

Bilan azoté évalué à l'aide de l'outil lysimétrique

Nathalie FONDER ¹ & Dimitri XANTHOULIS ²

1. INTRODUCTION

L'augmentation de la productivité agricole a été généralement accompagnée d'un usage non rationnel des produits agrochimiques et des engrais azotés en particulier. Les excès d'azote nitrifié, ayant échappé à l'absorption par les racines, subissent la lixiviation de leurs ions nitrate en profondeur générant le risque de pollution nitrique des eaux souterraines. Il est admis que l'intensité de ce phénomène est conditionné par la texture du sol, la capacité d'absorption de la culture, la hauteur des précipitations et/ou d'irrigation et par la quantité d'azote minéral appliquée et/ou minéralisée à partir de la matière organique native du sol ou celle qui est apportée.

Dans le but de contrôler ces flux d'azote, le Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en agriculture a été mis en place en Région Wallonne. Il s'agit de la transcription de la Directive Nitrate Européenne (91/676 CE) dans la législation belge qui fixe des normes en matière d'épandage d'azote minéral et organique. Le respect de ces normes devrait stabiliser la concentration en nitrate des eaux (de surface et souterraines) en dessous de la norme de potabilité fixée par l'OMS. L'accompagnement des agriculteurs dans ces nouvelles démarches est réalisé par Nitrawal, créé en 2000 sur l'initiative des Ministres de l'Environnement et de l'Agriculture de la Région wallonne. Nitrawal est composé d'une quinzaine d'agents spécialistes de la gestion de l'azote, répartis dans quatre centres d'action régionaux et un centre de coordination situé à Gembloux, de deux cellules d'appui scientifique (ECOP et GRENeRA, scientifiques des Facultés Universitaires de Gembloux et Louvain-la-Neuve), et de deux partenaires qui assurent le relais auprès des secteurs d'activité de l'eau (AQUAWAL,

¹ asbl Epuvaleau, Passage des déportés, 2 B-5030 Gembloux, Belgium
Tél/Fax : + 32 81 62 21 95; E-mail : fonder.n@fsagx.ac.be

² Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Département Hydraulique Agricole, Passage des déportés, 2 B-5030 Gembloux, Belgium
Tél : + 32 81 62 21 86, Fax : + 32 81 62 21 95 -E-mail : xanthoulis.d@fsagx.ac.be

Association Régionale Wallonne de l'Eau regroupant les principaux producteurs, distributeurs et épurateurs d'eau) et de l'agriculture (FWA, la Fédération wallonne de l'Agriculture).

Cette stabilisation attendue de la concentration en nitrate des eaux sera suivie, au travers du « Survey nitrate », par la DGRNE et Aquawal. Le Survey Nitrate est constitué de plusieurs centaines de points répartis dans les eaux de surface (rivières) et souterraines. Les agriculteurs qui souhaitent déroger aux normes d'épandage d'azote organique fixées par le PGDA, entrent en Démarche Qualité.

Chez ceux-ci, cinq parcelles sont échantillonnées chaque année en vue d'en établir le profil de concentration en azote nitrique. Les résultats sont comparés à des valeurs d'azote potentiellement lessivable (APL) de référence (en termes de fertilisation raisonnée) établies annuellement par les deux cellules d'appui scientifique de Nitrawal.

Ces valeurs de référence sont établies sur la base d'un réseau de parcelles contrôlées (SSA, Survey Surfaces Agricoles) pour lesquelles une fumure raisonnée a été appliquée. Les itinéraires culturaux sont repris dans trois classes, dont les reliquats azotés attendus sont compris entre 30 kg N-NO₃/ha et 90 kg N-NO₃/ha et plus. Vingt-cinq exploitations agricoles constituent actuellement ce SSA dans lequel deux cent parcelles sont suivies annuellement en termes de reliquat azoté (Vandenberghe *et al.*, 2004).

Par ailleurs, Dautrebande (1996) a clairement montré qu'à côté de l'agriculture, les secteurs industriel et domestique ont un impact sur la qualité des eaux souterraines. Des actions relatives à la gestion des eaux résiduaires issues de ces deux secteurs sont en cours de mise en oeuvre. Le « Survey Nitrate » présente une vue d'ensemble de l'état (en terme de concentration en nitrate) des eaux souterraines, mais ne permet pas de distinguer l'impact d'une politique environnementale mise en place dans l'un ou l'autre secteur. Il faut tenir compte également du contexte géopédologique de certaines zones en Wallonie où les résultats du Programme de Gestion Durable de l'Azote ne seront mesurables que dans dix années ou plus. Le transit des ions lixiviés dans la zone vadose (entre sol superficiel et domaine des eaux souterraines proprement dites) constitue la véritable « inconnue » du système. Xanthoulis (2002) a montré que des fluctuations annuelles du climat (température et pluviométrie) pouvaient avoir un impact sur le reliquat azoté en début de période de drainage. Cet impact a nécessairement des effets sur la qualité des eaux qui percolent vers les nappes phréatiques.

L'objectif de ce travail est la mise en place d'un outil qui assure un suivi quantitatif de la percolation du nitrate au-delà de la zone racinaire. Cette

quantification de la lixiviation de l'azote nitrique a un double but : (i) fournir rapidement et de manière ciblée au secteur agricole une assurance quant à la pertinence des normes et des valeurs d'APL de référence et (ii) permettre de vérifier l'adéquation entre ces valeurs de référence et l'objectif de préservation de la qualité des eaux. La technique lysimétrique a été retenue comme outil de suivi. Une étude similaire est réalisée au Maroc en collaboration avec l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'analyse des systèmes lysimétriques a orienté le choix vers un système fermé. C'est le seul qui répond à l'exigence fondamentale de la lysimétrie de mesurer simultanément la solution de drainage et sa concentration dans un volume parfaitement défini. Ce système permanent permet l'étude la plus complète et sert de référence pour un milieu pédo-climatique donné, à un niveau régional pertinent. Les mesures obtenues permettent d'apprécier l'impact sur le milieu des pratiques agricoles préconisées par le PGDA. Une première étude a mis en place des lysimètres de plein champ (*in situ*) afin de mesurer la qualité des eaux qui percolent vers les nappes, en particulier leur teneur en nitrate.

Après compilation des données et paramètres pour une lysimétrie de qualité selon la FAO (1986), six lysimètres respectivement en sol non remanié et en sol remanié ont été installés en plein champ dans des exploitations pilotes. Les systèmes non remaniés ont été mis en place par enfoncement vertical du cylindre lysimétrique, à l'aide d'un bras de pelle hydraulique. La plaque de fond a ensuite été chassée horizontalement, l'étanchéité a été réalisée par des joints de soudure (Figure 1).

Les systèmes remaniés ont été installés en creusant une fosse dans laquelle la cuve lysimétrique préalablement soudée en atelier a été déposée. La cuve est remplie de couches successives de sol, soigneusement séparées lors du creusement, en se basant sur les observations du profil pédologique (Fonder *et al.*, 2003). La cuve lysimétrique est circulaire, de 1 m² de section (1,13 m de diamètre), en inox de 5 mm d'épaisseur, pour une hauteur de 1,5 m. Elle est placée verticalement à 50 cm sous la surface du sol, pour être en conditions réelles d'exploitation et sans gêne pour les pratiques agricoles, en plein champ, à l'extérieur des tournières. Le plancher drainant, situé à 2 m de profondeur, évacue les eaux récoltées par le biais d'un tuyau vers un bidon en polyéthylène, placé dans une chambre de visite construite en bordure du champ. Ils sont implantés en Hesbaye, au sein de deux fermes faisant partie du « Survey Surfaces Agricoles » en partie dans un périmètre d'irrigation et sous cultures légumières industrielles en rotation avec les grandes cultures classiques. Une première quantification de la quantité d'azote nitrique lixivié a eu lieu.

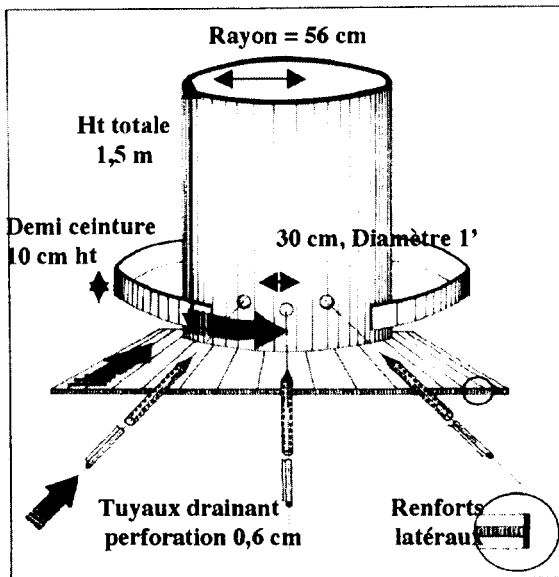


Figure 1. Plan de la cuve lysimétrique, système non remanié

La fréquence hebdomadaire des relevés a été validée grâce des tests d'échantillonnage (Fonder, 2004). Les relevés sur le site mesurent des paramètres physiques (température et pluviométrie) et chimiques (pH, conductivité électrique et concentration en nitrates). Des échantillons prélevés sont portés à un laboratoire d'analyse de référence pour une détermination fine de la teneur en nitrate de l'eau de percolation.

3. RÉSULTATS

3.1. Conditions météorologiques et spatiales

Les paramètres météorologiques de température, hauteur des précipitations, nombre de jours de précipitation et d'heures d'insolation ont été suivis depuis l'installation des cuves lysimétriques et durant une période d'un an et demi, couvrant deux saisons de drainage. Les conditions météorologiques rencontrées montrent que l'année 2003 a été principalement marquée par des excès remarquables de la durée d'ensoleillement et de la température moyenne (phénomène égalé ou dépassé en moyenne au moins une fois tous les 100 ans). Il faut retenir ensuite le nombre déficitaire de jours de précipitations mesurables. Le printemps fut très doux et l'été a connu une température record, en liaison avec plusieurs périodes chaudes avec peu ou pas de précipitations. Il en

est résulté une humidité moyenne relativement basse au printemps et en été. Plus que les quantités de précipitations (globalement déficitaires, mais encore relativement normales), ce sont les faibles fréquences de précipitations qui ont provoqué une impression générale de «sécheresse» au cours d'une grande partie de l'année. L'année 2004 fut une année relativement chaude, comme c'est généralement le cas depuis la fin des années 1980. À l'exception d'un mois de janvier record au niveau des précipitations et d'un mois d'août très orageux, il n'y a pas eu d'excès climatiques remarquables.

Durant le début de l'année 2004, les précipitations ont retrouvé une fréquence normale mais les quantités sont restées faibles. L'été a connu une plus forte pluviométrie, malheureusement apportée le plus souvent sous forme d'orages (données IRM, Institut Royal Météorologique belge, 2004). De ces généralités climatologiques il ressort que les essais ne se sont pas tenus dans des conditions optimales pour des mesures de drainage et de percolation durant la première année. Suite aux températures, à la fréquence et aux quantités de pluie observées, les sols de culture ont été en déficit hydrique par rapport à des conditions normales. La normalité n'est revenue qu'à l'aube de l'automne 2004.

Ces conditions expliquent que sur les six lysimètres installés l'été 2003, seuls trois d'entre eux ont permis la récolte d'eau de percolation à 2 m de profondeur, sans distinction entre systèmes remaniés ou non remaniés durant la première saison de drainage (2003-2004). Cette hypothèse de l'impact des conditions météorologiques a été validée par l'installation de sondes TDR (Time Domain Reflectometry), qui permettent de dresser le profil hydrique du sol. Les profils hydriques des sols contenus dans les enceintes lysimétriques des sites qui ne percolent pas, présentent des teneurs en humidité inférieures à la capacité au champ. Tant que cette dernière n'est pas dépassée, aucune percolation ne peut avoir lieu. La comparaison avec des sondes installées sur ces mêmes sites, en dehors des cuves lysimétriques a permis de démontrer qu'il ne s'agit pas de malfaçon à l'installation, les profils hydriques mesurés étant similaires et également inférieurs à la capacité au champ (Fonder, 2004). Durant cette première saison de drainage, deux lysimètres ont percolé des volumes supérieurs au drainage potentiel (D), défini par la pluviométrie dont est soustraite l'évapotranspiration (P-ETP).

L'installation d'un réseau piézométrique a montré que ces lysimètres captent la nappe de forte remontée temporaire, ou sa frange capillaire. L'eau est récoltée à la base du lysimètre sous une dynamique de percolation associée au drainage (Fonder, 2004). Il a été décidé pour la seconde saison de drainage de fermer l'exutoire de ces deux lysimètres dès la remontée de la nappe, ou de sa frange capillaire, au-dessus du niveau d'enfoncement

des lysimètres. Les piézomètres en place permettent de suivre le niveau de la nappe. L'exutoire sera ré-ouvert lorsque la frange capillaire redescendra en dessous de 50 cm de profondeur, à partir du bord supérieur du lysimètre.

Afin d'amorcer la percolation de deux lysimètres pour la seconde saison de drainage, une mise à saturation par remontée capillaire a été réalisée. Un réservoir posé sur le bord de la chambre de visite a injecté de l'eau par l'exutoire. L'eau remonte dans le lysimètre par le bas, progressivement, par étapes lentes et successives, par remontée capillaire et sur la base du principe des vases communicants. Deux cent litres d'eau dans l'un et cinq cent litres dans l'autre ont été injectés de la sorte.

3.2. Conditions pédologiques

Les six sites d'expérimentation sont situés en Hesbaye typique, région naturelle du sud de la Belgique, caractérisée par un relief de plateau mollement ondulé. Le soubassement géologique est constitué de limons éoliens pléistocènes de 5 à 10 mètres d'épaisseur, reposant en couverture sur des sables fins peu glauconifères datant de l'éocène supérieur (étage tongrien en Belgique). Les sols développés dans ce type de conditions topographiques et lithologiques sont des sols limoneux à horizons B textural, correspondant aux sols bruns lessivés (parfois tronqués) de la classification française, aux luvisols orthiques de la classification FAO et aux hapludalfs de la classification USDA.

3.3. Synthèse, bilans hydrologique et azoté

Les résultats proviennent essentiellement d'une seule parcelle au terme de ces deux premières années d'expérimentation. En effet, le lysimètre installé sur la parcelle a percolé dès le premier hivernage, sans être sous influence d'une remontée de nappe et peut fournir deux épisodes de mesures et observations. Les autres sites lysimétriques n'ont à ce jour fourni des mesures que pour une seule saison de percolation.

3.3.1. Synthèse des mesures et observations

La figure 2 présente une synthèse des mesures et observations depuis le mois de septembre 2003 jusqu'au mois de février 2005, pour cette parcelle dénommée « Sole 4 ». Le lysimètre est de type sol remanié, installé en date du 8 août 2003, à la suite d'une culture de céréales. Une culture d'avoine est rapidement semée en couverture hivernale. Une culture de haricot est installée en avril 2004. Un froment d'hiver est semé à l'automne. Le lysimètre a débité de l'eau de percolation au début du mois de février 2004, la percolation s'est interrompue durant les mois de mai, juin et juillet, pour reprendre dès le mois d'août. Cette seconde période de percolation se poursuit actuellement (mars 2005).

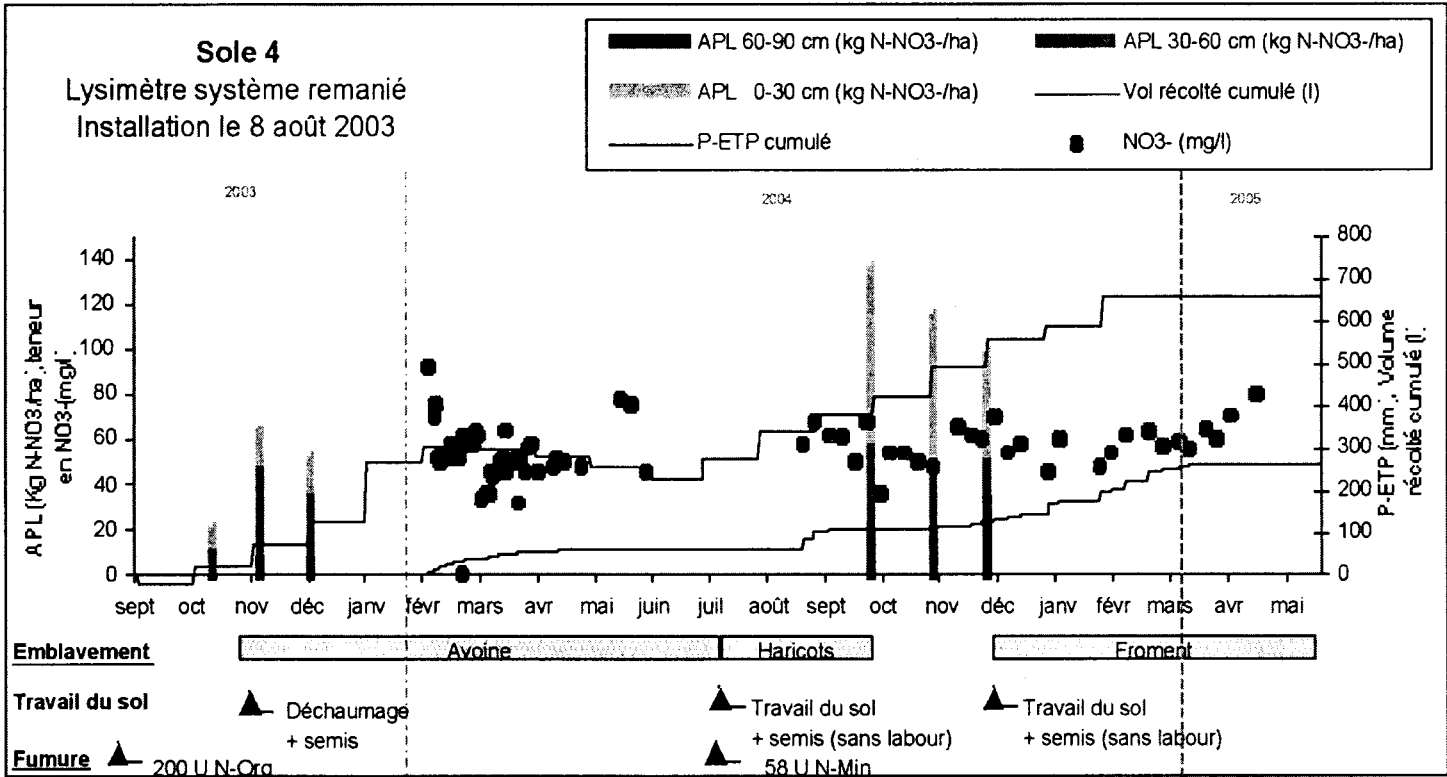


Figure 2. Synthèse des mesures et observations (parcelle sole 4)

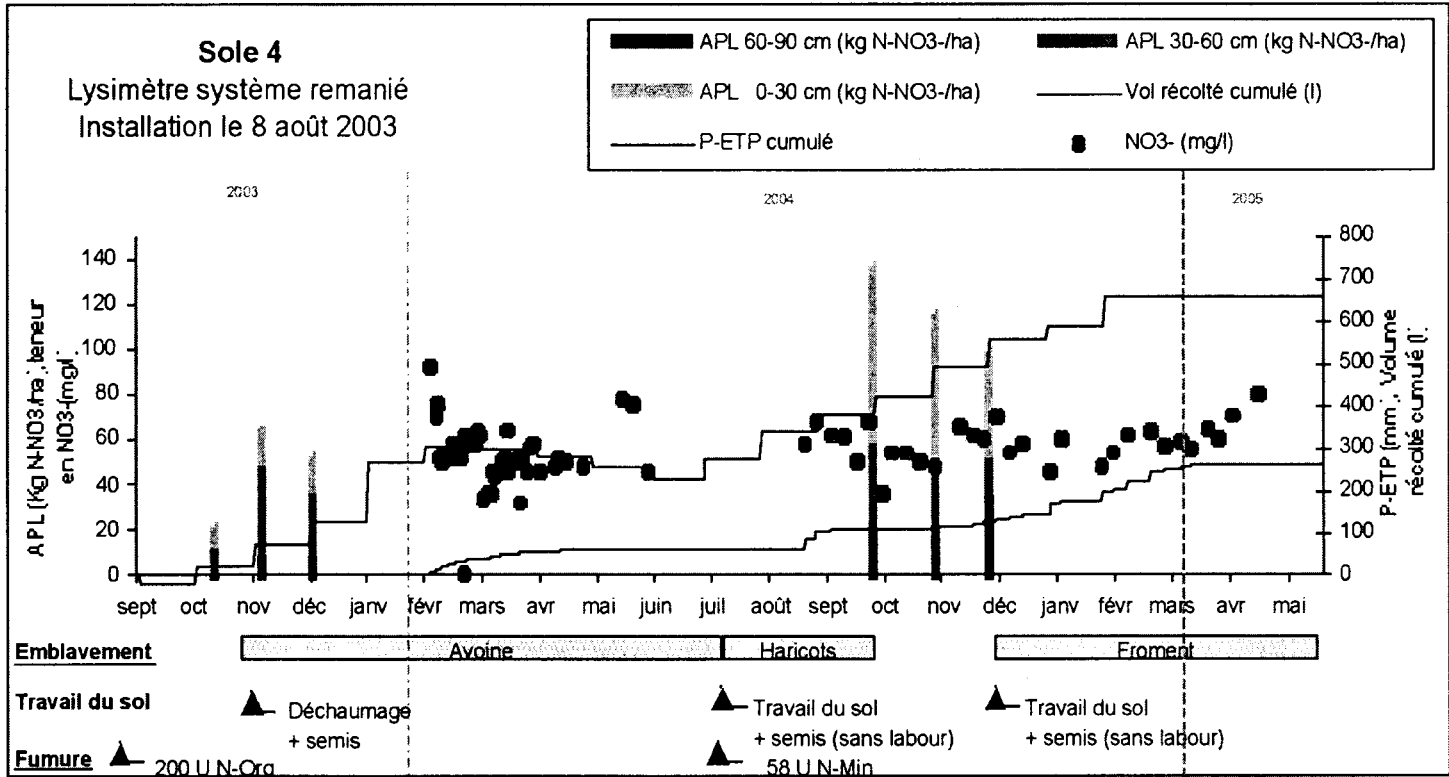


Figure 2. Synthèse des mesures et observations (parcelle sole 4)

3.3.2. Bilan hydrologique

Les données exposées par le graphique 1 sont :

- les volumes d'eau percolée et récoltée (données cumulées) dans les lysimètres en parallèle avec le drainage potentiel (P-ETP),
- la teneur en nitrates mesurée dans cette eau de percolation ainsi que les mesures de reliquats azoté dans le sol en post-récolte,
- l'itinéraire cultural et la fertilisation apportée.

Son observation montre que la courbe des volumes récoltés suit celle de la pluviométrie mensuelle, d'où est déduite l'évapotranspiration. Les courbes sont du même type mais sans corrélation directe entre la pluviométrie quotidienne ou hebdomadaire et les volumes récoltés hebdomadairement par percolation à 2 m de profondeur. Le phénomène « pluviométrie/percolation » n'est pas du type « impulsion/réponse » et explique le recours habituel aux modèles mathématiques, qui intègrent des paramètres comme le ruissellement, l'interception, la redistribution dans le sol, l'état hydrique du sol, l'évaporation, etc. Les volumes récoltés par percolation correspondent à 25% du drainage potentiel pour la première saison de drainage (sept 2003-mai 2004) et 50% pour la seconde saison observée (août 2004-fév 2005).

Théoriquement, les volumes récoltés dans les lysimètres devraient être équivalents aux lames d'eau drainées. Les écarts observés sont explicables par :

- la sur-évaluation de la lame drainée,
- la « non maturité » des lysimètres,
- l'effet « drain » du sol remanié autour des lysimètres,
- l'éloignement des stations IRM, données de pluviométrie et ETP,
- le ruissellement, sans doute modéré de part la plaine des parcelles choisies,
- le calcul de l'ETP, qui ne tient pas compte du type de culture.

Pour pouvoir affiner ce bilan hydrologique, il convient d'attendre encore une voire deux années, pour que le sol soit remis en place, de valider la pertinence du choix des stations météo et d'évaluer plus finement l'évapotranspiration. Muller (1996) dans une synthèse d'essais par lysimétrie en France considère que 2 à 5 années sont nécessaires pour que le sol dans les lysimètres retrouve un comportement semblable aux conditions réelles. Les systèmes ouverts récupèrent entre 20 et 40% du drainage potentiel, les systèmes fermés allant jusque 70%, pour des lysimètres d'une profondeur de 1 m. Il était attendu dès le départ, que l'enfoncement, à 50 cm de profondeur, du lysimètre de type fermé (afin de ne pas gêner pour les pratiques agricoles et les conditions réelles d'exploitation) jusqu'à profondeur totale de 2 m, occasionnerait un taux de

récupération des eaux de percolation moins important. Ce phénomène est encore accentué pour ces premières années, par le remaniement important du sol autour des lysimètres lors de la mise en place.

3.3.3. Bilan azoté

Le tableau 1 présente les profils de concentration en azote nitrique du sol après chaque récolte, depuis 2002. Le monde agricole parle, en matière de fertilisation azotée, d'Unités d'azote (UN). 1 UN correspond à 1 kg N-NO₃⁻ par ha. Les valeurs pour cet azote nitrique sont présentées en kg/ha ou Unités. En matière d'environnement et de potabilité des eaux, les unités employées sont les mg d'ions nitrate par litre. À titre informatif et comparatif, la dernière colonne du tableau fait la conversion d'unités d'azote (kg N-NO₃⁻/ha) en mg NO₃⁻/l, rapporté à la section de 1 m² du lysimètre.

Tableau 1. Profils de concentration an azote nitrique du sol (parcelle sole 4)

	Horizons Mois	0 -30 cm	30 -60 cm	60 -90 cm	0 -90 cm	0-90 cm mg NO ₃ ⁻ /m ²
		kg N-NO ₃ ⁻ /ha				
2002 Betteraves	Décembre	19	15	12	46	20
2003	8 août	41	16	4	61	27
Froment	13 oct.	8	11	3	22	10
Avoine	6 nov.	14	41	10	65	29
	4 déc.	15	27	11	53	23
2004	1 oct.	77	37	23	137	61
Haricots	4 nov.	63	29	24	116	51
	3 déc.	46	17	37	100	44

L'analyse de ce tableau montre que la culture de betteraves en 2002 laisse un profil de sol pauvre en reliquats azotés. Le profil post-récolte du froment en 2003 montre une minéralisation de l'humus dans l'horizon de surface. La Culture Intercalaire Piège à Nitrates (CIPAN) installée ensuite permet une bonne récupération des reliquats azotés. Curieusement, les profils de novembre et décembre 2003 sont à nouveau supérieurs à ceux du mois d'octobre. Une migration vers le bas du profil est observée entre le mois d'août et de novembre. La culture d'haricot en 2004 laisse des reliquats en azote total plus importants. La diminution observée durant l'automne est à mettre en relation avec la migration vers les couches inférieures. Une partie de l'azote nitrique entraîné par l'eau quitte le profil (0-90 cm) vers les couches plus profondes (Destain JP, 2005 ; Communication personnelle).

La concentration moyenne d'ions nitrate percolé pour l'ensemble de la période est de 58 mg/l (quantité totale percolée par le volume total récolté). Ceci est supérieur à la norme de référence (50 mg NO₃⁻/l). L'observation dans le temps de la teneur en nitrate qui percole à 2 m de profondeur est relativement constante, avec une décroissance durant la saison de percolation et une légère augmentation en fin de période. Selon Bouthier (in Muller, 1996) le maximum de concentration en nitrate atteint pour des faibles valeurs de percolation traduirait des transferts très rapides de nitrates liés aux premiers écoulements cheminant à travers la porosité fissurale grossière. Le maximum de concentration correspondrait au stock d'azote minéral présent dans le sol au moment des premiers écoulements. Il y aurait ensuite « vidange » progressive de l'azote du sol. La baisse plus ou moins rapide pourrait être liée à la minéralisation automnale et hivernale. La concentration minimale comprise entre 20 et 40 mg NO₃⁻/l signifié qu'on a lessivé l'ensemble du stock d'azote minéral présent en automne et produit pendant la période de percolation. La ré-augmentation parfois observée en fin de période de percolation, correspondrait à une reprise de minéralisation non interceptée par un couvert.

La quantité d'azote nitrique percolée, non récupérable par les cultures en surface, en phase de migration vers les réserves de profondeur, n'est pas trop importante, mais reste non négligeable. Les reliquats azotés (mesures APL indicateur environnemental de référence, défini par le PGDA) varient avec une amplitude équivalente (variation de 30%)

Le tableau 2 présente un bilan azoté, partiellement estimé et mesuré, pour la parcelle sole 4. Les valeurs mesurées correspondent à des mesures de terrains. Les valeurs estimées viennent de la bibliographie et des rapports d'autres essais expérimentaux de gestion de l'azote menés sur le périmètre (données des Services Agricoles de la Province de Liège, Waremme).

Les stocks initial et final correspondent au reliquat azoté mesuré avant l'implantation de la culture (qui permet le conseil de fumure adapté) et en post-récolte. Les importations correspondent aux fertilisations apportées. Les exportations sont la part d'azote comprise dans la culture exportée et non restituée au sol. La minéralisation concerne une part de l'azote contenu dans l'humus du sol qui est transformé en azote assimilable par les plantes (Nitrawal, 2004). Les résidus de culture sont la part du végétal cultivé qui n'est pas emporté par la récolte, mais restitué au sol par enfouissement.

L'année 2002 montre un solde positif, sous la culture de betteraves, avec des intrants supérieurs aux sorties. L'année 2003 affiche un bilan azoté qui témoigne de très faibles pertes azotées. Ce qui est mesuré comme pertes par percolation est très nettement inférieur à la perte totale estimée.

Tableau 2. Bilan azoté de la parcelle sole 4

Année	Entrée	kgN/ha	Sortie + Immobilisation	kgN/ha	Solde
2002 Betterave	Stock initial E*	40	Stock final M	46	
	Importation M	146	Exportation M	112	
	Minéralisation E	90	Résidu culture E	100	
			Percolation NC	-	
	Total	276	Total	258	18
2003 Froment	Stock initial M	46	Stock final M	53	
	Importation M	249	Exportation M	194	
	Minéralisation E	90	Résidu culture E	21	
			Percolation M	8	
	Total	385	Total	268	117
2004 Haricot	Stock initial E	53	Stock final M	100	
	Importation M	136	Exportation M	53	
	Minéralisation E	90	Résidu culture E	140	
			Percolation M	24	
	Total	279	Total	293	-14
			(09/04-02/05)		

* E = estimé ; M = mesuré ; NC = non connu

L'importance du solde, partie non expliquée du bilan, réside en partie dans le fait que l'azote immobilisé par l'avoine, semé en inter culture après le froment, n'a pas pu être mesuré. Par ailleurs, il faut prendre en compte que l'on est dans la première phase de percolation du lysimètre, celle qui a suivi son installation. L'année 2004, où la parcelle a été cultivée en haricots, présente des entrées plus faibles que les sorties. Pourtant des pertes par percolations sont enregistrées. On peut supposer que les mesures concernent les horizons de surface, jusqu'à la profondeur de 90 cm (mesures APL) alors que les lysimètres récoltent l'eau de percolation à la profondeur de 2 m. La progression des ions nitrates dans ce type de sol étant estimée à 1 m/an (Dautrebande, 1996), l'azote nitrique mesuré dans les eaux de percolation correspond sans doute au défaut de bilan azoté de l'année 2004. Guiraud (*in* Muller, 1996) suppose que les mouvements d'eau ne suivent pas un déplacement de type écoulement piston. Ce dernier indique que l'eau qui arrive sur une couche de sol, chasse une partie de l'eau située dans cette couche, appelée l'eau mobile, qui migre alors vers la couche inférieure. Il est probable que le transport des nitrates se fasse en partie par des écoulements préférentiels à travers des macropores. L'auteur rapporte aussi que, dans la succession interculturelle en sol nu, les pertes par lessivage sont élevées (18,7% de l'apport). L'intervention de la culture dérobée diminue la valeur de ces pertes à 5,8%.

Environ 20% de l'azote apporté sont toujours présents dans le sol deux ans après l'apport. Le bilan à l'azote marqué montre que, dans leurs systèmes expérimentaux, il n'y a pas de pertes par dénitrification. Donc le lessivage de l'azote, dans les agrosystèmes cultivés, semble être la voie principale de pertes en éléments nutritifs.

4. CONCLUSION

Les premières observations obtenues par ce suivi lysimétrique *in situ*, en conditions réelles d'exploitation, permettent de dégager les acquis suivants. Les rotations classiques betteraves -céréales donnent des eaux de percolation respectueuses de la norme. L'introduction d'une culture légumière dans cette rotation induit une augmentation des teneurs en nitrates migrant en profondeur.

Une bonne gestion de la fertilisation et l'implantation de cultures CIPAN permet d'atténuer le phénomène dans des proportions acceptables. Par contre, malgré l'implantation de culture CIPAN et une gestion fractionnée de l'azote, les rotations légumières successives de cultures fortement exigeantes en azote alternées avec d'autres fixatrices d'azote laissent des reliquats azotés dans le sol, inacceptables d'un point de vue environnemental et préjudiciables aux zones qualifiées de vulnérables en matière de protection des eaux souterraines.

L'objectif de cette étude est également de contribuer à valider l'indicateur environnemental APL. Au terme des deux années, il apparaît en première approximation que l'APL (exprimé en kg N-NO₃⁻/ha) correspond à la concentration (exprimée en mg NO₃⁻/l) de l'eau récoltée à l'exutoire du lysimètre.

Rappelons qu'il existe 3 classes d'itinéraires culturaux :

- la classe C1 avec un reliquat azoté attendu de l'ordre de 30 kg N-NO₃⁻/ha,
- la classe C2 avec un reliquat azoté attendu de l'ordre de 60 kg N-NO₃⁻/ha,
- la classe C3 avec un reliquat azoté attendu de l'ordre de 90 kg N-NO₃⁻/ha ou plus.

Partant de ce constat, qui devra encore être validé par une poursuite des mesures lysimétriques, il apparaît que les itinéraires de la classe C1 ont un effet positif tandis que les itinéraires de la classe C3 ont un impact négatif sur la qualité de l'eau. Au stade actuel des observations, l'APL semble donc être un bon indicateur environnemental.

La confirmation de la pertinence des normes d'épandage ne peut être faite après un délai de deux ans, puisque les rotations sont bien souvent plus longues avec des apports d'azote organique qui ne sont pas annuels. Il

n'en reste pas moins que cet outil à moyen terme présente des perspectives encourageantes d'aide à la validation du PGDA.

Les lysimètres installés ont rempli leur fonction d'outil de suivi, avec une utilisation soit ponctuelle soit sur de plus longues périodes. Les informations fournies par ce premier suivi lysimétrique confirment la fiabilité et la pertinence des APL de références. Les valeurs mesurées en terme de lixiviation d'azote nitrique montrent la nécessité et la pertinence du PGDA et du code de bonnes pratiques agricoles. Ces valeurs, qui peuvent être importantes, incitent à continuer les investigations et recherches en matière de gestion de l'azote de nos sols.

Par ailleurs, il serait judicieux d'étendre ce réseau de surveillance à d'autres zones vulnérables définies par le PGDA. Une multiplication de lysimètres permettrait, en premier lieu, de suivre l'impact d'une plus large gamme de cultures et pratiques culturales et leurs effets sur différents types de sols. En deuxième lieu elle se permettrait de se focaliser sur les cultures maraîchères qui le sont plus souvent source de problèmes comme l'ont démontré les résultats et de faire également un suivi sur prairies.

Pour la validation de l'indicateur environnemental APL, l'outil lysimétrique s'intègre dans le cadre du Survey Surface Agricole d'une part, et il peut aussi être un appui au Survey Nitrate, par le suivi quantitatif et qualitatif des eaux qui percolent sous la zone des racines, d'autre part.

RÉFÉRENCES CITÉES

Aboukhaled A, Alfaro JF & Smith M (1986) Les Lysimètres. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, n°39. FAO Rome

Dautrebande S (2003) Hydrologie générale. Compléments de physique du sol. *Notes de cours dispensés à la FUSAGx*. 110 p.

Dautrebande S (1996) Rapport final de la convention « Programme Action Hesbaye »

Fonder N. (2004) Suivi de la percolation de l'azote nitrique par lysimétrie de plein champs (in situ). *Travail de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme d'Etude Spécialisée en Génie Sanitaire. FSAGx*. 90 p.

Fonder N, Vandenberghe C, Xanthoulis D & Marcoen JM (2004) Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture. *Rapport final. Convention Région Wallonne DGA n° 3523/1. Période du 1^{er} mars 2003 au 28 février 2005. FSAGx*, 106p.

Fonder N (2003) Suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture. Rapport intermédiaire d'activités. Première période. *FSAGx*, 48 p.

- Nitrawal (2004) Informations et conseils techniques pour la gestion durable de l'azote. 5 p.
- Muller JC (1996) Un point sur trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). *INRA, Comifer*, 389 p.
- Vandenberghé Ch & Marcoen JM (2004) Transposition de la Directive Nitrate (CE) en Région Wallonne : azote potentiellement lessivable de références pour les sols cultivés en Région Wallonne. *Biotechnologie Agronomie Société Environnement (BASE)*, 8 (2 ; 111-118. *Fac. Univ. Sc. Agr. Gembloux*
- Xanthoulis D & Dumont Ph (2000) Étude des résidus azotés dans le sol dans le cadre de cultures maraîchères irriguées sur le site de Hesbaye Frost (Geer).