



GRENeRA
www.grenera.be

L'APL, un outil d'encadrement et d'évaluation de la pression agricole pour restaurer la qualité de l'eau du bassin versant d'Arquennes



Ce document doit être cité de la manière suivante :

Lefébure K., Vandenberghe C., Colinet G., 2021 *L'APL, un outil d'encadrement et d'évaluation de la pression agricole pour restaurer la qualité de l'eau du bassin versant d'Arquennes*. Dossier GRENeRA **21-09**, 17 p. In Durenne B.^[1], Vandenberghe C.^[2], De Toffoli M.^[3], Bachelart F.², Imbrecht O.³, Lefébure K.², Williscombe F.¹, Bergiers G.¹, Weickmans B.¹, Lambert R.³, Colinet G.², Huyghebaert B.¹.2022. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2021 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau*. Centre wallon de Recherches agronomiques, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech et Université catholique de Louvain.

^[1] Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W)

^[2] Gembloux Agro-Bio Tech (ULg)

^[3] Earth and Life Institute (UCL)

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	3
2. MATERIELS ET METHODES	4
3. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	8
1.1 CARACTERISATION DE LA SAU	8
1.2 MESURES APL	10
1.3 CONCENTRATION EN NITRATE	11
1.4 RELATION ENTRE L'APL ET LA CONCENTRATION EN NITRATE	12
4. CONCLUSIONS	15
5. BIBLIOGRAPHIE.....	16

1. Introduction

Depuis 1991, la Directive Nitrate (91/676/CEE) impose aux états membres de :

1. désigner des zones vulnérables,
2. mettre en œuvre un programme d'actions révisable tous les quatre ans et
3. d'évaluer et réviser ce programme d'actions tous les quatre ans.

Depuis 2002, le Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA) fixe notamment des quantités maximales d'engrais de ferme épandables ainsi que les dates et conditions d'épandage en Wallonie et plus particulièrement dans la zone vulnérable. Il impose également des réglementations en matière de couverture hivernale et précise les conditions dans lesquelles le contrôle de l'azote potentiellement lessivable (APL)¹ doit être réalisé par le Service Public de Wallonie (SPW).

Le site de prises d'eau d'Arquennes est situé dans la zone vulnérable de Wallonie. Il est composé de deux sources à l'émergence et de deux galeries et constitue l'exutoire hydraulique de deux bassins versant agricoles couvrant environ 100 ha. Le site a été exploité par la Société Wallonne des Eaux (SWDE) jusqu'au début des années 2000 avant d'être mis à l'arrêt suite à l'importance de la contamination en nitrate (45 à 70 mg NO₃-I⁻¹).

Les agriculteurs exploitant les parcelles des bassins versant doivent donc respecter le PGDA. Dans le cadre d'une recherche menée entre 2005 et 2010 par Deneufbourg et al, (2010) et Gaule et al., (2010), des piézomètres ont été forés et des essais des traçages ont été réalisés dans la zone vadose et en milieu saturé ont été réalisés. Les résultats de ces observations ont permis de délimiter les zones d'alimentation des galeries. En parallèle, les agriculteurs ont été encadrés spécifiquement par la structure d'encadrement PROTECT'eau afin de s'assurer du respect de l'application du PGDA. Dans ce cadre, des mesures de l'APL ont été réalisées annuellement dans les parcelles constituant les zones d'alimentation des galeries. Cette expérimentation « grandeur nature » a confirmé l'efficacité du PGDA à réduire la concentration en nitrate dans l'eau souterraine (Deneufbourg et al., 2013).

A la fin de la recherche, l'encadrement des agriculteurs a cessé, le suivi de la mesure de l'APL a, quant à lui, été maintenu. L'objectif de cet article est de présenter la relation entre les mesures de l'APL réalisées dans les zones d'alimentation des galeries et leur influence sur la concentration en nitrate de l'eau souterraine.

¹ Ou reliquat entrée hiver (REH)

2. Matériels et méthodes

Le site de prises d'eau d'Arquennes a été exploité par la SWDE. Il est notamment composé de deux galeries (G3 et G6). La base de données *Calypso*, gérée par le SPW, consigne l'ensemble des analyses d'eau réalisées en Wallonie. La SWDE a réalisé respectivement 140 et 149 mesures de la concentration en nitrate dans les galeries G3 et G6 depuis 1996. En parallèle des mesures réalisées par la SWDE, un suivi plus régulier a été assuré (Deneufbourg et al., 2010, Deneufbourg et al., 2013 ; Bah et al., 2016 et Lefébure et al., 2020b). Depuis 2006, 145 mesures complémentaires ont été réalisées. La concentration moyenne mensuelle a été calculée pour chacune des galeries sur l'ensemble du jeu de données. Finalement, la concentration moyenne annuelle a été calculée sur base des concentrations moyennes mensuelles.

Les bassins versants ont largement été caractérisés par Deneufbourg et al., (2013) et Gaule et al., (2010). Brièvement, les deux bassins versants sont séparés l'un de l'autre par l'autoroute « E19 ». Le bassin versant 'est' dont l'altitude est comprise entre 124 et 149 m couvre 31 ha. Le bassin versant 'ouest' dont l'altitude est comprise entre 124 et 156 m couvre 47 ha.

Les sols constituant les bassins versants sont développés sur le dépôt limoneux quaternaire (LIM). L'épaisseur du dépôt quaternaire est généralement comprise entre 1 et 7 m.

Le substrat pédologique limoneux repose sur des formations aquifères sableuses. L'aquifère est composée de deux formations principalement sableuses, de la plus récente à la plus ancienne, (Figure 1) :

1. la Formation de Bruxelles (BXL) et
2. la Formation de Mons-en-Pévèle (MEP).

Finalement, la formation de Carnières (CAR) principalement argileuse constitue un aquiclude de plus de 10 m d'épaisseur limitant les transferts verticaux entre la formation aquifère calcaire sous-jacente et la formation aquifère sableuse.

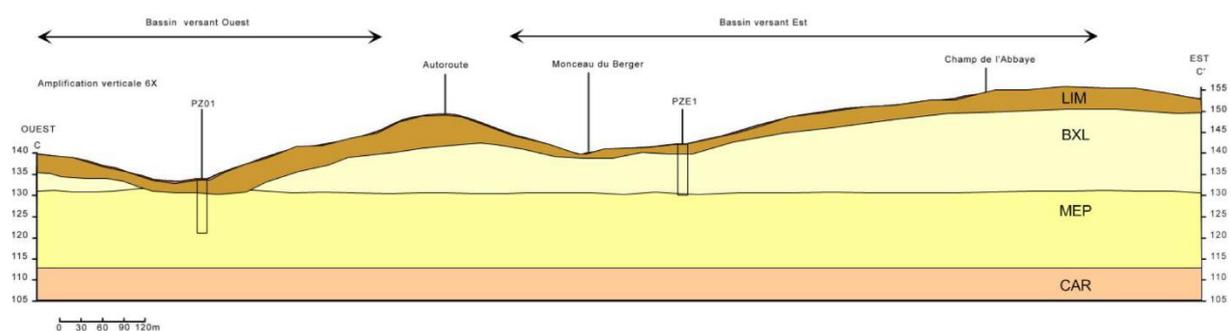


Figure 1. Coupe lithostratigraphique ouest-est des deux bassins versants (Gaule et al., 2010).

Les bassins versants d'Arquennes sont situés à environ 25 km au sud de la station météorologique d'Uccle (IRM, 2021b). Entre 1981 et 2020, la somme annuelle des précipitations moyennes mensuelles est de 852 mm. Ces précipitations sont réparties uniformément durant l'année. Les précipitations mensuelles moyennes sont comprises entre 51 mm en avril et 81 mm en décembre. Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 3 et 18°C (Figure 2).

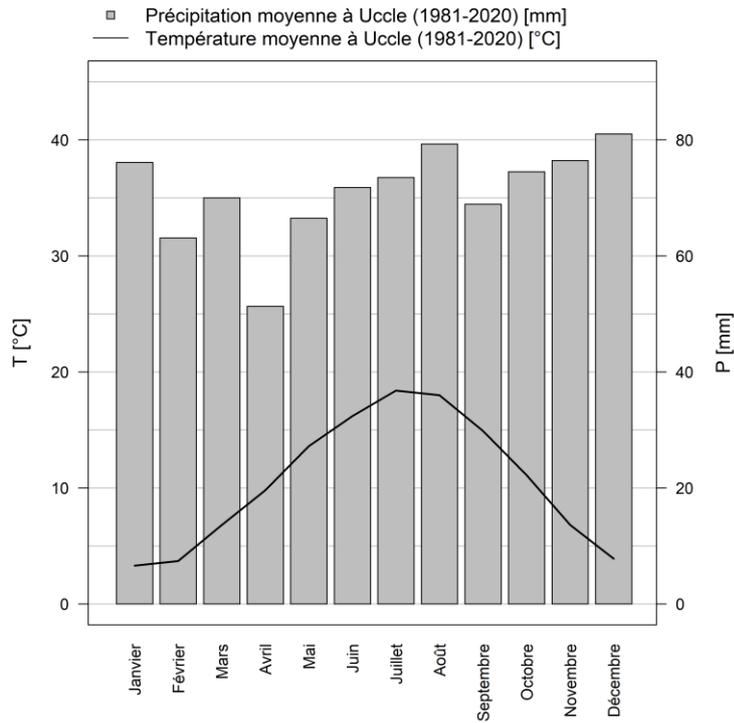


Figure 2. Diagramme ombrothermique réalisé à partir des moyennes climatiques (1981 - 2020) (IRM, 2021).

Les lignes de flux contribuant de façon prépondérante à l'alimentation des deux galeries G3 et G6 ont été délimitées par Gaule et al., (2010). Sur base de celles-ci, les zones d'alimentation des galeries G3 (ZAG3) et G6 (ZAG6) ont été délimitées (Figure 3). La galerie G3 est alimentée par une surface d'environ 24 ha et la galerie G6 par une surface d'environ 58 ha. Notons dès à présent que les zones d'alimentation s'étendent au-delà des limites strictes des bassins versants topographiques.

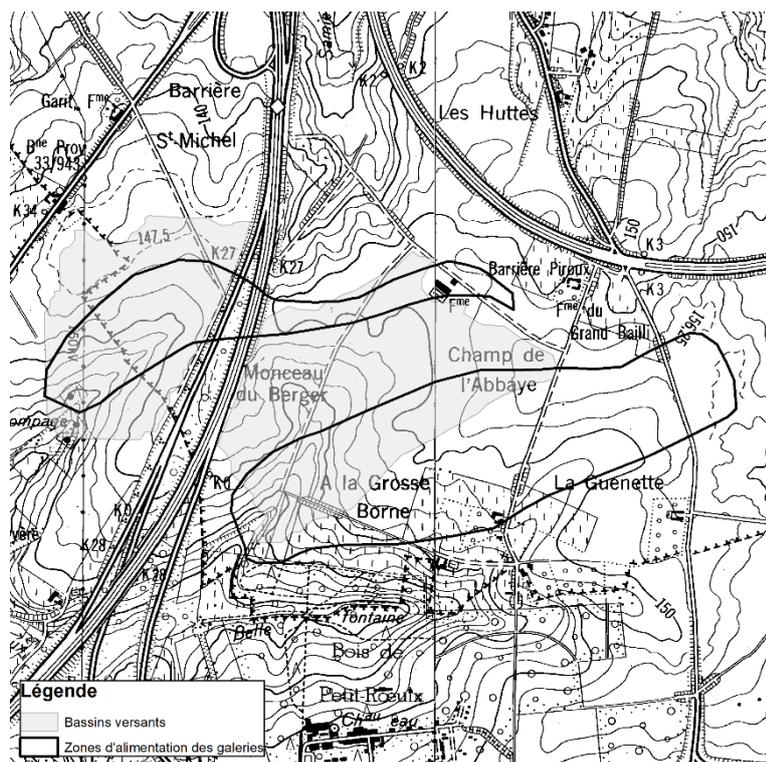


Figure 3. Lignes de flux contribuant de façon prépondérante à l'alimentation des deux galeries G3 et G6.

Les ZAG3 et ZAG6 sont couvertes par respectivement 84 et 95 % de surface agricoles (SA). Les zones non agricoles correspondent à l'emprise d'exploitations agricoles et de l'autoroute. Le *Système intégré de gestion et de contrôle* (SIGeC) est une base de données gérées par le SPW. Elle contient notamment la délimitation des parcelles et leur emblavement (Figure 4).

L'azote potentiellement lessivable (APL) est défini par l'arrêté du gouvernement wallon du 13 juin 2014 comme la quantité d'azote nitrique contenue dans le sol à l'automne, susceptible d'être entraînée hors de la zone racinaire pendant l'hiver. L'APL des sols cultivés est évalué par 15 prélèvements de sol. Ces prélèvements sont réalisés jusqu'à 90 cm par couche de 30 cm.

Dans les prairies, l'APL est évalué par 30 prélèvements de sol réalisés jusqu'à 30 cm. L'APL est alors extrapolé à 90 cm par la multiplication de l'APL_{0-30 cm} par 2 (Comélieu et al., et 2021).

Depuis 2005, une vingtaine de parcelles situées sur les bassins versants topographiques font l'objet de mesures APL. Certaines parcelles principalement situées dans la ZAG6 ne sont pas systématiquement échantillonnées (Figure 4).



Figure 4. Parcelle agricole à proximité des zones d'alimentation des galeries.

Depuis 2007, le contrôle du SPW permet de mesurer l'APL dans plus de 2000 parcelles par an dans l'ensemble de la zone vulnérable wallonne (Lefébure et al., 2021). Deux parcelles non régulièrement suivies ont été contrôlées par le SPW. Une parcelle l'a été en 2007 et 2010, l'autre a été contrôlée entre 2011 et 2013. Ces valeurs compléteront le volume d'observations.

Dans la ZAG3, les parcelles pour lesquelles l'APL n'est pas connu ne représentent qu'environ 6 % de la SA alors que dans la ZAG6, elles couvrent environ 40 % de la SA.

L'APL des parcelles non échantillonnées a été estimé sur base des mesures APL réalisées par le SPW dans la masse d'eau des sables du Bruxelliens entre 2007 et 2020 (Lefébure et al., 2021).

Sur base de l'ensemble de ces données APL, un APL moyen est calculé annuellement en pondérant la valeur APL des parcelles par leur superficie incluse dans la zone d'alimentation des galeries.

3. Résultats et discussions

1.1 Caractérisation de la SAU

Le traitement des données du SIGeC depuis 2005 (Tableau 1) met en évidence une gestion différenciée des parcelles situées dans la ZAG3 de celles situées dans la ZAG6. La culture de betterave (B) occupe en moyenne des parts de superficies équivalentes dans la ZAG3 et ZAG6. Les cultures de céréales (Ce), principalement du froment et dans une moindre mesure de l'escourgeon, couvrent plus de la moitié de la ZAG3 alors qu'elles ne représentent qu'un tiers de la ZAG6. La culture de chicorées (Chi) occupe entre 20 et 40 % de la ZAG3 tous les 4 ou 5 ans. Dans la ZAG6, cette spéculacion couvre plus souvent une part plus réduite de la surface. Les cultures de maïs (M) et de pomme de terre (PDT) sont fréquemment et largement rencontrées dans la ZAG6. Elles couvrent en revanche une emprise plus faible dans la ZAG3. Du colza (Col) n'a été cultivé qu'en 2010 et 2012 sur moins de 5 % des zones d'alimentation des galeries. Les cultures de légumes (Leg) principalement du pois couvrent environ 15 % de la ZAG6 tous les 5 à 6 ans. En 2021, une association de céréales et de légumineuse couvrait environ 11 % de la ZAG6. Dans la ZAG3, la culture de légumes couvre ponctuellement des proportions de 40 à 60 % de la ZAG3. Aucune parcelle de la ZAG3 n'est couverte de surface enherbée (P). A l'inverse, entre 5 et 20 % de la ZAG6 est couverte de prairies, de bandes enherbées ou de jachères. Une prairie se situe directement à proximité d'une exploitation agricole. L'observation des images aériennes met clairement en évidence une diminution de la couverture végétale signe d'une charge en bétail importante. La culture de lin a couvert des proportions de 10 et 20 % de la ZAG3 en 2010 et 2017. Enfin la culture de fraises couvre une surface inférieure à 1 % de la ZAG6.

Tableau 1. Distribution relative des cultures dans les zones d'alimentation des galeries G3 et G6 entre 2005 et 2021. B : betteraves, Cé : céréales, Chi : chicorée, M : maïs, PDT : pommes de terre, Col : colza, Lég : légumineuses, P : parcelle enherbées, Fr : fraisier.

	B		Ce		Chi		M		PDT		Col		Leg		P		Lin		F	
	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6	G3	G6
2005	7	5	83	45	0	6	2	18	0	7	0	0	8	0	0	19	0	0	0	0
2006	32	26	27	15	1	8	0	6	0	27	0	0	41	0	0	19	0	0	0	0
2007	11	9	85	70	0	0	1	5	3	5	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
2008	24	24	27	23	42	7	7	7	0	25	0	5	0	1	0	8	0	0	0	0
2009	0	4	86	50	0	9	7	18	6	6	1	0	0	0	0	13	0	0	0	0
2010	42	14	18	12	12	0	0	32	0	16	1	1	16	15	0	10	10	0	0	0
2011	6	0	81	38	0	2	11	33	0	22	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0
2012	26	16	22	17	39	0	0	15	0	33	0	5	13	0	0	14	0	0	0	0
2013	8	8	78	63	0	10	5	7	7	9	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0
2014	6	36	89	17	0	0	0	26	3	15	0	0	0	1	0	5	2	0	0	0
2015	9	10	24	61	1	3	0	22	8	1	0	0	58	0	0	4	0	0	0	0
2016	7	13	88	29	1	4	4	20	0	30	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
2017	9	7	10	34	24	4	2	28	35	23	0	0	0	0	0	3	20	0	0	0
2018	1	9	67	39	11	10	12	8	9	0	0	0	0	15	0	19	0	0	0	0
2019	59	8	22	36	0	0	0	30	12	4	0	0	6	7	0	14	2	0	0	0
2020	17	18	83	33	0	11	0	16	0	8	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
2021	17	1	35	9	43	6	4	12	1	40	0	0	0	11	0	22	0	0	0	1
Moyenne	16	12	54	35	10	5	3	18	5	16	0	1	8	3	0	11	2	0	0	0

1.2 Mesures APL

En moyenne, l'APL moyen calculé dans la ZAG3 est de 42,6 kg N-NO₃ ha⁻¹. Les APL moyens calculés en 2006 et 2015 sont supérieurs à 60 kg N-NO₃ ha⁻¹ (Figure 5).

En 2006, l'APL moyen est de 63 kg N-NO₃ ha⁻¹ dans la ZAG3. Environ 40 % de la SA de ZAG3 était emblavée de légumes dont l'APL était de 62 kg N-NO₃ ha⁻¹. La gestion de l'azote sur les cultures de betterave et de froment était sur la plupart des parcelles déficientes. Ces parcelles présentaient un APL supérieur à 100 kg N-NO₃ ha⁻¹.

En 2015, l'APL moyen est de 83 kg N-NO₃ ha⁻¹ dans la ZAG3. Plus de 60 % de la SA de ZAG3 était emblavée de cultures de légumes ou de pomme de terre. Leur APL respectif était 107 et 98 kg N-NO₃ ha⁻¹.

Les APL moyens calculés pour les années 2007, 2008, 2011, 2013, 2014, 2016, 2018 et 2021 sont inférieurs à 40 kg N-NO₃ ha⁻¹. Durant ces années, les cultures céréalières occupaient une part importante de la SA dans la ZAG3.

Les conditions météorologiques jouent également un rôle important. En 2019, bien que les cultures céréalières couvraient plus de 80 % de la SA de ZAG3, l'APL moyen était de 73 kg N-NO₃ ha⁻¹. La sécheresse observée durant l'ensemble de l'année 2019 a limité le développement des cultures (et donc le prélèvement de l'azote) et augmenté la minéralisation de la matière organique du sol après les récoltes. Les conditions météorologiques ont par ailleurs limité le développement des CIPAN (Vandenberghe et al., 2019 ; Lefébure et al., 2020a).

A l'inverse en 2021, la culture de chicorée couvre plus de 40 % de la SA de la ZAG3. Les conditions météorologiques ont été favorables pour les cultures. Les précipitations exceptionnelles de l'été 2021 (IRM, 2021) ont vraisemblablement lixivié une partie de lu nitrate avant la mesure de l'APL (Vandenberghe et al., 2021).

Dans la ZAG6, l'APL est en moyenne de 55 kg N-NO₃ ha⁻¹. Des APL moyens inférieurs à 40 kg N-NO₃ ha⁻¹ sont observés en 2007, 2008, 2009 et en 2021. L'APL moyen des autres années est systématiquement supérieur à 60 kg N-NO₃ ha⁻¹. Les cultures emblavées dans la ZAG6 ont un impact environnemental 'intrinsèque' plus important que celles emblavées dans la ZAG3. Les cultures de pomme de terre et de maïs couvrent chacune environ 15 % de la SA de la ZAG6. Les cultures céréalières et betteravières sont également moins représentées.

Comme expliqué précédemment, les conditions météorologiques de l'année 2021 ont conduit à des valeurs APL faibles.

Les parcelles échantillonnées de la ZAG6 couvrent en moyenne 60 % de la SA de ZAG6. Durant la phase d'encadrement (de 2005 à 2010), l'APL moyen pondéré calculé sur ces parcelles était inférieur (Figure 5, trait discontinu) à celui estimé sur l'ensemble de ZAG6 par l'extrapolation, aux parcelles non échantillonnées, des valeurs moyennes observées dans cadre du contrôle APL (Figure 5, trait plein).

L'encadrement proposé par PROTECT'eau (www.protecteau.be) portait notamment sur la gestion des fertilisations minérales et organiques. En considérant que les agriculteurs présents dans la ZAG6 avaient une gestion de l'azote comparable à celle de l'agriculteur 'moyen', définit par les valeurs du contrôle

APL, on peut donc raisonnablement penser que l'APL moyen pondéré (sur les parcelles encadrées) aurait été plus élevé si l'encadrement n'avait pas eu lieu.

Une fois l'encadrement terminé, les conseils prodigués durant la phase d'encadrement n'ont vraisemblablement plus été suivis par les agriculteurs. Les APL moyens calculés sont généralement supérieurs aux APL moyens estimés à l'ensemble de la ZAG6.

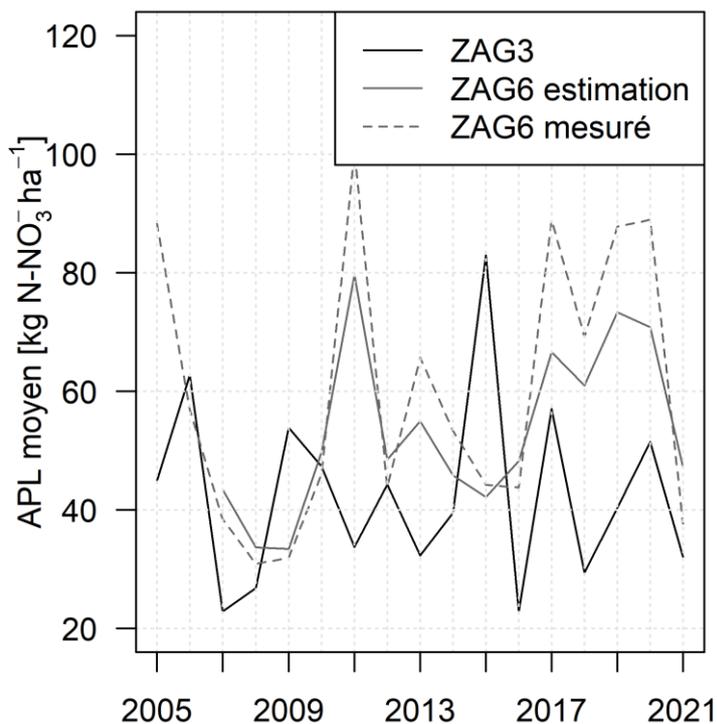


Figure 5. Évolution de l'APL moyen pondéré à l'échelle des ZAG3 et ZAG6.

1.3 Concentration en nitrate

A la fin des années 1990 et au début des années 2000, les concentrations en nitrate dans les galeries G3 et G6 étaient comprises entre 55 et 75 mg NO₃ l⁻¹ (Figure 6). En 2005, au début de l'encadrement agricole, les concentrations en nitrate dans les galeries G3 et G6 étaient d'environ 60 mg NO₃ l⁻¹. Entre 2005 et 2010, la concentration en nitrate est restée stable dans la galerie G3 et a augmenté dans la galerie G6 jusqu'à environ 70 mg NO₃ l⁻¹. Entre 2010-2011 et 2017-2018, la concentration en nitrate a diminué d'environ 2,5 mg NO₃ l⁻¹ an⁻¹ et d'un 1 mg NO₃ l⁻¹ an⁻¹ dans les galeries G3 et G6. Depuis 2017 et 2021, la concentration ne s'est plus améliorée dans la galerie G3 et elle est repartie à la hausse dans la galerie G6.

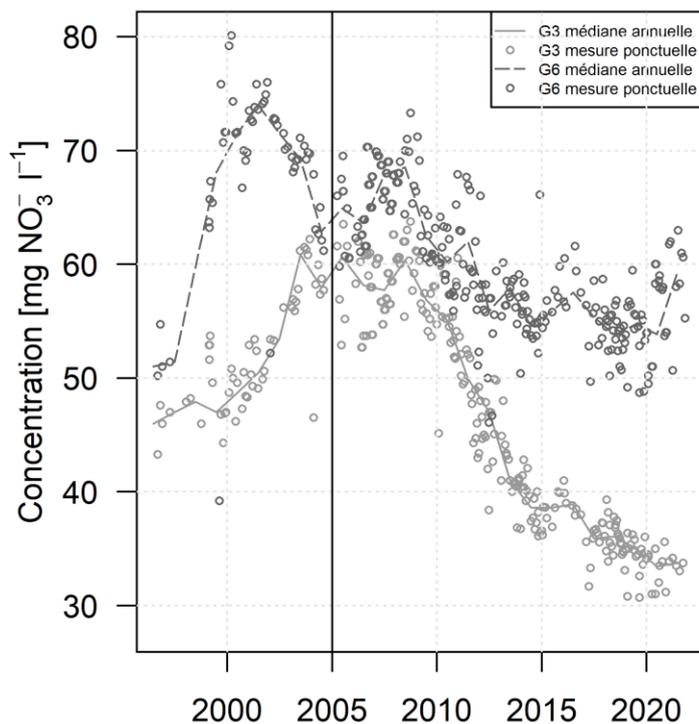


Figure 6. Évolution de la concentration en nitrate dans les galeries G3 et G6.

1.4 Relation entre l'APL et la concentration en nitrate

Les concentrations en nitrate dans les galeries sont multifactorielles (Gaule et al., 2010). Elles dépendent notamment de :

- La concentration en nitrate sous la zone racinaire des parcelles de la ZAG ;
- la lame drainante ;
- la hauteur piézométrique ;
- la perméabilité de la zone vadose ;
- du temps de transfert horizontal dans la nappe phréatique ainsi que
- des autres formes de contamination.

Ces paramètres ne sont généralement pas connus et souffrent d'une importante variabilité spatiale et temporelle. L'APL est ici utilisé comme indicateur de la pression agricole sur la ressource en eau souterraine indépendamment des conditions hydrogéologiques et météorologiques. Par ailleurs, l'APL est le seul paramètre dépendant des pratiques agricoles mises en œuvre.

Les APL moyens estimés dans la ZAG6 sont presque systématiquement supérieurs à ceux observés dans la ZAG3. La moyenne des APL moyen est d'environ 43 kg N-NO₃ ha⁻¹ dans la ZAG3 contre 55 kg N-NO₃ ha⁻¹ dans la ZAG6. La pression agricole plus importante dans la ZAG6 conduit à observer des concentrations en nitrate plus importantes dans la galerie G6 que dans la galerie G3 (Figure 7). Dans le cadre des ZAG à Arquennes, l'APL est donc un indicateur pertinent de pression agricole sur la ressource en eau.

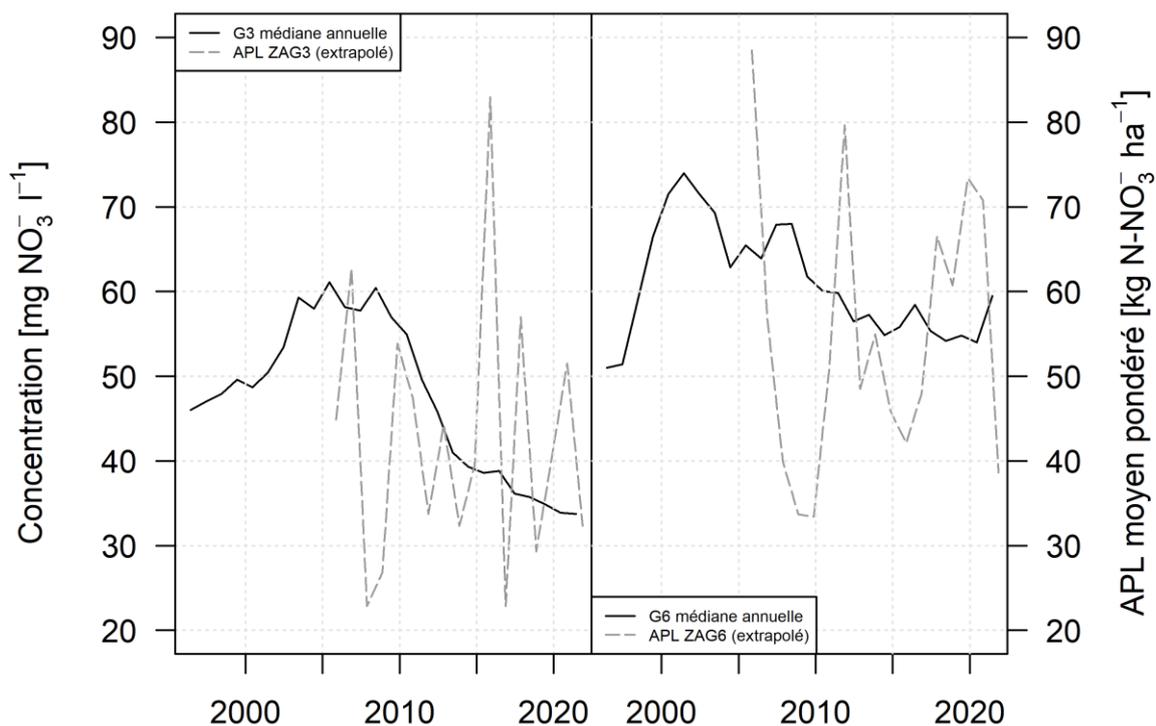


Figure 7. Médiane annuelle de la concentration en nitrate dans les galeries G3 gauche et G6 droite et l'APL moyen pondéré dans leur zone d'alimentation.

La relation entre l'APL moyen et la concentration en nitrate au sommet de la nappe phréatique n'est cependant pas parfaite. Les autres paramètres non maîtrisés interviennent également.

Par exemple, l'APL mesurés dans la ZAG3 en 2015 n'a conduit qu'à une augmentation de la concentration en nitrate inférieure à 1 mg NO₃⁻ l⁻¹. Les précipitations mesurées à la station d'Uccle entre novembre 2015 et avril 2016 ont été qualifiées par l'IRM (2017) d'exceptionnelles. A la station *Agromet* (Source : CRA-W / Agromet.be) de Feluy (située à environ 5 km des ZAG), la somme des précipitations était de 510 mm durant cette période alors qu'elle est en moyenne de 380 mm sur la période allant de 2003 à 2020.

L'expérience lysimétrique menée par Vandenberghe et al., (2021) montre par ailleurs qu'une mesure APL élevé, typiquement supérieure à 250 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ peut conduire à une augmentation soutenue et durable dans le temps de la concentration en nitrate sous la zone racinaire. A l'inverse, des cultures à enracinement profond, comme la betterave, peut valoriser le stock de nitrate précédemment lixivié sous la zone racinaire de la plupart des autres cultures.

Ces travaux ont également permis de mettre en évidence des reprises de drainage en dehors des périodes habituelles de lixiviation. Dans de telles situations, l'indicateur APL sous-estime le risque pour la ressource en eau.

La relation entre l'APL et la concentration en nitrate présente également une relation qualitative à l'échelle de territoires plus vastes. Lefébure et al., (2021) ont calculé un coefficient de détermination de

0,90 entre la moyenne des concentrations en nitrate évaluée dans les masses d'eau souterraine « libre » entre 2015 et 2020 et la moyenne des APL moyens pondérés calculée dans ces masses d'eau (Figure 8).

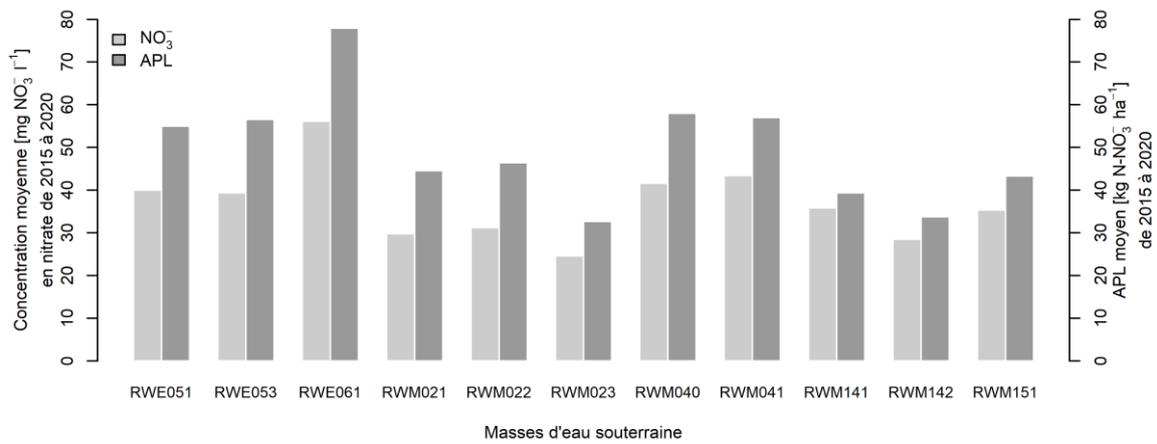


Figure 8. Distribution des concentrations moyennes en nitrate et des APL moyens calculés entre 2015 et 2020 pour les masses d'eau souterraine libre situées dans la zone vulnérable de Wallonie. Adaptée de Lefébure et al., (2021).

4. Conclusions

Les concentrations en nitrate ont diminué de 10 à 20 mg NO₃ l⁻¹ après l'encadrement des agriculteurs exploitant à proximité des galeries G3 et G6 de la SWDE situées à Arquennes. L'encadrement des agriculteurs a notamment impliqué l'utilisation de l'APL comme indicateur de la gestion agronomique de l'azote.

Dans ce document, la pertinence de l'APL et plus globalement de l'APL moyen pondéré à l'échelle d'une ZAG ou d'une masse d'eau a été mise en évidence. La connaissance de la chronique de l'APL moyen dans une zone d'alimentation de captage permet donc d'estimer l'impact agricole sur la ressource en eau.

Bien que l'APL soit facilement quantifiable et interprétable, d'autres facteurs plus variables comme la pluviométrie interviennent dans le transfert de contaminants vers l'eau souterraine.

D'autres travaux menés en plein champs montrent par ailleurs que l'APL évolue durant la période antérieure à la période de drainage. Il peut notamment augmenter après par la minéralisation des résidus de culture et de la matière organique du sol (Vandenberghe et al., 2021) ou diminuer par le prélèvement du nitrate par les cultures. La mesure de l'APL est donc une mesure statique de processus dynamiques.

5. Bibliographie

- Bah B. et al., 2016. Suivi de deux bassins versants pilotes à Arquennes. Dossier GRENeRA 16-03. 15 p. *In* De Toffoli M., Vandenberghe C., Imbrecht O., Bah B., Bachelart F., Colinet G., Lambert R., 2016 Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2016 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement Nitrawal. Université catholique de Louvain et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 20 p. + annexes. (<https://hdl.handle.net/2268/225700>)
- Comeliau S. et al., 2021. Survey Surfaces Agricoles. Estimation de l'APL moyen. Dossier GRENeRA 21-02, 15 p. *In* Vandenberghe C., De Toffoli M., Durenne B., Bachelart F., Imbrecht O., Lefébure K., Williscombe F., Hawotte F., Weickmans B., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2021. Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2021 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. ()
- Deneufbourg M. et al., 2010. Programme d'actions pour la protection des captages contre les contaminations d'origine agricole. Bassins pilotes d'Arquennes. Rapport d'activités final. Partie GRENeRA. Convention S.P.G.E. – Nitrawal a.s.b.l., 113p.
- Deneufbourg M., et al. 2013. Mise en œuvre du Programme de Gestion Durable de l'Azote à l'échelle de deux petits bassins versants (Arquennes - Belgique) et évaluation d'impact par le suivi des flux de nitrate aux exutoires et par modélisation numérique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 17(S1), 164-176. (<https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=16885&file=1&pid=9652>)
- Gaule D., & Bolly P.Y. (2010). Bassin pilote d'Arquennes. Etude hydrogéologique approfondie - Modélisation mathématique, 246 p.
- IRM, 2017. IRM – Février. <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/bilans-climatologiques/2016-2020/2017/fevrier-2017> (17/3/2022).
- IRM, 2021. IRM – Été. <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/bilans-climatologiques/2021/ete> (17/3/2022).
- IRM, 2021. Météo en Belgique – IRM. <https://www.meteo.be/fr/belgique> (17/3/2022).
- Lefébure K. et al., 2020. Analyse des résultats du contrôle APL 2019 et évolution depuis 2008 à l'échelle des masses d'eau souterraine de Wallonie. Dossier GRENeRA 20-04, 62 p. + annexes. *In* Vandenberghe C., De Toffoli M., Hawotte F., Lefébure K., Durenne B., Imbrecht O., Bachelart F., Weickmans B., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2021. Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides - Rapport d'activités final 2020 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau. Centre wallon de Recherches agronomiques, Université catholique de Louvain et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 26 p. + annexes. (<https://hdl.handle.net/2268/288365>)
- Lefébure K. et al., 2020. Suivi de deux bassins versants pilotes à Arquennes. Dossier GRENeRA 20-06. 19 p. *In* Vandenberghe C., De Toffoli M., Durenne B., Bachelart F., Imbrecht O., Lefébure K., Williscombe F., Hawotte F., Weickmans B., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2021. Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2020 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. (<https://hdl.handle.net/2268/288363>)

Lefébure K. et al., 2021. Analyse des résultats du contrôle APL 2020 et évolution depuis 2008 à l'échelle des masses d'eau souterraine de Wallonie. Dossier GRENeRA 21-04, 67 p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Hawotte F., Lefébure K., Durenne B., Imbrecht O., Bachelart F., Weickmans B., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2021. Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides - Rapport d'activités final 2021 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, 21 p. + annexes.

Vandenberghe C. et al., 2019. Survey surfaces agricoles. Etablissement des références APL 2019. Dossier GRENeRA-UCLouvain 19-03, 28 p. In De Toffoli M., Hawotte F., Vandenberghe C., Lefébure K., Durenne B., Imbrecht O., Bachelart F., Weickmans B., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2020. Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2019 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. (<https://hdl.handle.net/2268/260152>)

Vandenberghe C. et al., 2021. Survey Surfaces Agricoles. Etablissement des références APL 2021. Dossier GRENeRA 21-03, 26 p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Durenne B., Bachelart F., Imbrecht O., Lefébure K., Williscombe F., Hawotte F., Weickmans B., Huyghebaert B., Lambert R., Colinet G., 2021. Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2021 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau. Université catholique de Louvain, Centre wallon de Recherches agronomiques et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech.

Vandenberghe C., Lefébure K., Colinet G., 2021 *Le lysimètre, un outil d'évaluation de l'APL en tant qu'indicateur environnemental*. Dossier GRENeRA **21-05**, 17 p. In Durenne B., Vandenberghe C., De Toffoli M., Bachelart F.², Imbrecht O.³, Lefébure K.², Williscombe F.¹, Bergiers G.¹, Weickmans B.¹, Lambert R.³, Colinet G.², Huyghebaert B.¹. 2022. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne et volet eau du programme wallon de réduction des pesticides – Rapport d'activités final 2021 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement PROTECT'eau*. Centre wallon de Recherches agronomiques, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech et Université catholique de Louvain.