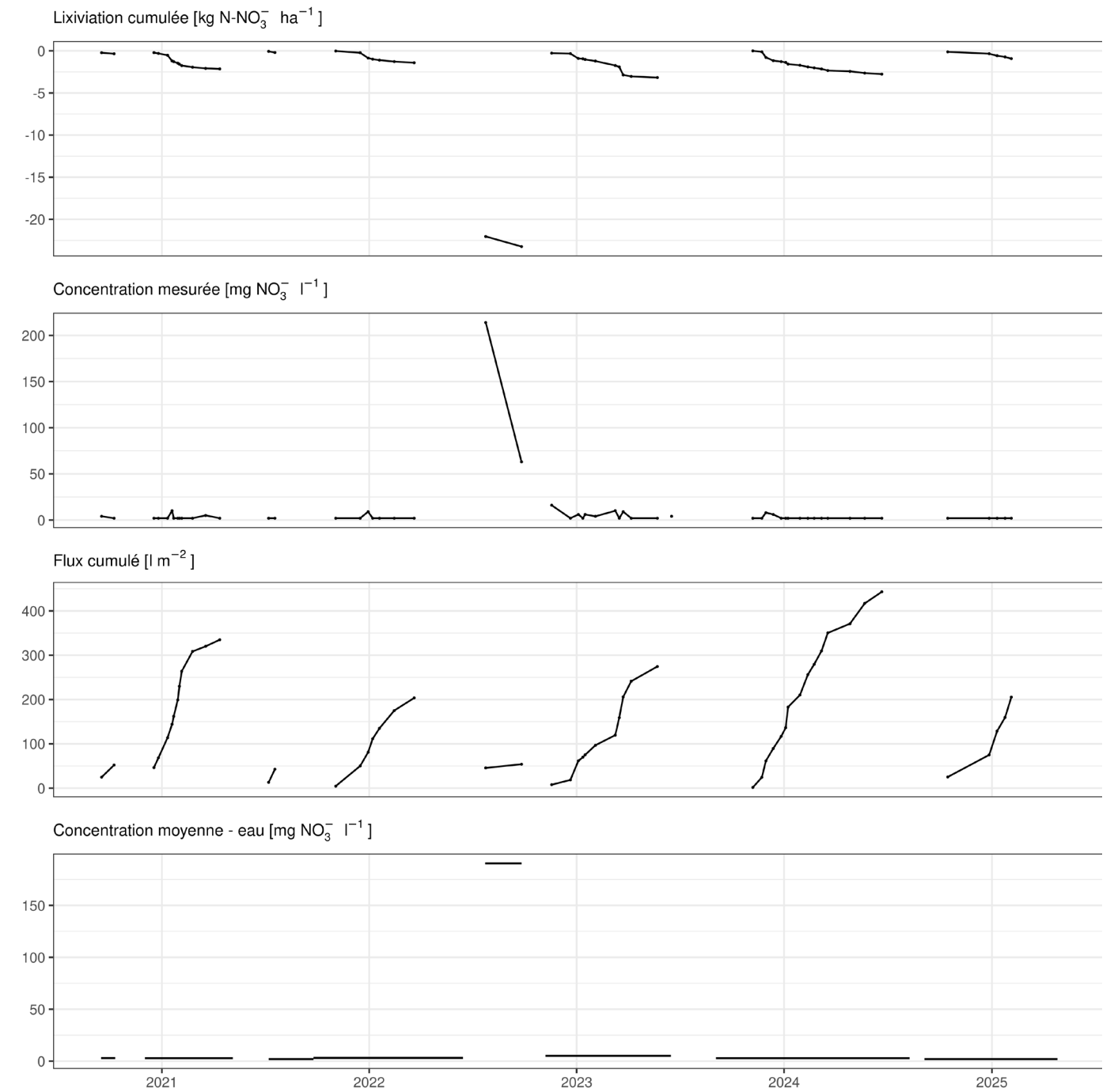
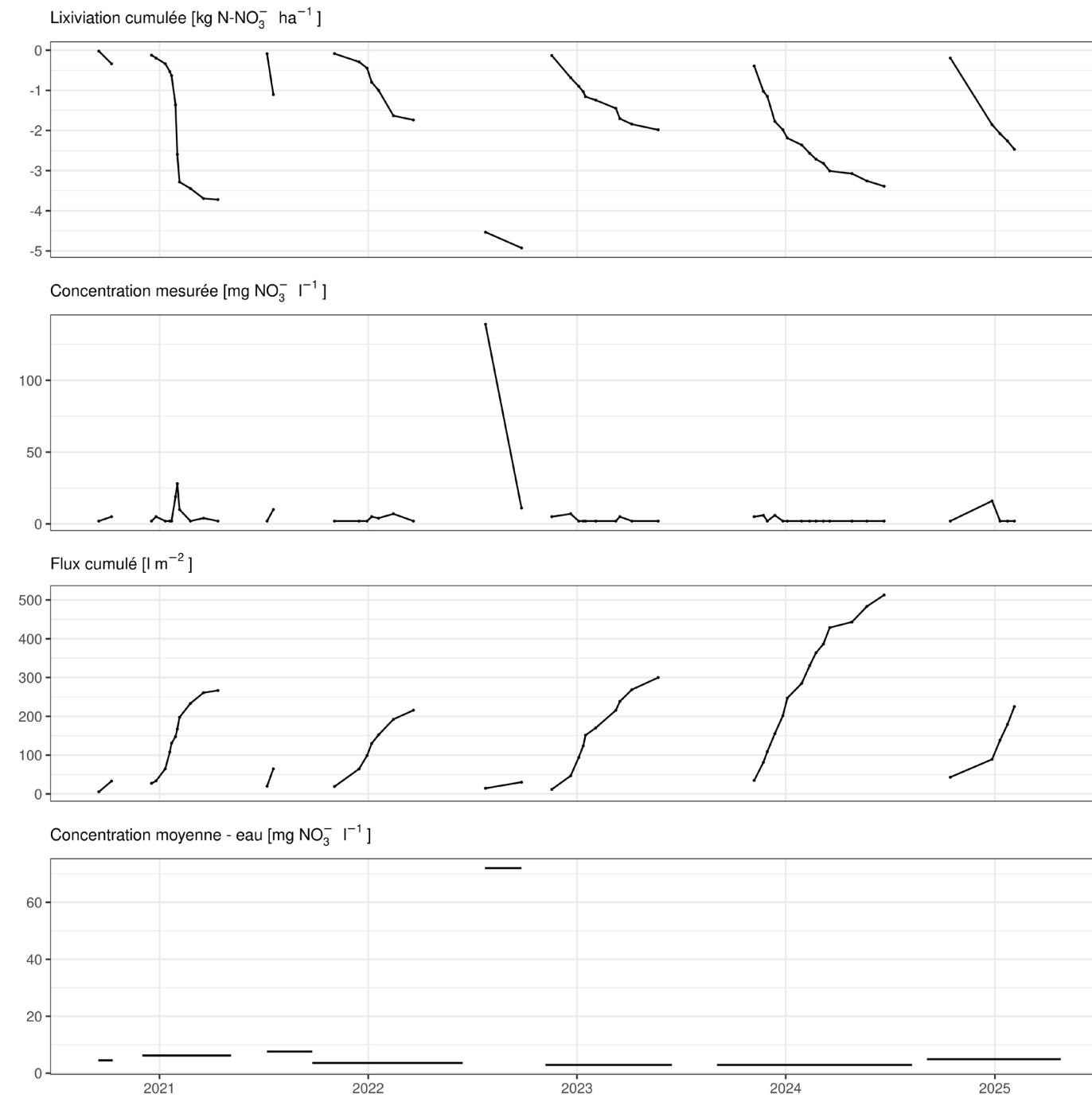


Figure 12. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité A.

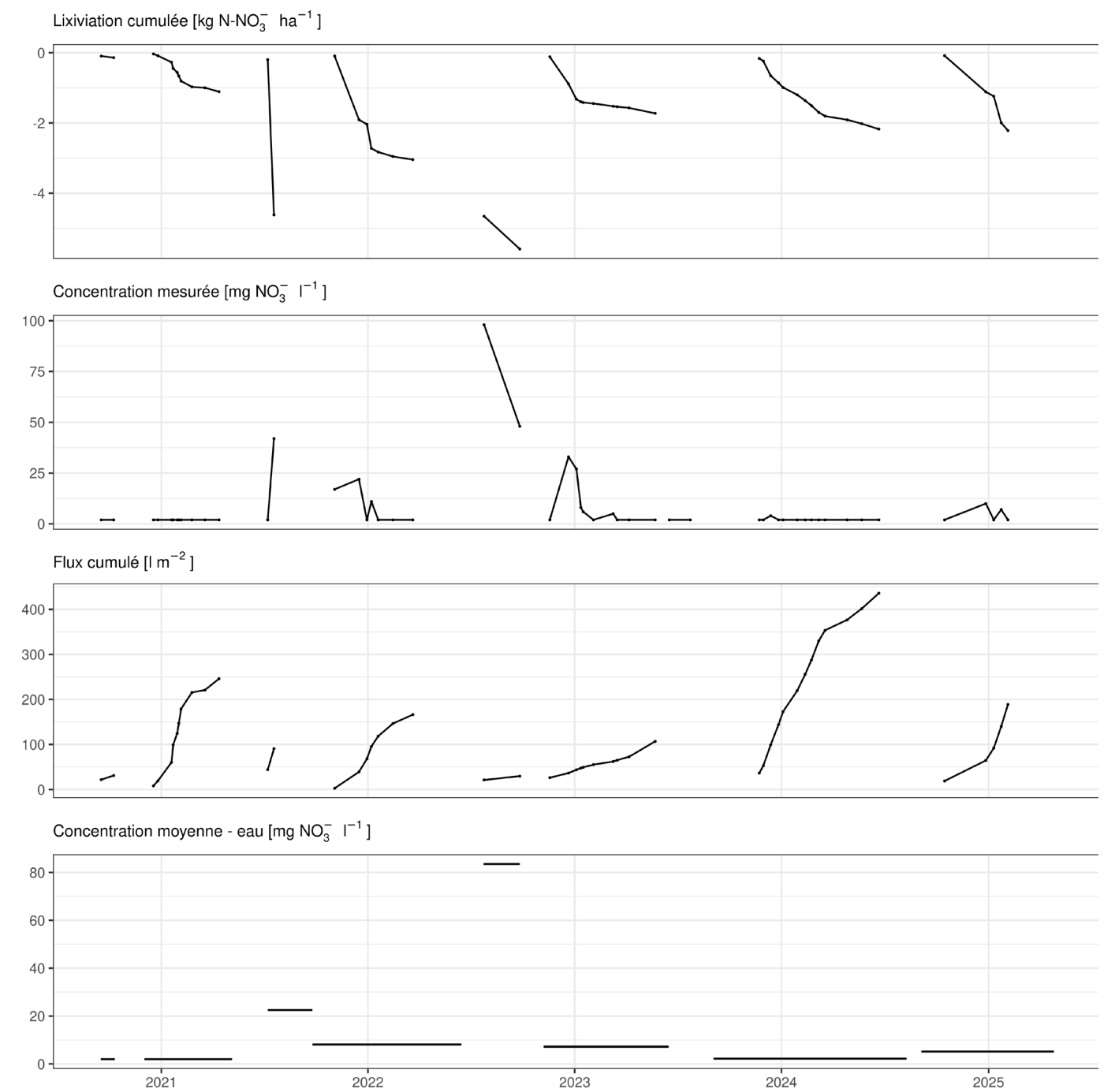
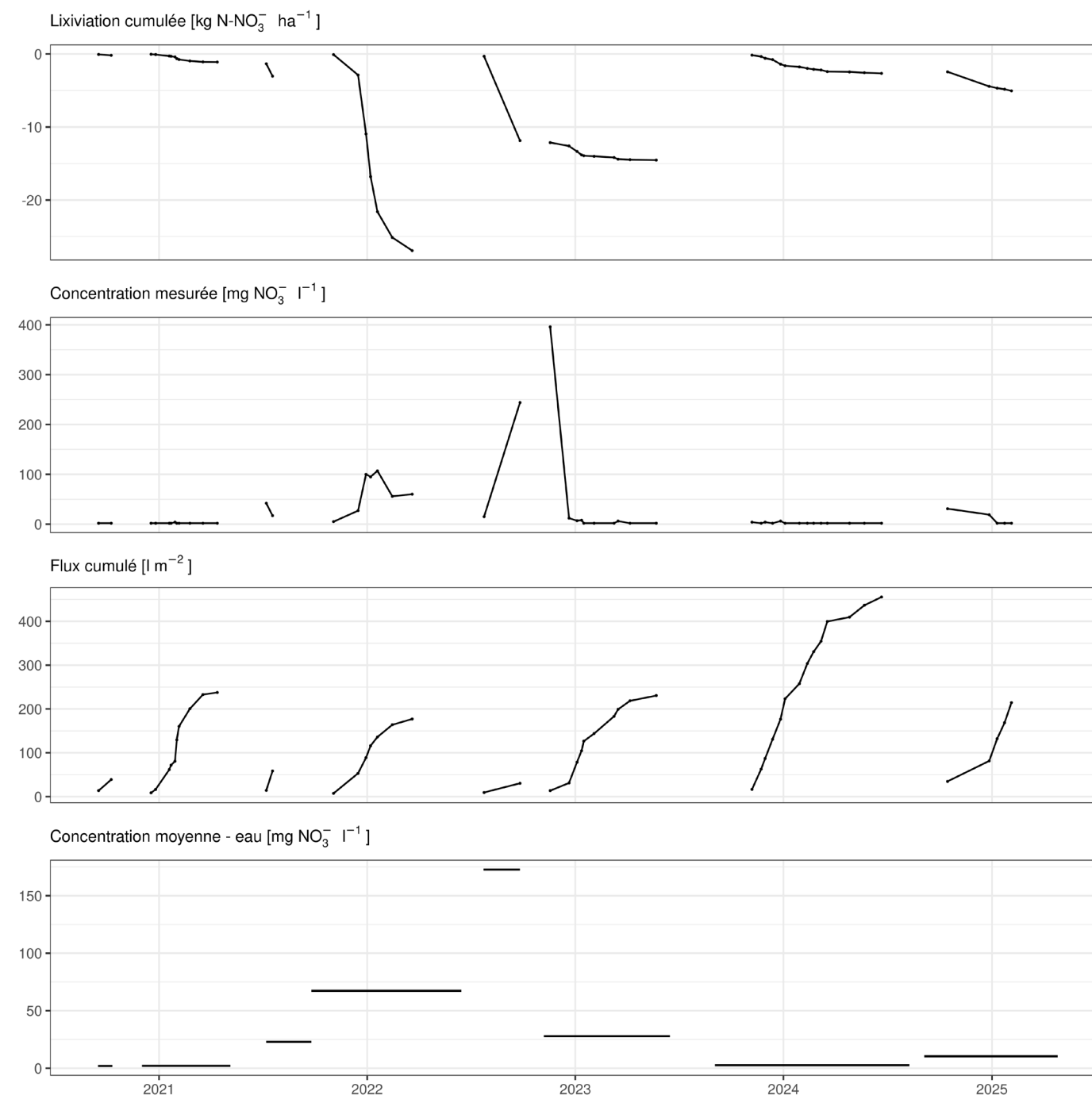


Figure 13. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité B.

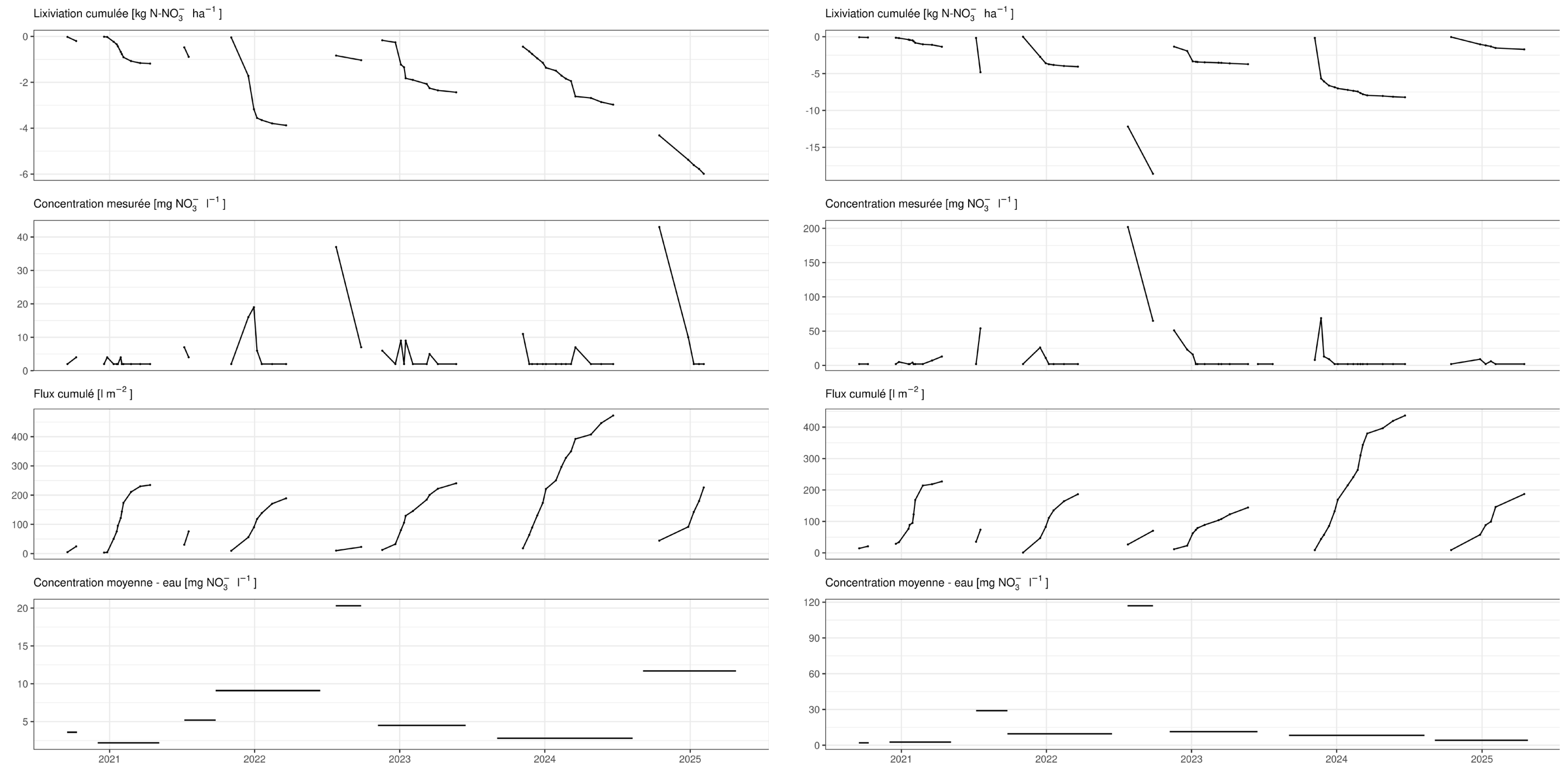


Figure 14. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité C.

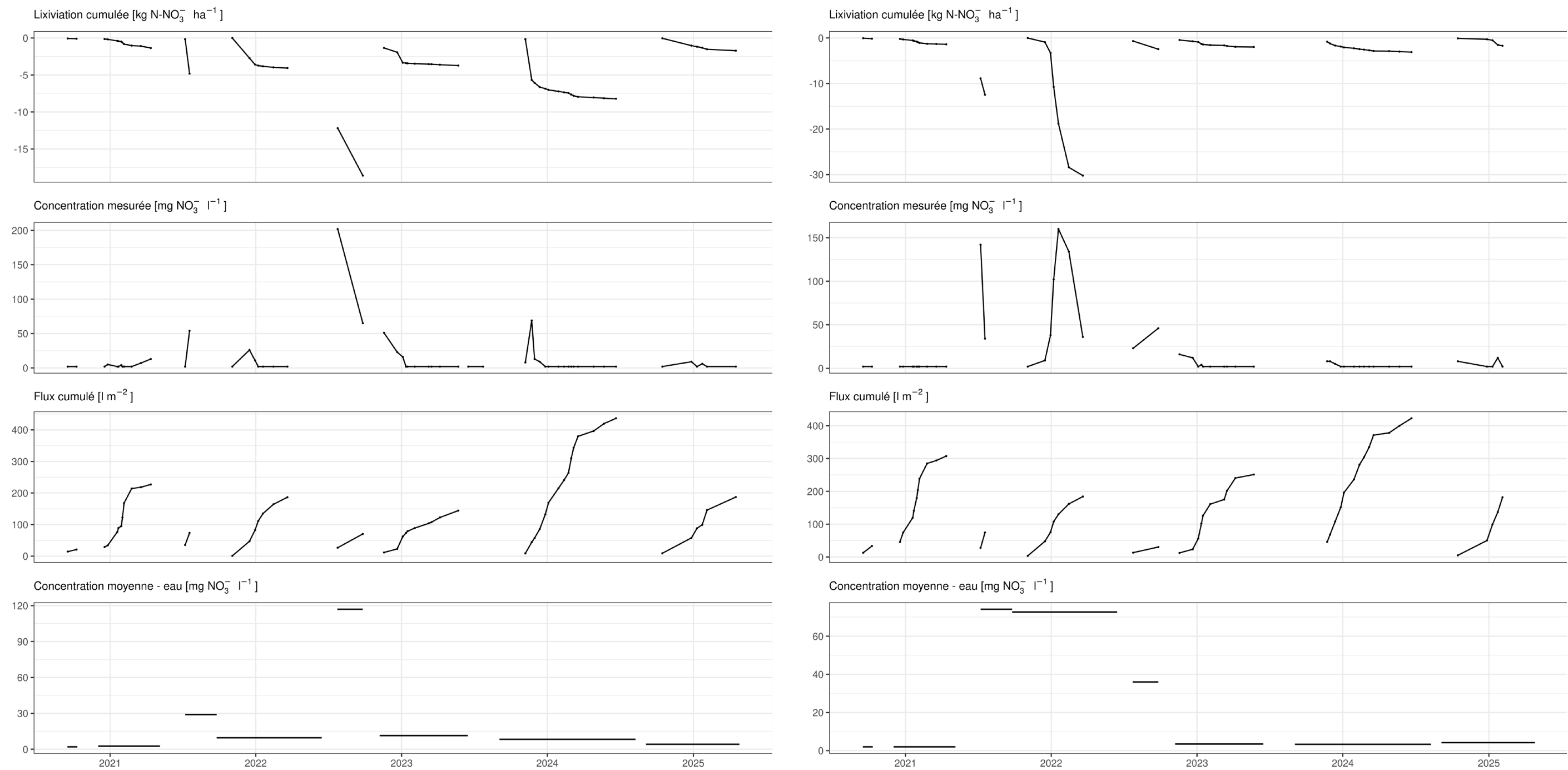


Figure 15. Suivi lysimétrique dans les lysimètres ‘prairie’ de la modalité D.

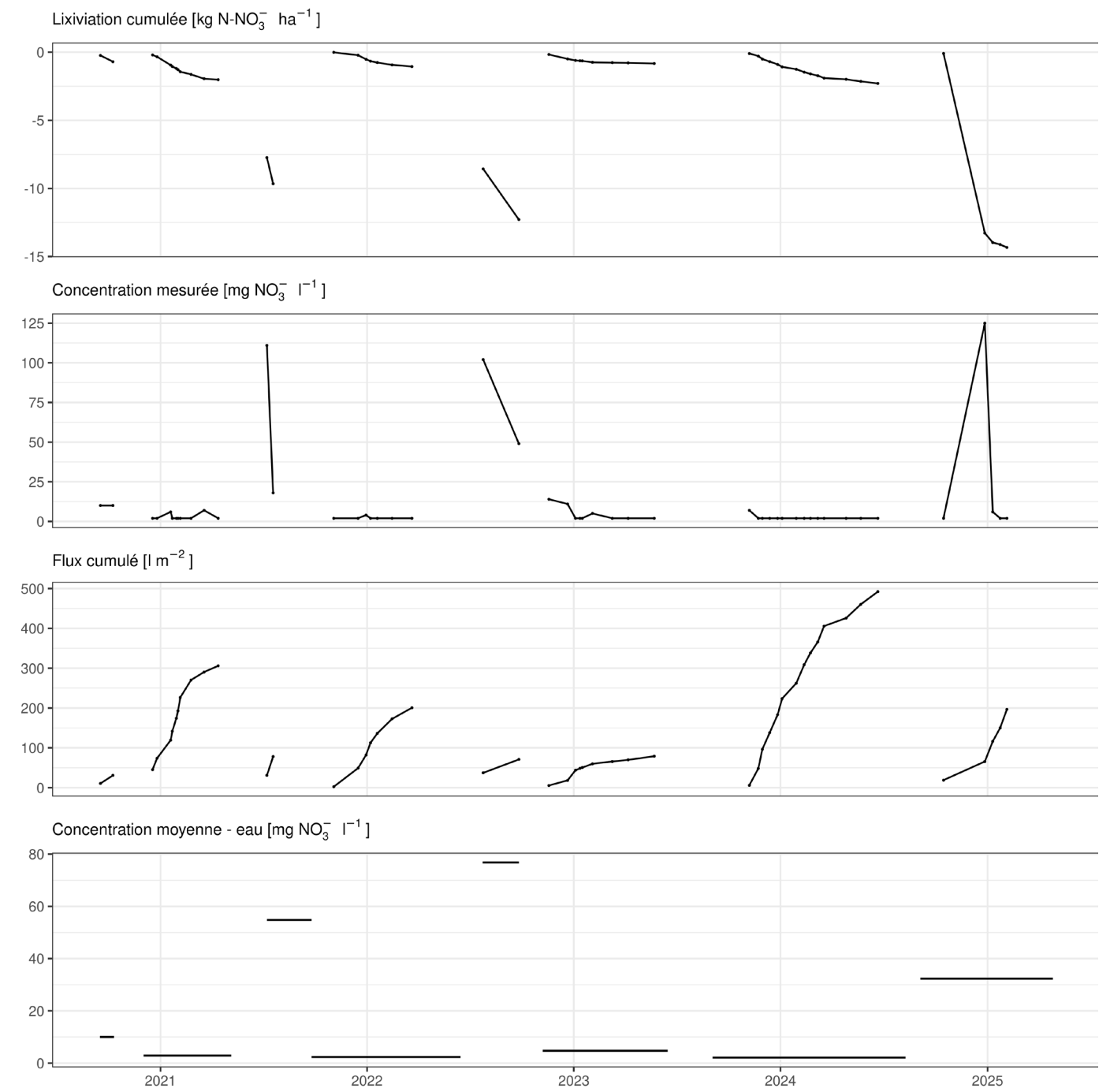
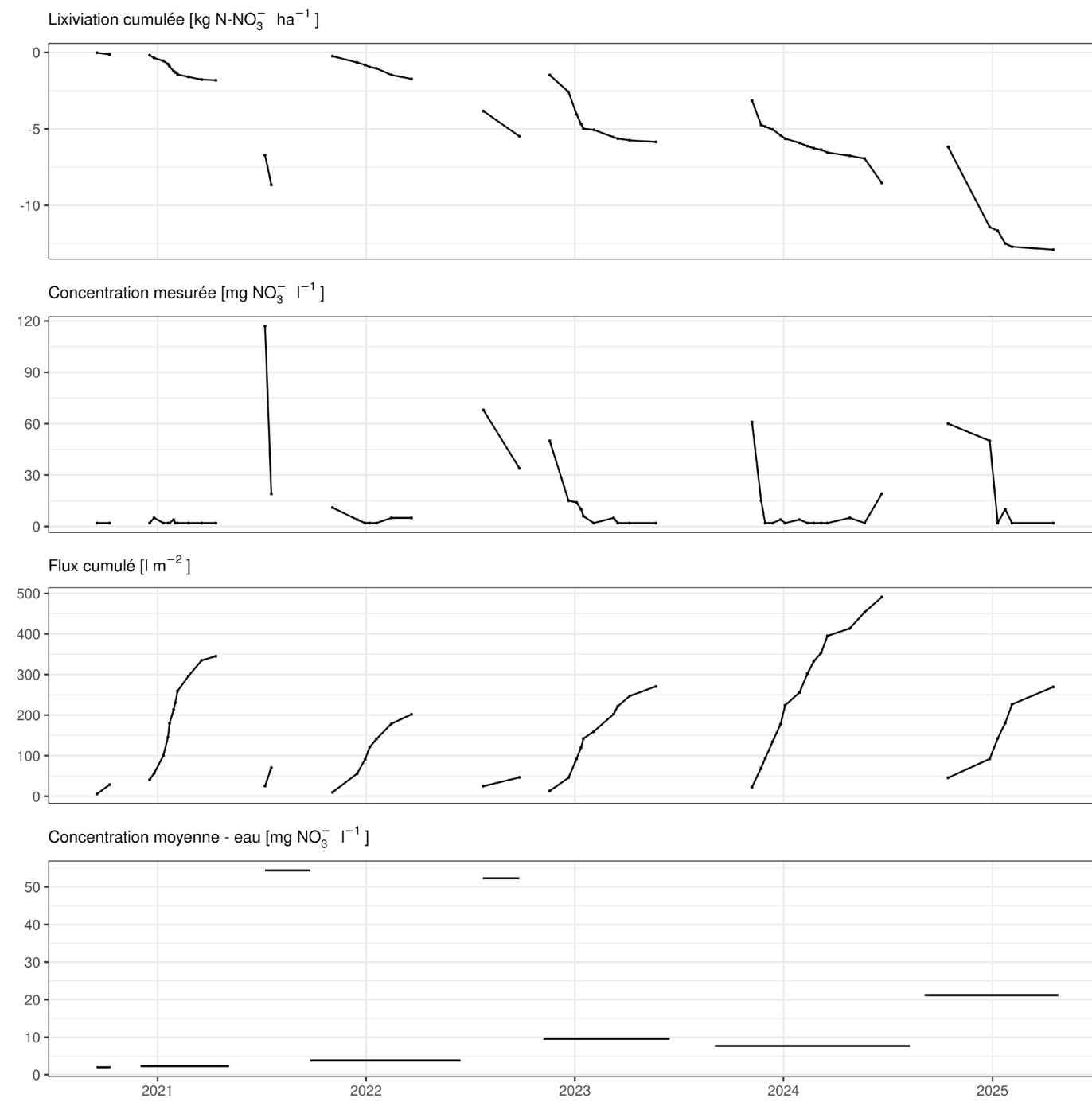


Figure 16. Suivi lysimétrique dans les lysimètres 'prairie' de la modalité E