

UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE - CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

ABAC • Un réseau de d'exploitations en agriculture biologique et conventionnelle pour quantifier les fuites d'azote par lixiviation

La contamination nitrique représente une altération majeure de la qualité des eaux, tant superficielles que souterraines ; elle pose des problèmes pour la fabrication d'eau potable, mais conduit aussi à la diminution de la biodiversité aquatique et à l'eutrophisation des eaux marines côtières. L'agriculture productiviste dominante dans la moitié Nord de la France est clairement la principale source de nitrate. Le projet ABAC montre que l'agriculture biologique peut réduire d'environ 30%, les flux de nitrate lixiviés.

Mots-clés du projet

Agriculture biologique • agriculture conventionnelle • nitrate • contamination des eaux • pratiques agricoles • bougies poreuses

Fiche mise à jour en septembre 2017

Projets

Carte d'identité

Caractéristiques des hydrosystèmes étudiés

La démarche s'applique dans le bassin de la Seine à des masses d'eau toutes classées vulnérables, mais cette démarche reste valide dans une perspective préventive.

Enjeu eau : reconquête de la qualité de l'eau potable et des milieux aquatiques.

Masse(s) d'eau concernée(s) : eau de surface • eau souterraine (aquifère calcaire)

Facteurs de dégradation de(s) masse(s) d'eau : nitrate, phosphore

Type de territoires visés

Échelle : Bassin de la Seine

Caractéristiques des hydrosystèmes : contamination nitrique avérée des eaux de surface et souterraines

Caractéristiques agricoles : grandes cultures céréalières et sols profonds

Autres précisions : l'agriculture biologique dans le bassin de la Seine représente moins de 2 % de la surface agricole utile (SAU), proportion plus faible que la moyenne nationale.

Projet de recherche

CONTEXTE ET ENJEUX

La contamination nitrique représente une altération majeure de la qualité des eaux, tant superficielles que souterraines ; elle pose des problèmes pour la fabrication d'eau potable, mais conduit aussi à la diminution de la biodiversité aquatique et à l'eutrophisation des eaux marines côtières (Passy et al., 2016, Mar. Ecol. Prog. Ser. doi: <http://dx.doi.org/10.3354/meps11533>). Les pratiques intensives de l'agriculture conventionnelle (AC) des années 70 ont entraîné une contamination nitrique importante des aquifères, des eaux de surface et de l'atmosphère, due à l'utilisation massive des engrais de synthèse. Des concentrations sous-racinaires sous grandes cultures en AC dans le nord de la France ont atteint des concentrations moyennes de l'ordre de 25 mg N-NO₃.L⁻¹, valeurs variables toutefois selon les conditions pédoclimatiques, les cultures et les pratiques. L'agriculture productiviste dominante dans la moitié Nord de la France est clairement la principale source de nitrate. Depuis les années 2000, 80 captages ont été fermés dans le bassin de la Seine, l'eau souterraine des aquifères de cette région atteignant en effet des concentrations bien supérieures aux 11 mg N-NO₃.L⁻¹ (50 mg NO₃.L⁻¹) réglementaire pour la fabrication d'eau potable.

La question de l'agriculture biologique (AB), qui utilise uniquement des engrais organiques, s'est posée comme alternative pour limiter les contaminations nitriques (Thieu et al., 2011, Reg Environ Change, 11: 359–370.). Toutefois si en termes d'utilisation des pesticides, les différences entre l'AB et l'AC sont claires puisque l'agriculture biologique n'en utilise pas, les données relatives aux fuites sous-racinaires de l'AB, sont encore trop rares (Mondelaers et al., 2009, Br Food J 111:1098–1119). Au début de ce projet ABAC, de telles comparaisons entre l'AC et l'AB n'avaient pas encore été rendues publiques par la communauté scientifique en France. Depuis, nous avons montré que l'agriculture biologique peut réduire jusqu'à 30%, les flux de nitrate lixiviés et les fuites vers l'atmosphère (Benoit et al., 2015, AEE, 213: 131–141; Benoit et al., 2016, Agric.Syst. 148 : 105–113; Garnier et al., 2014, J. Env. Manag., 144 : 125-134 ; Garnier et al. 2016, Env. Sci Policy 63 : 76–90).

PROBLÉMATIQUE, HYPOTHÈSES, OBJECTIF

Pour pallier cette contamination nitrique et dans une perspective de concilier une agriculture durable et une bonne qualité des eaux, le projet ABAC s'était fixé comme objectif de quantifier les concentrations sous-racinaires dans les systèmes AB et AC en étudiant les pratiques des exploitations agricoles sélectionnées dans des pôles pédoclimatiques variés du bassin de la Seine. L'hypothèse sous-jacente était la réduction de la contamination nitrique par l'AB, malgré la mise en place du code des bonnes pratiques agricoles (cf. Directive nitrate, 1991 ; Directive Cadre sur l'Eau -DCE, 2000), conduisant à une possible réduction de la contamination en AC. Ce projet a fait l'objet d'une démarche collaborative, avec une participation des agriculteurs à la mise en place du système de mesure et aux prélèvements, et un partage des résultats.

SITE D'ÉTUDE

Des exploitations dans les pôles pédoclimatiques de l'est de Paris (Seine-et-Marne), en amont du bassin de la Seine (Yonne), et au nord en plateau Picard (Oise) ont été instrumentées. 8 itinéraires techniques en AB et 10 en AC ont ainsi été choisis. Ont en outre été équipées, au nord-ouest de Paris, les parcelles de l'essai de la Motte dans la ferme de Villarceaux (Val d'Oise), au sud-ouest de Paris des parcelles de la ferme expérimentale de Grignon (Yvelines), ainsi que d'autres du lycée agricole de la Saussaye (Beauce, Eure) (Figure 1).

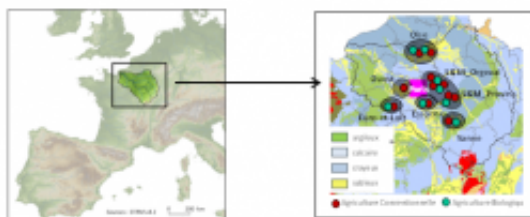


Figure 1. Carte d'implantation des bougies poreuses dans le bassin de la Seine. Fond de carte lithologique du bassin parisien.

MÉTHODOLOGIE ET PROTOCOLES

La mesure des concentrations sous-racinaires du nitrate a été réalisée avec des bougies poreuses posées verticalement (Figure 2) à l'échelle des rotations, soit en moyenne interannuelle 70 parcelles équipées de six bougies poreuses par parcelles depuis la saison de drainage 2012-2013 à celle de 2016-2017, 46 parcelles en AB et 26 en AC (Tableau 1).

Tableau 1. Récapitulatif des parcelles équipées en agriculture biologique (AB) et en agriculture conventionnelle (AC). Les numéros correspondent aux exploitations, en couleur sont les essais expérimentaux.

	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
AB						
AB1		3	3	3	3	3
AB2	3	5	5	5	5	3
AB3		5	5	5	5	5
AB4	3	3	3	3	3	3
AB5		4	4	4	4	4
AB6		5	5	5	5	5
AB7		3	3	3	3	3
AB8		3	3	3	3	3
AB9						
AB10						
Total AB	6	32	30	30	48	35
AC						
AC1		3	2	2	2	2
AC2		3	3	3	3	3
AC3	1	2	2	2	2	2
AC4		3	3	3	3	3
AC5		3	3	3	3	3
AC6		3	3	3	3	3
AC7		3	3	3	3	3
AC8		4	4	4	4	4
AC9		5	5	5	5	5
AC10		1	1	1	1	1
AC11						
Total AC	1	30	30	30	38	28
	7	62	60	60	86	63

Les rotations longues de l'AB (moyenne de 7-11 ans) comprennent une plus forte proportion de légumineuses avec dans une succession type de 9 ans : 2 ou 3 ans de luzerne- blé -céréale-légumineuse- blé-2 ans de céréales. Les rotations conventionnelles sont représentées par des rotations plus courtes (3-4 ans) dont notamment les successions colza-blé-orge et maïs/betterave blé-blé, représentatives de la région avec parfois une culture de féverole. Les bougies sont mises sous vide pendant 72h (48h) avant le prélèvement (Figure 2). Les prélèvements ont lieu pendant la saison de drainage, de fin novembre-début décembre à fin mars-début avril, à une fréquence bi-mensuelle, soit environ 10 prélèvements par saison de drainage. Des reliquats azotés sont également analysés à 3 profondeurs 0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm à la pose et dépose des bougies (entrée hiver et sortie hiver). Les caractéristiques des sols et leurs contenus en carbone, matière organique, azote et phosphore sont déterminés à l'entrée d'hiver. Les concentrations sous-racinaires sont converties en flux d'azote lixiviés en considérant les transferts d'eau dans les sols.



Figure 2. De gauche à droite : matériel de prélèvement de l'eau dans les bougies poreuses, bougie implantée verticalement (10 cm sous la surface du sol), et bougies de 50 cm prêtes à l'implantation.

Gouvernance

Le projet ABAC a été créé 2011 et dirigé depuis par **Josette Garnier**, Directrice de recherche au CNRS.

Le projet ABAC est réalisé au Laboratoire de recherche, université ou structure de rattachement : Metis, Unité Mixte de Recherche –UMR- 7619, Université Pierre et Marie Curie (UMPC) – Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – École Pratique des Hautes Études (EPHE), Paris

Les personnes impliquées depuis 2011 au sein de l'équipe '*Carbon and Nutrient Transfers in Surface ecosystems (CNUITS)*' sont :

– *doctorants et/ou ingénieurs agronome* : Marie Benoit (2011- 2014), Juliette Anglade (2012-2015), Julia le Noé (2014-2018), Julie Berthou (2017), Antsiva Ramarson (2017-2018).

– *techniciens* : Abdelkader Azougui, Benjamin Mercier, Sébastien Bosc, Gilles Afonso, Cyril Gisbert, Pierre Birbis ; et *assistante-ingénieure* : Anun Martinez.

Gilles Billen, DR CNRS, participe également au projet ABAC.

Site web spécifique du projet : <http://www.fire.upmc.fr/abac/>

Il est en lien avec d'autres programmes/projets de recherche : PIREN-Seine-projet agriculture et territoire; Liteau-Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN)/ projet FLAM ; SeasERA/ projet Emosem ; GIPSA/ Projet RESET ; ANR/ Projet Escapade.

Il réunit un comité de pilotage appartenant à plusieurs communautés d'acteurs (région Ile-de-France, FNAB, Institut Technique de l'Agriculture Biologique –ITAB, Arvalis, Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, agriculteurs) et de scientifiques agronomes (Institut National de la Recherche Agronomique –INRA- et Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture – Irstea- qui se réunit une fois par an, à l'UPMC à Paris. Des réunions individualisées de restitution ont lieu chaque année dans les pôles avec les agriculteurs (pôles Seine-et-Marne, Oise et Yonne, notamment).

Éléments financiers

Éléments et partenaires financiers

- Région Ile de France via le Domaine d'Intérêt Majeur (DIM) « Agrosociétés, Ecologie des Territoires, Alimentation » (Astrea) : financement d'un projet d'équipement et d'une bourse de thèse
- AESN et Eau de Paris : financement de fonctionnement, d'analyses et de main d'œuvre
- CNRS et UPMC : financement des salaires des chercheurs et techniciens permanents
- Ministère de la Recherche : financement d'une bourse de thèse via l'École Doctorale GRNE 318.

Résultats

Apports. Les deux systèmes se distinguent par les apports en azote, moindre en AB (85 kgN/ha/an) qu'en AC (145 kgN/ha/an), (Figure 3). En AB, les apports sont représentés par des apports organiques exogènes (30 %) et par la fixation par les légumineuses (70%). En AC, si la part des légumineuses et des apports organiques exogènes ne sont pas négligeables (35 % et 15 % respectivement), les intrants minéraux représentent 50%). S'ajoutent indépendamment des systèmes, environ 10 kgN/ha/an par les dépôts atmosphériques. Les intrants azotés totaux varient au sein des différents systèmes, entre 26 et 111 kgN/ha/an en AB, et entre 91 et 211 kgN/ha/an en AC.

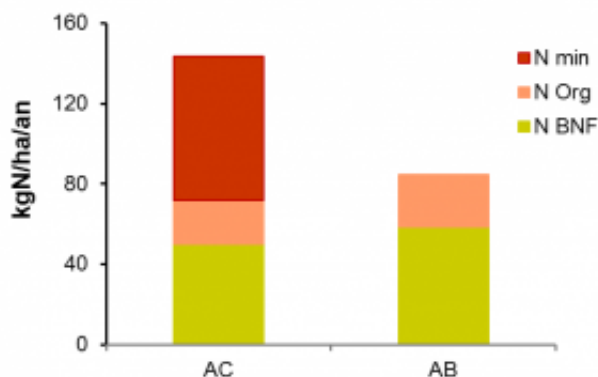


Figure 3. Apports moyen d'azote aux systèmes de cultures en agriculture biologique (AB) et en agriculture conventionnelle (AC). N min: apport minéral ; N Org : apport organique ; N BNF : fixation biologique par les légumineuses.

Concentrations sous-racinaires. Ces valeurs des parcelles équipées des exploitations, exprimées en mgN-NO₃/L (à multiplier par 4.4 pour les obtenir en NO₃), sont en moyenne sur 4 années de drainage un peu plus faibles en AB (7%), (cf. Tableau 2), il existe une variabilité inter-annuelle, de moins à plus 30 % en AB par rapport à AC. Il apparaît également une variabilité entre les exploitations au sein des différents pôles étudiés (Figure 4). Ces différences doivent être encore confirmées car elles ne prennent pas encore à ce stade l'extrapolation à l'échelle de la rotation, probablement au détriment de l'AB, dont la rotation est longue (de 7 à 11 ans en AB) par rapport à l'AC (3 à 5 ans). Outre l'extrapolation à la rotation complète, l'inversion de la situation entre AB et AC au cours de la saison de drainage 2016-2017 doit être étudiée en regard de la lame drainée de l'ordre de 40 % plus faible cette dernière saison.

	mgN-NO ₃ L ⁻¹				mgN-NO ₃ L ⁻¹
	2013-14	2014-15	2015-2016	2016-2017	2013-17
AB	10.0	9.7	10.1	17.9	11.7
AC	14.6	11.0	12.3	13.5	12.6
%	31.4	12.0	18.5	-33.1	7.3

Tableau 2. Moyennes annuelles des concentrations sous-racinaires des parcelles équipées en agriculture biologique (AB) et en agriculture conventionnelle (AC). La moyenne des 4 années est fournie en comparaison.

NB : pour plus d'homogénéité seuls les résultats des exploitations et les 4 dernières années ont été prises en comptes.

La figure 4 montre la variabilité entre les pôles et les exploitations. Le tireté indique la valeur de 11.3 mgN-NO₃/L (50 mgNO₃/L) à ne pas dépasser pour produire de l'eau potable. Il apparaît que les exploitations les plus impliquées dans la protection de la qualité de la ressource en eau et bénéficiant d'une animation sur place (cf. SM 2 et Yonne, pour les captages de la Voulzie et de la Vanne respectivement) montrent des concentrations sous-racinaires inférieures ou égales à cette limite.

Les pratiques détaillées et les caractéristiques des sols sont par ailleurs en cours d'analyses pour comprendre ces différences. On notera en particulier qu'en moyenne, la concentration sous-racinaire de l'exploitation AB6 est plus élevée que l'homologue AC8, sans recourt à des apports exogènes. La gestion des légumineuses et des intercultures est évidemment un critère important à examiner.

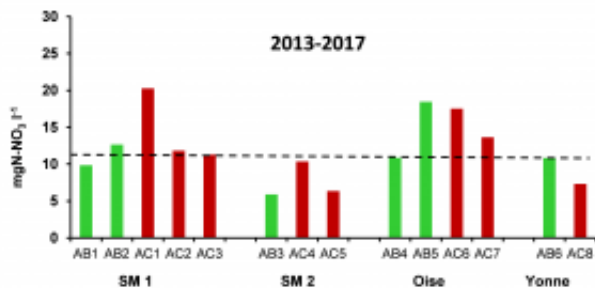


Figure 4. Concentrations sous-racinaires moyennes interannuelles par exploitation pour les quatre pôles instrumentés (SM 1 : Seine-et-Marne proche Coulommiers; SM2 : Seine-et-Marne proche Provins ; Oise proche St Just en Chaussée et Yonne proche Auxerre.

Apports organiques. Les concentrations sous-racinaires ont été portées en fonction des apports organiques automnaux, indépendamment des systèmes AB et AC, certains agriculteurs en AC utilisant en effet des apports organiques tels que la vinasse, les fientes de poules, le fumier de bovin ou compost de fumier de cheval et des digestats. Pour simplifier la lecture, les apports automnaux avec intercultures ont été séparés de ceux sans interculture (Figure 5, droite et gauche respectivement)

Les concentrations sous-racinaires en azote augmentent en fonction de l'apport organique automnal sans interculture, alors qu'avec interculture, sauf quelques exceptions, les concentrations sous racinaires sont contenues en deçà de la limite des $11.3 \text{ mgN-NO}_3\text{-L}^{-1}$ ($50 \text{ mgNO}_3\text{-L}^{-1}$), (Figure 5). Pour une même quantité d'apport, par exemple en compost de fumier de cheval ou en fiente de poules + compost de fumier de cheval, les concentrations sous-racinaires sont très variables, dans un rapport de 1 à 4, dépendant de l'année et de la culture.

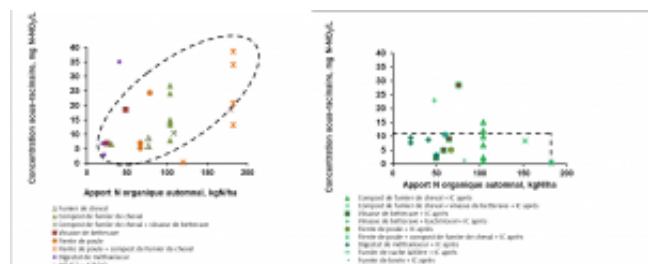


Figure 5. Concentrations sous-racinaires par culture pendant la période de drainage en fonction de l'apport automnal qui l'a précédé pour toutes les parcelles des exploitations et des essais des pôles instrumentés. A droite : avec intercultures, à gauche sans interculture.

Lixiviation sous-racinaire. La lame drainante de chaque année et pour chacun des pôles a été calculée en prenant en compte la pluviométrie et l'évapotranspiration, la réserve utile et des coefficients culturaux et d'infiltration. La lixiviation de nitrate par période de drainage est déterminée par la somme des lixiviations entre chacune des dates de prélèvements (somme de : concentrations sous-racinaires x lame drainante de la période entre deux dates de prélèvements). La mise en relation de la lixiviation avec les reliquats entrée hiver (EH) montre une augmentation linéaire tant en AC qu'en AB (avec un coefficient de corrélation significativement différent de zéro, malgré la variabilité, compte tenu du nombre de couples de données, 90 et 180 respectivement). Les coefficients des droites montrent que 28% du reliquat est lixivié en AC contre 18% en AB. Ces coefficients sont légèrement plus faibles que la fraction lixiviée selon l'équation de Burn (1976, J. Agric. Sci., Camb.86 : 305-313).

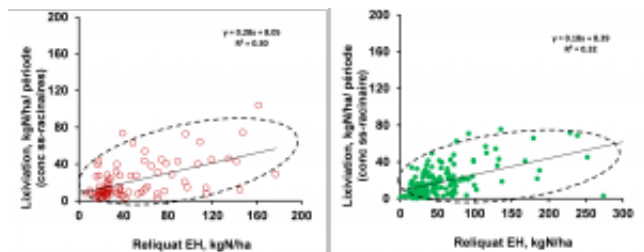


Figure 6. Relation entre la lixiviation de l'azote (calculée à partir des concentrations sous-racinaires et la ame d'eau) et le reliquat d'entrée hiver (EH) des parcelles des exploitations pour les quatre pôles instrumentés (AC à gauche, AB à droite).

Conclusion

Cette étude, la première en France permettant de mesurer les concentrations sous-racinaires dans des exploitations réelles, a été possible grâce à la participation active des agriculteurs qui sont particulièrement remerciés. Ils ont sans réserve partagé leurs connaissances du terrain et la maîtrise de leurs pratiques agronomiques et ont montré leur sens de l'expérimentation. Comme le soulignaient MacMillan & Benton en 2014 (Nature 509, 25–27), et comme le réseau de recherche ABAC l'a montré depuis 2012, les études destinées à construire une agriculture durable et concilier une bonne qualité de l'eau doivent reposer sur le triptyque des scientifiques, des gestionnaires et des agriculteurs et/ou leurs associations.

La comparaison des concentrations sous-racinaires et la lixiviation montrent globalement des valeurs légèrement plus faibles en agriculture biologique par rapport à l'agriculture conventionnelle, mais avec une variabilité importante puisqu'on observe même une inversion de la tendance au cours de cette dernière année 2016- 2017, caractérisée par mauvaise récolte 2016 après la crue tardive et un hiver 2017 le plus sec des années étudiées.

En accord avec l'étude de Tribouillois et al. (2015, Plant Soil, DOI 10.1007/s11104-015-2734-8), les intercultures documentées dans le réseau ABAC permettent de réduire la lixiviation des apports organiques automnaux.

Il est important de noter que le réseau ABAC est composé d'agriculteurs volontaires sensibilisés à la protection de la santé tant des écosystèmes qu'humaine, ce qui peut expliquer les faibles différences entre les deux systèmes, pouvant paraître décevantes. Un résultat très positif est cependant de montrer que sur les 14 itinéraires instrumentés seuls trois, à ce stade de l'analyse encore incomplète, dépassent notablement la norme de contamination par le nitrate. Ceci démontre que des marges de progrès peuvent donc être attendues pour les deux systèmes pour concilier l'activité agricole et le métier d'agriculteur, ainsi que une bonne qualité de l'environnement.

Toutefois, il faut noter que l'agriculture biologique n'utilise pas de pesticide conformément à son cahier des charges, ce qui prévient la pollution par des molécules reconnues comme nocives pour l'environnement mais aussi pour les agriculteurs qui les emploient ([Nicolopoulou-Stamati et al, 2015; Front. Public Health 4:148. doi: 10.3389/fpubh.2016.00148](#)).

Beaucoup de données ont été acquises depuis 2011, et surtout depuis 2013 (13000 analyses de nitrate dans l'eau sous-racinaire ; 5000 analyses de sols pour les reliquats azotés, 1500 analyses de sols (pour l'azote total, le carbone et la matière organique et le phosphore -C/N/P- et leurs caractéristiques granulométriques), ainsi que les pratiques pour chacune des parcelles et des cultures depuis 2011, incluant les rendements.

Outre l'analyse de la lixiviation encore partielle ici, les bilans C, N, P sont en cours pour chacune des exploitations, en lien avec leurs pratiques.

Autres projets de recherche entrepris sur le volet protection de la ressource en eau et/ou l'AB

Le [programme PIREN-Seine](#) est porté depuis 1989 par l'UMR Metis (ex-Sisyphé) grâce auquel des projets sur le fonctionnement du réseau hydrographique en lien avec les activités humaines dans le bassin ont été menés et des modèles développés pour décrire la situation présente de référence mais aussi explorer des scénarios.

Le modèle RIVERSTRAHLER, développé dans le cadre du PIREN-Seine, a été mis à l'épreuve sur des bassins hydrographiques dans un gradient de taille des bassins versant, de conditions hydroclimatiques, d'impacts par l'activité humaine. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de projets européens (Binoculars, Eros, Si-Webs, Threshold, AWARE) ou de coopération avec le Vietnam, notamment.

Contacts

Josette GARNIER • Directrice de Recherche • CNRS • 01 44 27 70 27 • [josette.garnier\[at\]upmc.fr](mailto:josette.garnier[at]upmc.fr)