



HAL
open science

Étude du transfert des nitrates dans la zone non saturée de la craie et dans les eaux souterraines d'aires d'alimentation de captages en Picardie.

Nicolas Surdyk, Laurence Gourcy, Nicole Baran, Violaine Bault

► To cite this version:

Nicolas Surdyk, Laurence Gourcy, Nicole Baran, Violaine Bault. Étude du transfert des nitrates dans la zone non saturée de la craie et dans les eaux souterraines d'aires d'alimentation de captages en Picardie.. Géologues, 2018. hal-02001413

HAL Id: hal-02001413

<https://brgm.hal.science/hal-02001413>

Submitted on 31 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Étude du transfert des nitrates dans la zone non saturée de la craie et dans les eaux souterraines d'aires d'alimentation de captages en Picardie

Nicolas Surdyk¹, Laurence Gourcy¹, Nicole Baran² et Violaine Bault¹.

Introduction

L'existence d'un stock de nitrates dans le sol et dans la zone non saturée (c'est-à-dire la zone située entre la surface du sol et la nappe, ZNS) consécutif à la fertilisation pendant plusieurs années, a été démontrée dès les années 1980, dans des matériaux géologiques de natures variées (Kerbaul *et al.*, 1979).

Une estimation de la vitesse de transfert de l'eau dans la zone non saturée peut être réalisée en parallèle à la caractérisation du stock de nitrates, en partant de l'hypothèse d'un transfert des nitrates à la même vitesse que l'eau et grâce à une connaissance détaillée des pratiques agricoles.

L'évaluation de l'impact des changements de pratiques agricoles sur la qualité des eaux reste une question majeure. La nappe de la craie, aquifère majeur en Hauts-de-France (ex-Picardie), présente une inertie pouvant être importante. L'amélioration de la qualité des eaux souterraines peut donc, dans certains cas, être largement différée par rapport à l'instauration de nouvelles pratiques agroenvironnementales.

L'objectif de l'étude réalisée en partenariat entre les Chambres d'Agriculture de l'Aisne et de l'Oise, l'Agence de l'eau Seine Normandie et le BRGM était de donner des éléments de réponse à la question suivante : *À quelle échéance les changements de pratiques auront-ils un effet notable sur la qualité des eaux souterraines ?*

Pour atteindre cet objectif, plusieurs sondages ont été réalisés à l'échelle de la parcelle agricole. Les travaux de recherche ont été menés dans quatre AAC (aire d'alimentation de captage), deux dans l'Aisne sur les AAC de Landifay-et-Bertaignemont et de Morgny-en-Thiérache (toutes deux situées dans la masse d'eau HG206) et deux dans l'Oise, les AAC de Puisieux-le-Hauberger et de Baugy (respectivement situées dans les masses d'eau HG201 et HG205). À noter que sur l'AAC de Landifay-et-Bertaignemont, deux parcelles ont été investiguées.

Dans ce projet, seul l'écoulement à travers la matrice a été considéré. Dans des travaux de simulation récents, l'eau dans la zone non saturée de craie est généralement considérée comme se déplaçant de façon pérenne par gravité à travers la matrice aquifère, un écoulement rapide à travers les fissures ne se produisant que de façon

épisode (Ireson *et al.*, 2009). Le débit à travers les fissures a été estimé à 15-30% de la recharge totale (Mathias *et al.*, 2006).

Résultats

Principe

La mesure des temps de transfert des nitrates dans la zone non saturée est délicate. Lors d'une rotation de cultures, les nitrates excédentaires non consommés par les cultures peuvent être lessivés par plusieurs épisodes pluvieux distincts. Les fluctuations temporelles des teneurs en nitrates lessivés dans les sols sont généralement liées aux taux d'application d'engrais azotés (Derby *et al.*, 2009) et aux précipitations (Sorensen *et al.*, 2015). Les années pluvieuses peuvent mener l'infiltration des nitrates en plusieurs phases, visibles sur un profil vertical des teneurs en nitrates par l'apparition de plusieurs pics. De plus, les écoulements n'étant pas réguliers au sein de la ZNS, les nitrates peuvent migrer plus ou moins rapidement en fonction de la pluviométrie. Dans les faits il est difficile d'associer, au sein de la zone non saturée, un horizon plus enrichi en nitrate à une année donnée sans point de repère/référence indiscutable.

Ainsi, il est intéressant de pouvoir rattacher certaines parties du profil de concentration mesurées au sein de la ZNS à des événements « marquants » de la succession culturale. Il peut s'agir, par exemple, du passage d'une parcelle cultivée à une mise en jachère. En effet, sur les cultures, l'utilisation des engrais est optimum et le surplus azoté est faible. Les concentrations de nitrates au sein de la zone non saturée, ont tendance à être plus faibles. La mise en jachère libère une grande quantité d'azote (surplus) qui, par lessivage, se retrouvera au sein de la zone non saturée. Grâce à ces événements « marqueurs culturaux », il est possible de caler temporellement un profil de concentration en nitrates dans la zone non saturée.

Dans cette étude, plusieurs parcelles agricoles ont été sélectionnées car elles présentaient un « marqueur cultural », *a priori* observable dans le profil de concentrations en nitrates obtenu pour la zone non saturée de la craie. Le « marqueur cultural » est un élément indispensable à l'étude des vitesses de transfert des nitrates au sein de la ZNS.

1. BRGM. Direction Eau Environnement et Écotechnologie. Unité Évaluation et Valorisation des connaissances sur l'Eau. 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans. France. Courriel : n.surdyk@brgm.fr

2. BRGM. Direction des Laboratoires. 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans, France.

Les parcelles ont été sélectionnées par les Chambre d'Agriculture des départements concernés. Elles étaient occupées depuis plusieurs années par des prairies ou des jachères générant des « marqueurs culturaux » intéressants car sur ce type d'occupation du sol il n'y a pas (ou peu) d'apport de fertilisant, contrairement aux cultures conventionnelles.

Durant le projet, des sondages destructifs à la tarière, réalisés dans les 6 parcelles, ont permis d'établir des profils de concentrations en azote à partir de l'analyses d'échantillons collectés à différentes profondeurs de la zone non saturée. Dans cet article, seuls 3 sondages du projet sont présentés. Dans le premier site, le sondage étant moins profond (nappe plus proche de la surface), le marqueur n'était plus présent sur le profil. Dans un second site, le profil argilo-limoneux n'a pas permis de visualiser le marqueur dans le profil. Dans le dernier site, le sondage et les résultats sont très similaires à ceux de Baugy. L'ensemble des résultats est disponible par ailleurs (Surdyk *et al.*, 2014 et 2016).

Dans l'AAC de Landifay-et-Bertaignemont à Landifay et à Le Hérie-la-Viéville, les sondages ont été réalisés en septembre/octobre 2013. Sur l'AAC de Baugy (60), les sondages ont été réalisés en septembre 2015.

Les profils et les vitesses

Les sondages ont permis d'une part, d'évaluer le stock de nitrates présent dans la zone non saturée de la craie et d'autre part, d'estimer la vitesse de transfert de ces nitrates.

Profil de Landifay

Un sondage superficiel (6 m) a été réalisé dans la moitié ouest de l'AAC de Landifay BSS000EXZN (00661X0049/S7). Cette partie de l'AAC est caractérisée par la présence de craie blanche sans silex du Sénonien, peu profonde, recouverte localement de limons des plateaux peu épais. Cette parcelle n'ayant pas été fertilisée depuis 20 ans, elle servira de référence.

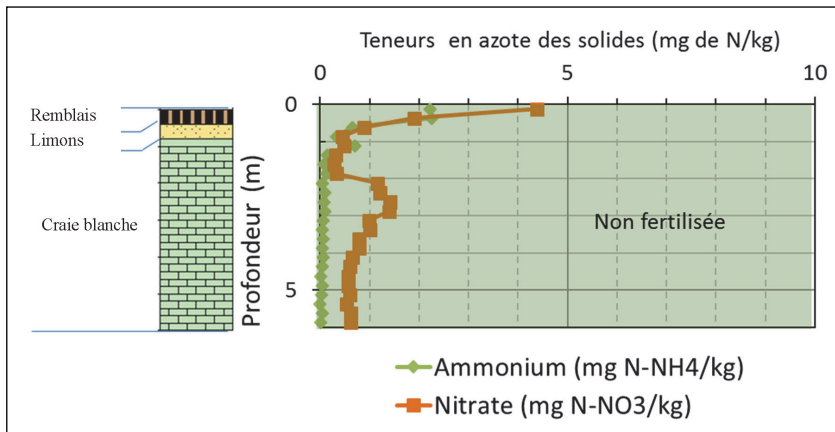


Figure 1. Concentrations en nitrate et ammonium dans la parcelle témoin BSS000EXZN (00661X0049/S7) de Landifay (d'après Surdyk *et al.*, 2014).

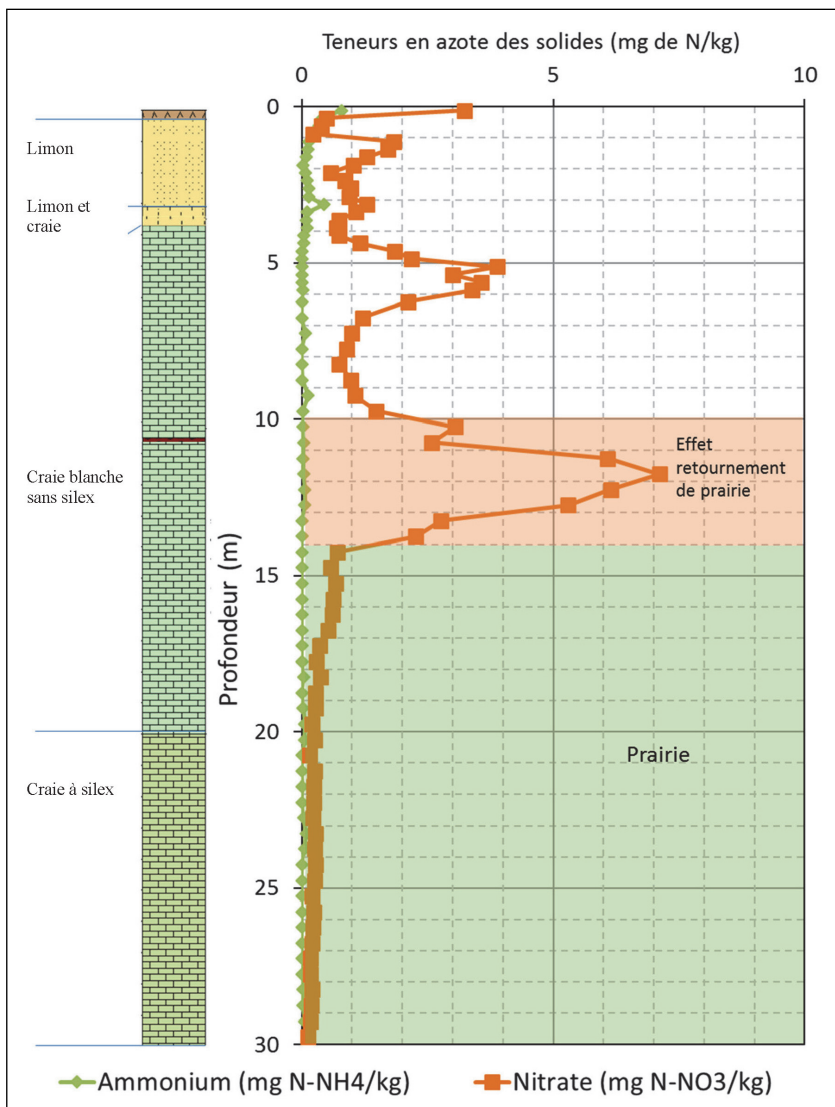


Figure 2. Concentrations en nitrate et ammonium dans le sondage profond BSS000EXZH (00661X0044/S3) de Le Hérie-la-Viéville (d'après Surdyk *et al.*, 2014).

Dans la parcelle témoin, le profil des concentrations en nitrates (les teneurs sont exprimées en mg de $N-NO_3/kg$ de terre sèche) montre une valeur maximale atteignant 4,39 mg de $N-NO_3/kg$ à une profondeur de 0,5 m. Cette concentration maximale est probablement due à la minéralisation de l'herbe. La matière organique du sol endogène peut se minéraliser et produire de l'azote par les microorganismes (Valé, 2006). L'hypothèse d'une forte minéralisation récente est confirmée par la présence de fortes concentrations d'azote sous forme d'ammonium (Lemaire *et al.*, 1997). La concentration en nitrates est faible et stable aux alentours de 1,0 mg de $N-NO_3/kg$ de moyenne sur le reste du profil en accord avec le mode d'occupation de sol (Fig. 1).

Profil de Le Hérie-la-Viéville

Un sondage profond, BSS000EXZH (0661X0044/S3) à 30 m de profondeur pour une nappe jugée à 40 m de profondeur, a été réalisé dans la commune de Le Hérie-la-Viéville (moitié ouest de l'AAC de Lanfifay-et-Bertaignemont). La géologie est la même que pour la parcelle témoin de la commune de Landifay.

Le profil des concentrations en nitrates pour le sondage réalisé à Le Hérie-la-Viéville montre une valeur maximale atteignant environ 7,0 mg de $N-NO_3/kg$. Ce pic s'étend de 10 m à 14 m avec un maximum à 12 m (Fig. 2).

Les concentrations les plus élevées qui se situent juste au-dessus de concentrations plus faibles peuvent s'expliquer par l'effet du retournement de pâtures. Durant cette période une concentration importante de nitrates peut être libérée sur la parcelle par minéralisation (Laurent *et al.*, 2004).

Dans la parcelle de Le Hérie-la-Viéville, les faibles concentrations en azote mesurées à la base du profil (au-delà de 14 m de profondeur) correspondent très probablement aux années pendant lesquelles la parcelle était une prairie, prairie qui a été retournée en 1990. La vitesse moyenne de transfert de nitrates à travers la craie est donc estimée à 0,54 m/an.

Profil de Baugy

Sur l'AAC de Baugy, un sondage BSS000FQFL (00808X0073/F) de 40 m de profondeur a pu être réalisé (nappe jugée à 45 m de profondeur). Les limons argileux de plateaux ont été rencontrés sur une faible épaisseur (environ 50 cm). La craie à silex du Sénonien étant homo-

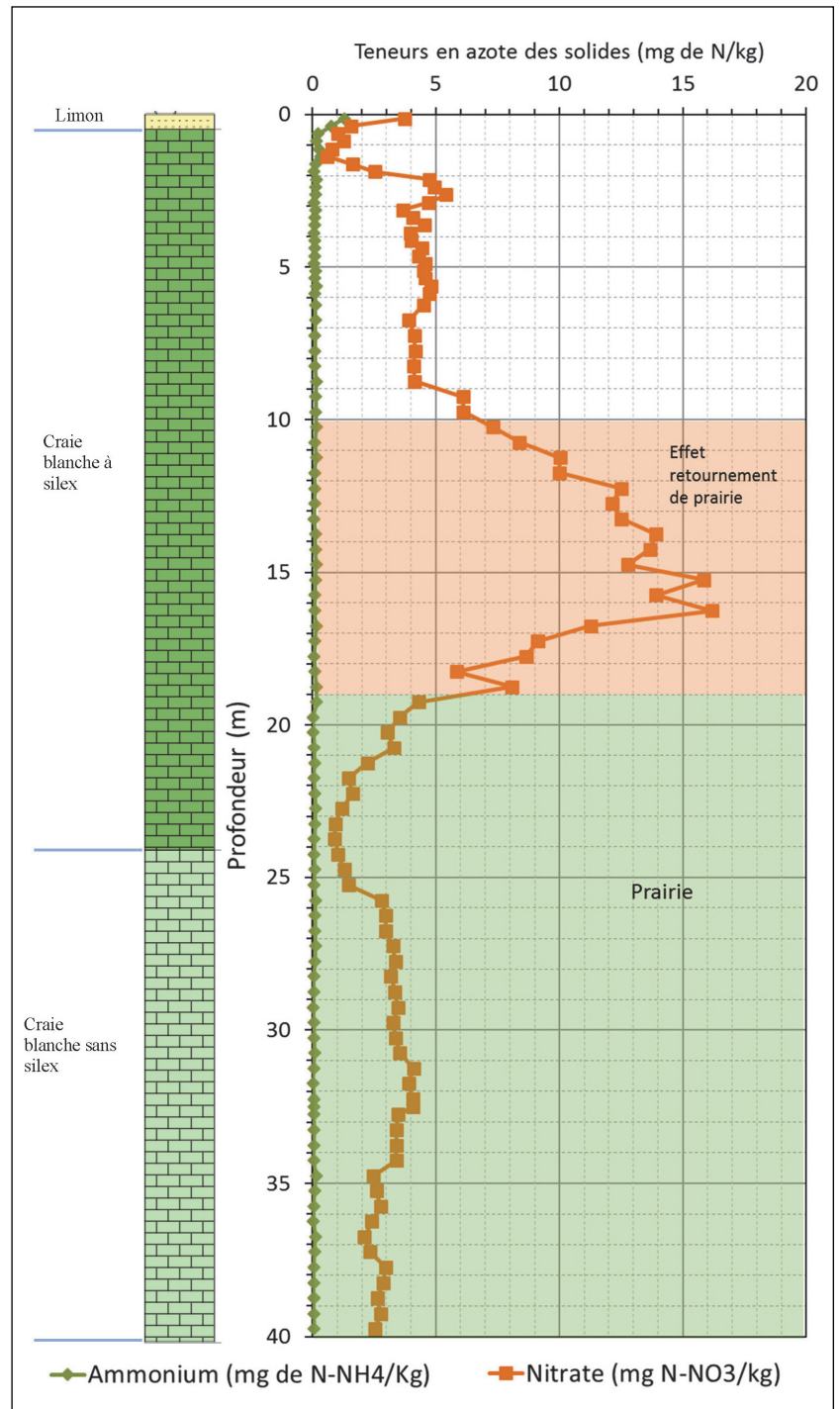


Figure 3. Concentrations en nitrate et ammonium dans le sondage profond BSS000FQFL (00808X0073/F) de Baugy (d'après Surdyk *et al.*, 2016).

gène, la limite entre le Campanien et le Santonien n'a pas pu être définie avec précision.

Le profil en nitrate du sondage profond présente un large pic qui s'étend de 10 m à 20 m. Dans ce large pic, plusieurs pics secondaires peuvent être distingués. Une valeur maximale atteignant 16,2 mg de N-NO₃/kg est relevée à 16,25 m. Entre 20,75 m et 40 m, la concentration en nitrates est relativement faible, il peut s'agir de la partie en pâture (Fig. 3).

Dans la parcelle de l'AAC de Baugy, le retournement de prairie a été réalisé en 1983. La vitesse moyenne de transfert de nitrate dans la matrice est estimée à 0,51 m/an.

Une vitesse minimum de transfert de l'eau et des nitrates de 0,51 m/an a été calculée dans une parcelle de l'AAC de Baugy et une vitesse maximum de 0,54 m/an a été calculée dans une parcelle de Le Hérie-la-Viéville. Les vitesses mesurées sont similaires avec les valeurs obtenues lors d'autres études en milieu crayeux. Par exemple, dans le département de la Somme, des valeurs comprises entre 0,5 m/an et 0,7 m/an ont été estimées (Normand, *et al.*, 1999) dans la craie. Des valeurs sensiblement plus faibles (entre 0,3 m/an et 0,6 m/an) ont été relevées en Champagne-Ardenne (Baran *et al.*, 2006). Des valeurs plus importantes (entre 0,5 m/an et 1,95 m/an) ont pu être estimées dans le Nord Pas-de-Calais (Baillon *et al.*, 2001).

Calcul de stocks

À partir des mesures de concentrations en nitrates sur les solides prélevés à différentes profondeurs, des calculs de stock ont pu être réalisés. Le calcul des stocks permet de présenter plus facilement une éventuelle modification des pratiques. Seuls les résultats relatifs au sondage profond de Le Hérie-la-Viéville BSS000EXZH (0661X0044/S3) seront présentés car ils sont similaires dans tous les sites avec un sondage profond (Fig. 4). La quantité cumulée d'azote présente dans le sol a été calculée dans les 10 premiers mètres de profondeur. Des ruptures dans la pente témoignent des modifications dans la gestion du bilan d'azote. Comme le montrent les pentes plus faibles, les stocks augmentent moins vite en surface, et il est donc possible de penser que des améliorations de pratiques sont apparues dans les années les plus récentes.

Même si l'introduction de nitrates vers la nappe de la craie (surplus azoté) est moins importante aujourd'hui que dans le passé, elle reste toutefois supérieure à celle observée dans la parcelle sans fertilisation (à Landifay) qui a servi de référence.

Le stock d'azote présent dans la zone non saturée se déplace progressivement jusqu'à atteindre la nappe. Il va donc avoir un effet sur la qualité des eaux souterraines,

pour une durée qui est dépendante de sa vitesse de migration. Cette estimation repose sur l'hypothèse que le transfert des nitrates ne s'effectue qu'au sein de la matrice crayeuse (via la porosité). Or le concept de double perméabilité de la craie est reconnu (Ireson *et al.*, 2011 ; Mathias, 2006). Il convient donc de rappeler que, si une partie importante du transfert s'effectue via la matrice, il est possible qu'une partie des transferts s'effectue également au sein des fractures. Les travaux menés dans cette étude ne permettent ni d'estimer la vitesse de transfert dans les fractures, ni les flux engendrés.

Conclusion

Une vitesse de transfert de l'eau et des nitrates de l'ordre de 0,5 m/an a été calculée dans les parcelles étudiées. Les vitesses mesurées dans cette étude (0,51 et 0,54 m/an) restent en cohérence avec les valeurs bibliographiques dans des milieux similaires.

Le temps de transfert des nitrates depuis le sol vers la nappe est localement important sur les deux AAC étudiées.

Compte-tenu de l'épaisseur de la zone non saturée (plusieurs dizaines de mètres localement) et des faibles vitesses estimées, les actions menées en surface auront un impact très retardé sur la qualité de la nappe. Ainsi, pour les parcelles de Le Hérie-la-Viéville, un changement de pratiques fort permettra d'obtenir un changement visible sur la qualité de l'eau après un délai d'approximativement 55 ans. En prenant en compte la vitesse moyenne de transfert et l'épaisseur moyenne de la zone non saturée dans les AAC de Le Hérie-la-Viéville et Baugy, une action en sur-

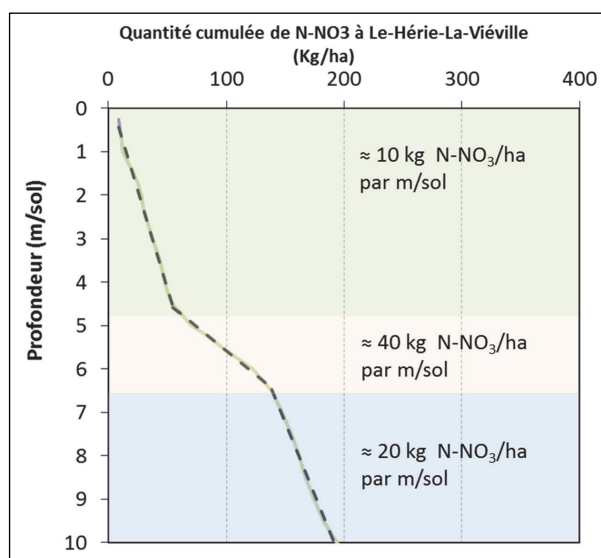


Figure 4. Quantité cumulée de N-NO₃ sur le sondage BSS000EXZH (0661X0044/S3) à Le Hérie-la-Viéville (d'après Surdyk *et al.*, 2014).

face ayant un impact important sur les pratiques mettra en moyenne respectivement 55 et 47 ans avant d'avoir un effet sur la nappe de la craie.

Par ailleurs, le projet a aussi montré que temps de transfert au sein de la nappe est également élevé.

Pour améliorer la qualité des eaux, des actions agricoles correctives doivent être prises de façon pérenne. Le temps de transfert long implique que l'effet de ces actions ne sera pas visible à court terme. Il est néanmoins impossible, avec cette étude, de confirmer que les efforts engagés sont suffisants pour atteindre les critères de qualité des eaux souterraines fixés par la DCE.

Les conclusions du projet ne sont valables que pour l'aquifère de la craie au droit des deux parcelles investiguées. Le projet a pu montrer, par l'utilisation de répliquats, que la réponse à la fertilisation était homogène au sein d'une parcelle.

Références bibliographiques

- Baillon K., Lacherez S., Six P., Caulier P., Risbourg D. et Maillot H., 2001. Gestion de la nappe de la craie dans le nord de la France. Premiers résultats sur le transfert des nitrates d'origine agricole dans le non saturé de l'arrondissement de Cambrai. *Techniques Sciences Méthodes*, (4): 33-46.
- Baran N. et Chabart M., 2006. Détermination de la vitesse de transfert des nitrates en zone crayeuse sur deux bassins versants à enjeux : La Retourne (08) et La Superbe (51). Rapport final, Rapport BRGM RP 54985-FR, 109p.
- Derby N.E., Casey F.X.M. et Knighton R.E., 2009. Long-term observation of vadose zone and groundwater nitrate concentrations under irrigated agriculture. *Vadose Zone J* 8(2):290-300.
- Ireson A.M., Mathias S.A., Wheeler H.S., Butler A.P., Finch J., 2009. A model for flow in the chalk unsaturated zone incorporating progressive weathering. *Journal of Hydrology* 365(3-4): 244-260.
- Ireson A.M. et Butler A.P., 2011. Controls on preferential recharge to Chalk aquifers. *Journal of Hydrology*. 398, 1-2. 109-123.
- Kerbaul A., Morfaux P. et Landreau A., 1979. L'épandage d'effluents sur terrain agricole. - Effets sur la zone non saturée de la craie en Champagne. Rapport BRGM/79 SGN 229 HYD/CHA. 23 p.
- Laurent F., Kerveillant P., Besnard A., Vertes F., Mary B. et Recous S., 2004. Effet de la destruction de prairies pâturées sur la minéralisation de l'azote : approche au champ et propositions de quantification. Synthèse de 7 dispositifs expérimentaux. Document ARVALIS - Institut du végétal. 77 p.
- Lemaire G., Nicolardot B., 1997. Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes : Reims (France), 19-20 novembre 1996. INRA Éditions, Paris. 337 p.
- Mathias S.A., Butler A.P., Jackson B.M. et Wheeler H.S., 2006. Transient simulations of flow and transport in the Chalk unsaturated zone. *Journal of Hydrology* 330(1-2): 10-28.
- Normand B., Czernichowski I. et Mouvet C., 1999. Suivi de la nappe et de la zone non saturée dans le bassin de l'Hallue (Somme). Rapport BRGM/ R 40616. 31 2 p.
- Sorensen J.P.R., Butcher A.S., Stuart M.E. et Townsend B.R., 2015. Nitrate fluctuation at the water table: implications for recharge processes and solute transport in the Chalk aquifer.
- Surdyk N., Gourcy L., Baran N. et Picot J., 2014. Étude du transfert des nitrates dans la zone non saturée et dans les eaux souterraines des aires d'alimentation de captage en Picardie, bassin Seine Normandie Rapport provisoire. BRGM/RP-63714-FR, 114 p.
- Surdyk N. Gourcy L. et Bault V., 2016. Étude du transfert des nitrates dans la zone non saturée et dans les eaux souterraines des aires d'alimentation de captage dans l'Oise. Rapport final. BRGM/RP-65842-FR, 76 p.
- Valé M., 2006. Quantification et prédiction de la minéralisation nette de l'azote du sol in situ, sous divers pédoclimats et systèmes de culture français. Thèse à INPT-ENSAT, 183 p.