



**HAL**  
open science

# Application d'une approche risque pour l'évaluation des pressions significatives en nitrate d'origine agricole diffuse sur les eaux souterraines des aquifères crayeux du bassin de Paris.

Laurence Gourcy, Stephanie Pinson, Nicolas Surdyk

## ► To cite this version:

Laurence Gourcy, Stephanie Pinson, Nicolas Surdyk. Application d'une approche risque pour l'évaluation des pressions significatives en nitrate d'origine agricole diffuse sur les eaux souterraines des aquifères crayeux du bassin de Paris.. Géologues, 2018. hal-02104023

**HAL Id: hal-02104023**

**<https://brgm.hal.science/hal-02104023>**

Submitted on 19 Apr 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.

# APPLICATION D'UNE APPROCHE RISQUE POUR L'ÉVALUATION DES PRESSIONS SIGNIFICATIVES EN NITRATE D'ORIGINE AGRICOLE DIFFUSE SUR LES EAUX SOUTERRAINES DES AQUIFERES CRAYEUX DU BASSIN DE PARIS

L. Gourcy<sup>1</sup>, S. Pinson<sup>2</sup>, N. Surdyk<sup>3</sup>

## Introduction

L'évaluation des pressions significatives sur les eaux souterraines est une étape importante de l'état des lieux réalisé tous les 6 ans en lien avec la directive cadre sur l'eau et les SDAGE. Ce travail permet de localiser les secteurs du territoire où les pressions peuvent entraîner une dégradation de la qualité des eaux et donc où des actions doivent être mises en place pour réduire les pressions et assurer la qualité de la ressource en eau dans le futur.

A l'échelle de pays ou de grands bassins versants il existe peu de méthode permettant de lier les pressions et les impacts sur les eaux souterraines permettant d'obtenir une information pertinente sans avoir à réaliser un long et fastidieux travail d'acquisition de données. Ainsi les méthodes basées sur la modélisation de transfert de polluants restent utilisées principalement à des échelles d'aire d'alimentation de captage ou d'une masse d'eau souterraine à l'exception notable du modèle du bassin amont de la Seine ayant bénéficié des développements du modèle hydrogéologique réalisés sur plusieurs années (Ledoux et al., 2007 ; Viennot et al., 2009). Des méthodes statistiques peuvent également être développées partant du traitement d'un grand nombre de données de qualité des eaux souterraines couplées à divers paramètres complémentaires (pressions et hydrodynamisme notamment) comme proposé dans le bassin Seine-Normandie par exemple (Lopez et al. 2012) ou à l'échelle du continent Africain (Ouedraogo and Vanclooster, 2016). Des approches basées sur des analyses de risques et des outils SIG ont été proposées en Angleterre (Wang et al., 2012, Wang et al., 2013) et aux États-Unis (Nolan et al., 1998 ; Hinkle and Tesoriero, 2014).

Suite à une étude bibliographique (Gourcy et al., 2013), il a été proposé pour répondre à la directive cadre sur l'eau (DCE) de développer une méthode basée sur l'analyse de risques afin d'améliorer la méthode pression-impact pour les pollutions diffuses en nitrate d'origine agricole disponible pour l'état des lieux 2013 (Pinson et al., 2012).

Les résultats de cette méthode sont présentés pour le contexte crayeux du Bassin parisien. Ces aquifères sont particulièrement intéressants du fait de pressions agricoles souvent élevées et de temps de transfert des eaux du sol vers la nappe pouvant être très long et entraînant un décalage entre la pression agricole et l'impact sur la qualité des eaux souterraines. Les résultats obtenus par l'approche risque sont confrontés aux données de concentrations en nitrate aux points d'eau.

## Méthode d'étude

La méthode pression - impact sur les eaux souterraines pour le nitrate d'origine agricole proposée tient compte de divers facteurs : i) l'unité de travail afin de considérer toutes les pressions arrivant à un ensemble de points d'eau et de permettre l'estimation de l'étendue géographique de la pression « significative » sur la masse d'eau, ii) la part de la pression exercée qui peut rejoindre la nappe, iii) le délai entre la pression exercée et l'impact relevé sur les eaux souterraines et iv) les processus menant à une diminution naturelle des concentrations en nitrate à la nappe (Fig. 1).

---

<sup>1</sup> Responsable unité D3E/EVE au BRGM, L.Gourcy@brgm.fr

<sup>2</sup> Hydrogéologue au BRGM, S.Pinson@brgm.fr

<sup>3</sup> Agronome au BRGM, N.Surdyk@brgm.fr

La méthode s'appuie sur les données historiques de pression en azote calculées par l'Université de Tours à l'aide du modèle Cassis-N (Poisvert et al., 2016a et 2016b).

Les travaux ont porté en premier lieu sur l'analyse d'une typologie de fonctionnement hydrogéologique qui permet d'adapter au besoin certaines étapes de la méthode. C'est l'entité hydrogéologique BDLISA qui apparaît à cette échelle de travail l'unité de travail la plus appropriée.

Le décalage dans le temps entre pression et impact a été abordée par deux méthodes complémentaires ; l'estimation des temps de transfert dans la zone non saturée et les âges apparents des eaux souterraines pour la zone saturée notamment dans les zones fluvio-glaciaires. Les temps de transfert en zone non saturée sont issus de données bibliographiques sur les vitesses de transfert de l'eau et nitrate en contexte de craie et estimation de l'épaisseur de la zone non saturée issue des travaux de Allier et al. (2018). Les âges apparents sont des estimations réalisées à partir d'outils isotopiques ou de gaz dissous permettant une « datation » des eaux souterraines.

Ces informations ont permis de calculer une pression « recalée » à partir de la pression brute à l'échelle de l'entité BDLISA estimée par Cassis-N.

La susceptibilité de transfert du nitrate a été abordée par l'utilisation de l'IDPR (Indice de développement et de persistance des réseaux) développée par Mardhel et al. (2004) et actualisé en 2017 (disponible sous infoterre.brgm.fr). Trois niveaux de susceptibilité ont été établis pour l'ensemble du territoire et ont été croisés avec les 4 niveaux de pression approchée proposés. La matrice obtenue permet d'obtenir 4 niveaux de pression significative sur les eaux souterraines : pressions non significatives et pressions significatives faibles, moyennes et fortes.

Les résultats obtenus ont été confrontés aux données de concentrations en nitrate des points d'eau (hors ICSP) disponibles sous ADES (ades.eaufrance.fr), ce qui a permis de valider la cohérence globale de l'approche. A ce stade il est nécessaire également de prendre en compte de possibles processus de dénitrification.

**Figure 1** : Schéma de la réalisation de l'analyse pression-impact à l'échelle des unités de travail (en rouge les données en lien avec les pressions, en bleu les calculs de temps de transfert) Gourcy et al., 2017

## Résultats et discussions

### *Le contexte d'étude*

Les aquifères de craie présentent un intérêt tout particulier pour l'application de la méthode pression impact à l'échelle de territoire car ils sont très présents dans tout le Bassin parisien, grandes plaines céréalières ayant recours aux intrants azotés pour soutenir les hauts rendements. Les temps moyens de résidence des eaux dans ces aquifères peuvent être très importants (plus d'une cinquantaine d'années) et donc le délai entre le flux sous-racinaire d'azote et l'arrivée du nitrate à la nappe peut être très important.

La masse d'eau sélectionnée dans le cadre de cet article est la AG004 - craie de l'Artois et de la vallée de la Lys - située sur le bassin Artois-Picardie. Cette masse d'eau comporte comme première entité BDLISA aquifère rencontrée, l'entité 121BD01, craie du Séno-Turonien des bassins versants des cours d'eau de la mer du Nord. Cette masse d'eau se trouve en partie (env 30%) sous recouvrement tertiaire des Flandres et peut alors être de type captif.

### *Les pressions sous-racinaire et pressions recalées*

Pour la MESO AG004 on note principalement des grandes cultures avec certains secteurs de polyculture/polyélevage, notamment d'élevage de bovin. Un calcul des surplus azotés annuels de 1955 à 2015 est réalisé à l'aide de l'interface web de calcul utilisant le modèle cassis-N développé à l'Université de Tours (<https://geosciences.univ-tours.fr/cassis/login>). Les données communales

calculées sont agrégées directement à la masse d'eau. Afin d'être comparable, les valeurs sont ramenées à l'hectare en considérant comme surface affleurante de la masse d'eau 136615 hectares.

Du fait d'incertitudes sur les temps moyens de résidence et l'épaisseur de la ZNS, on ne considère pas la valeur de pression d'une année mais l'on recalcule la moyenne mobile des pressions sur 5 ans.

Afin d'estimer la pression qui entrainerait ou non une pression significative sur les masses d'eau en 2017, il est nécessaire d'estimer le décalage moyen entre l'année de la pression et l'arrivée du nitrate à la nappe. L'analyse des temps de transferts dans la zone non saturée est donc réalisée.

L'épaisseur moyenne de la nappe de la craie au niveau de la MESO AG004 est comprise entre 25 m (Crampon et Caous, 2006) et 32 m (calcul à partir de la zone non saturée moyenne, cet article). Pour la craie de la région Artois-Picardie, des valeurs de vitesses de transferts de 0,54 à 1,51 m.s<sup>-1</sup> ont été reportés (Serhal, 2006, Surdyk et al., 2014 et 2016). Sur cette masse d'eau la craie est généralement recouverte par une fine couche de limons. Une vitesse moyenne de transfert de nitrate dans la zone non saturée de 1 m.a<sup>-1</sup> peut être considérée ici. Le temps moyen de transfert en zone non saturée est donc d'une trentaine d'années.

Une seule donnée de datation des eaux par analyse des gaz dissous a été trouvée pour cette masse d'eau (Auterives et al., 2017). Le temps moyen de résidence de 3 ans estimé pour ce secteur à double cyclicité semble faible. D'autre part le point daté est localisé en bordure est de la MESO où la nappe est à une dizaine de mètres.

En considérant l'année de pression à l'origine des concentrations en nitrate dans les eaux souterraines de la MESO, environ 1987, la pression recalée serait de 79 kgN / hectare (moyenne glissante sur 5 ans).

#### ***Susceptibilité de transfert et évaluation des pressions significatives (lien pression-impact)***

La susceptibilité de transfert se base sur l'utilisation de l'IDPR (Indice de développement et de Persistance des réseaux, Mardhel et al., 2004), indicateur caractérisant le ruissellement, l'infiltration des sols mais aussi de manière indirecte la géologie. L'IDPR révisé en 2017 (infoterre.brgm.fr) a été utilisé pour évaluer la susceptibilité de transfert. L'IDPR est contrasté sur l'ensemble de la masse d'eau AG004 (400-1000, Fig. 2). Cela rend compte d'une plus grande diversité géologique avec la présence de sables, d'argiles et de marnes. Avec un IDPR moyen, estimé à 1000, la susceptibilité de transfert est donc considérée comme « moyenne » sur l'ensemble de la masse d'eau.

Une grille de classes de pressions significatives a été proposée à l'échelle nationale en combinant la pression recalée (en kgN/ha) et la susceptibilité de transfert (Fig. 3). En reprenant les données indiquées plus haut on obtiendrait une pression significative moyenne pour AG004.

**Figure 2 :** IDPR 2017 (grille au pas de 50 m) et IDPR moyen pour la masse d'eau AG004 (figure originale pour cet article, S.Pinson)

**Figure 3 :** Tableau de passage de la pression recalée à la pression significative (adapté de Gourcy et al., 2017)

#### ***Confrontation avec les données des eaux souterraines***

La masse d'eau AG004 a été reportée à l'Europe en 2015 comme en mauvais état chimique du fait des pollutions diffuses de type nitrate. L'analyse du rapportage 2015 indique une pression de pollution diffuse d'origines diverses significative pour la masse d'eau.

Les données disponibles sous ADES producteurs au 25 juillet 2017 pour la période récente (2015-2017) ont été utilisées pour le traitement. Lorsque l'on dispose de plusieurs données de nitrate sur la période considérée seule la valeur du prélèvement le plus récent est conservée.

Pour la MESO AG004, 61 points d'eau disposent de données récentes de concentrations en nitrate. Un point d'eau situé en site urbain a une concentrations en nitrate supérieure à 50 mg.l<sup>-1</sup> (54 mg.l<sup>-1</sup>). 18% (11/62) des points d'eau ont des concentrations en NO<sub>3</sub> supérieures à 37,5 mg.l<sup>-1</sup>. 17 PE présentent des

concentrations en nitrate inférieures à 1 mg.l<sup>-1</sup>. Ce sont tous des points d'eau situés sous couverture des formations Tertiaires et présentant une probable dénitrification (Fig.4).

On note pour les points de la surveillance DCE une tendance récente à la hausse des concentrations en nitrate (Auterives et al., 2017). Sur l'ensemble des points d'eau pour lesquels un calcul de tendance est possible (57 PE), 1 seul point d'eau présente une baisse des concentrations en nitrate. On note 36 PE (soit 63%) présentant une tendance à la hausse des concentrations en NO<sub>3</sub>. Les concentrations sont inférieures à 10 mg/L sous couverture confirmant la dénitrification lorsque la nappe est captive.

**Figure 4** : Pression significative et concentrations maximales en nitrate mesurées en 2015 pour la masse d'eau AG004 (figure originale pour cet article, S. Pinson)

### Conclusions

L'approche risque développée à l'échelle nationale est intéressante car elle permet d'obtenir rapidement (en comparaison à la construction d'un modèle de transfert de nitrate) une information sur les pressions significatives exercées sur les eaux souterraines en tenant compte des délais entre les pressions exercées et l'arrivée des polluants à la nappe. Cette approche est d'autant plus intéressante dans des contextes crayeux où l'épaisseur de la zone non saturée et les vitesses d'infiltration de l'eau et du nitrate dans cette zone non saturée peuvent être très importants. Cette approche nécessiterait des adaptations pour des applications autres qu'une analyse globale, l'évaluation de la diminution de la pression afin d'atteindre le bon état chimique des masses d'eau par exemple.

### Références

Allier D., Brugeron A., Mardhel V., 2018. Cartographie préliminaire de l'épaisseur moyenne de la zone non saturée à l'échelle du 1/100000 sur la France métropolitaine. BRGM/RP-68364-FR.

Auterives C., Lopez B., Bourguine B., Gourcy L., Devau N., Hérivaux C., Parmentier M., Joublin F., Renaud C., 2017. Evaluation de la représentativité des réseaux de surveillance DCE de la qualité des eaux souterraines du bassin Artois-Picardie. Rapport final. BRGM/RP-67029-FR.

Crampon N., Caous J.Y., 2006. Nappe de la Craie in : Aquifères et eaux souterraines de la France, tome 1, 337-364. BRGM Edition.

Gourcy L., Pinson S., Fries E., Lopez B., 2013. Revue des méthodes d'évaluation des liens entre pression et impact pour les pollutions diffuses azotées. Rapport final. BRGM/RP-63125-FR. 44 p.

Gourcy L., Pinson S., Surdyk S., 2017. Description de la méthode appliquée à l'échelle nationale pour l'analyse pression-impact du nitrate sur les eaux souterraines. Rapport final. BRGM/RP-67428-FR, 105p.

Hinkle S.R., Tesoriero A.J., 2014. Nitrogen speciation and trends, and prediction of denitrification extent, in shallow US groundwater. *Journal of Hydrology*, 509, 343-353.

Ledoux E., Gomez E., Monget J., et al., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of The Total Environment*, 375(1-3):33-47.

Lopez B., Baran N., Bourguine B., Brugeron A., Gourcy L., 2012. Pollution diffuse des aquifères du bassin Seine-Normandie par les nitrates et les produits phytosanitaires : temps de transfert et tendances. Rapport final BRGM/RP-60402-FR, 326p.

Mardhel V., Frantar P., Uhan J., Mio A., 2004. Index of development and persistence of the river networks as a component of regional groundwater vulnerability assessment in Slovenia. *Int. Conf. groundwater vulnerability assessment and mapping*. Ustron, Poland, 15-18 June 2004, Poland.

Nolan B.T., Ruddy B.C., Hitt K.J., Helsel D.R., 1998. A National Look at Nitrate Contamination of Ground Water. *Water Conditioning and Purification*, 39(12) : 76-79.

Ouedraogo I., Vanclooster M., 2016. A meta-analysis and statistical modelling of nitrates in groundwater at the African scale. *Hydrol.Earth System Sciences*, 20: 2353-2381

Pinson S., 2012. Relations entre une pression nitrates (NOPOLU) et les concentrations en nitrates dans les masses d'eau souterraine de niveau 1 - Résumé de quelques tests développés à partir des travaux réalisés par l'INRA dans le cadre des études nationales « pression-impact » - Rapport final BRGM/RP-61510-FR.

Poisvert C., Curie F., Gassama N., 2016a. Evolution des surplus azotés (1960-2010) : déploiement national, étude des temps de transfert et de l'impact du changement des pratiques agricoles. Université de Tours - UFR Sciences et Techniques. 45p.

Poisvert C., Curie F., Moatar F., 2016b. Annual agricultural N surplus in France over a 70-year period. *Nut. Cycl. Agroecosyst.*, doi:10.1007/s10705-016-9814-x

Serhal H., 2006. Influence des pressions anthropiques sur l'évolution des concentrations en nitrates dans la nappe de la craie du Nord de la France (application au Cambrésis et au nord Audomarois) - Thèse de doctorat de l'Université de Lille.

Surdyk N., Gourcy L., Baran N., Picot J., 2014. Etude 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 final. BRGM/RP-63714-FR.

Surdyk N. Gourcy, L., Bault, V., 2016. Etude 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.

Viennot P. Ledoux E., Monget J.P., Schott C., Garnier C., Beaudoin N., 2009. La pollution du bassin de la Seine par les nitrates. Collection programme Piren-Seine, N°3.

Wang L., Butcher A. S., Stuart M. E. et al., 2013. The nitrate time bomb: a numerical way to investigate nitrate storage and lag time in the unsaturated zone. *Environmental geochemistry and health*, 35(5), 667-681.

Wang L., Stuart M. E., Bloomfield J. P., et al., 2012. Prediction of the arrival of peak nitrate concentrations at the water table at the regional scale in Great Britain. *Hydrological Processes*, 26(2), 226-239.

### **Remerciements**

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la convention AFB/BRGM