

Juin 2016
volume n° 6 / numéro n° 1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

Regards agronomiques sur les relations entre agriculture et ressources naturelles



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Quelle(s) agriculture(s) pour une eau de qualité ?

Sarah FEUILLETTE¹ - Marc BENOÎT²

¹Ingénieure agronome et des Eaux et Forêts

²Directeur de recherche, INRA, SAD, Aster, 662, avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt, et membre du Conseil scientifique du Comité de bassin Seine-Normandie.

Contact : marc.benoit@mirecourt.inra.fr

Résumé

Les pollutions diffuses agricoles, notamment par les nitrates et les pesticides, demeurent un enjeu majeur pour la gestion de l'eau, induisant notamment des abandons de captages, des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau et du littoral et plus globalement des coûts importants pour la société. Divers aménagements de l'agriculture conventionnelle, plus ou moins poussés, ont été expérimentés et parfois institutionnalisés ces dernières décennies. Mais plusieurs études montrent que, si ces efforts ont permis de réduire certaines pressions, ces résultats, y compris en termes d'évolution tendancielle en simulant leur mise en œuvre effective, restent insuffisants par rapport aux enjeux de la protection de l'eau. Pour atteindre ces objectifs, il semble nécessaire d'induire des changements profonds dans les systèmes agricoles. Parmi les systèmes « candidats » pour l'eau, l'agriculture biologique semble une voie intéressante mais pose également des questions et s'oppose à des résistances.

Summary

Diffuse pollutions coming from agriculture, notably by nitrates and pesticides, are still an important problem for water management, leading for example to water catchment desertion, eutrophication problems in water courses and coastal waters, and more globally high costs for society. Various adjustments of conventional agricultural, more or less important, have been experimented and sometimes institutionalized these last decades. But several studies show that, even if these efforts have led to the reduction in some of the pollutions, these results are still insufficient to protect water. To reach these objectives, it seems necessary to induce deep changes in agricultural systems. Between the "candidates" for water quality improvement, organic farming seems an interesting way but raises questions and meets resistances.

Introduction : une mesure de l'enjeu

La gestion de la qualité de l'eau en rapport avec l'agriculture est un enjeu majeur aujourd'hui en France. Bien que Stéphane Hénin ait pointé l'essentiel des enjeux à maîtriser dans son rapport sur les activités agricoles et la qualité de l'eau, rédigé il y a maintenant plus de trois décennies (Hénin, 1980), la question n'est toujours pas résolue, comme en témoigne le rapport de 2010 de la Cour des Comptes qui pointe *"l'insuffisante volonté de l'Etat de remettre en cause des pratiques agricoles marquées par l'en-*

couragement au productivisme et le choix d'une agriculture intensive" (Cour des Comptes, 2010¹). Plus récemment, un rapport de 2015 traite sous l'angle économique la question des pollutions diffuses d'origine agricole, insuffisamment taxées par rapport aux coûts engendrés, selon les magistrats (Cour des comptes, 2015).

Ces enjeux ont valu à l'Etat plusieurs condamnations, aux niveaux national et européen, les dernières concernant les bassins versants « algues vertes » en 2013, ou encore un manquement à ses obligations de lutte contre la pollution aux nitrates, en 2015. La situation est telle que le Conseil d'Etat est allé jusqu'à affirmer, dans le rapport « L'eau et son droit » publié en 2011, que *"la sanction communautaire est le seul levier efficace pour surmonter le poids conjugué des intérêts économiques ou catégoriels et de l'inertie des collectivités publiques face à eux, Etat et collectivités territoriales"* (Conseil d'Etat, 2011²).

En France, plus de 400 captages sont abandonnés chaque année, principalement du fait des pollutions et de l'érosion hydrique des sols agricoles (DGS, 2012). Plus d'un milliard d'euros est dépensé annuellement du fait des pollutions agricoles, soit via la facture d'eau potable du fait des coûts de traitement supplémentaires dus aux nitrates et aux pesticides, soit par achat d'eau en bouteille, lié en partie aux problèmes de qualité sanitaire (CGDD, 2011).

Des études récentes ont tenté de chiffrer plus globalement les impacts environnementaux et sanitaires des nitrates, au niveau européen : le coût des excédents d'azote dans l'environnement serait de 18 à 77 € par kg d'azote (Sutton et al., 2011), ce qui au niveau français, sachant que le surplus azoté était estimé à environ 28% des apports en 2010 (Ademe, 2015), conduit à un excédent d'azote estimé à 0,59 M t/an³, soit à un coût compris entre 10,6 et 45,4 Md € par an, ce qui représente plus que l'ensemble des aides de la PAC reçues par la France annuellement⁴ et est largement supérieur au budget consacré à la politique de l'eau dans les milieux⁵.

Au-delà de ces considérations économiques, il est nécessaire de protéger et restaurer les milieux aquatiques (cours d'eau, zones humides, nappes, mares, littoral...), d'une part pour la santé et le bien-être de tous, d'autre part, « pour eux-mêmes » et leurs qualités de fonctionnement encore mal connues, dont nous pourrions avoir besoin demain : au-delà de services rendus à l'homme aujourd'hui quantifiés, par exemple une réduction des traitements de potabilisation permis par l'amélioration de la qualité, il s'agit de préserver globalement le fonctionnement écosystémique de ces milieux, notamment pour assurer une résilience suffisante face à des situations de crise sur la ressource, dues au changement climatique, telles que simulé via la démarche Explore 2070 (MEDDTL, 2011). Il s'agit enfin de les préserver pour leur strict avenir (responsabilité de type « Rio » ou « Hans Jonas : principe de responsabilité » (Jonas, 1979)).

¹Les instruments de la gestion durable de l'eau, <http://www.ccomptes.fr/Publications/Publications/Rapport-public-annuel-2010>

²http://www.conseil-etat.fr/media/document/eau_droit_rapport.pdf

³2,1 M t d'azote étant utilisé chaque année en France (Ademe, 2015 : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/3-optimiser-la-fertilisation-azotee-referencement-ademe-8183.pdf>)

⁴Le budget français de la PAC est de 9,1 milliards d'euros (courants) de crédits européens par an sur la période 2014/2020, dont 1,4 milliard pour le deuxième pilier.

⁵D'un point de vue financier, l'ensemble de la politique de l'eau mettrait en jeu des flux annuels de l'ordre de 23 Md€ : le petit cycle de l'eau, c'est-à-dire « l'eau dans les tuyaux » y compris les services d'eau potable et d'assainissement, représenterait environ 17,2 Md€ et le grand cycle (l'eau dans les milieux) environ 5,6 Md€ (CGEDD, 2013)

Sur le plan réglementaire, la France est engagée, via plusieurs directives, conventions et textes de loi nationaux (Directive cadre sur l'eau, dite DCE, directive nitrates, Directive cadre Stratégie Marine, convention OSPAR, Grenelle de l'environnement, LEMA, Ecophyto...) à atteindre des résultats ambitieux en matière de qualité de l'eau, à des échéances emboîtées. Par exemple, la DCE vise le bon état pour 2015, puis 2021 et 2027 en cas de report de lai d'échéance repoussée à 2020 ; le Grenelle de l'Environnement visait la protection de 532 captages jugés « prioritaires » (sur les 34 000 captages français destinés à fournir de l'eau potable) via la mise en place de programmes d'action pour 2012 ; en 2013, la cible a été doublée, sans échéance claire. Pour ce qui concerne la DCE, comme dans les autres pays européens, maintenant que les efforts en matière de pollution urbaine commencent à porter leurs fruits, le principal point d'achoppement par rapport à ces engagements reste les pollutions diffuses dont l'essentiel est dû à l'agriculture. Un tiers des nappes d'eau en France est en mauvais état, le plus souvent dû aux nitrates et aux pesticides (Eaufrance, 2015). Sur le bassin Seine-Normandie, qui comprend une agriculture très productive, cette proportion monte à 77%, toujours pour les mêmes causes (AESN, 2013). Les pesticides sont également de plus en plus fréquemment analysés dans les eaux des rivières. Quant aux nitrates, même quand les normes du « bon état » (qui correspondent à celles de l'eau potable, soit une teneur de 50 mg/l) sont respectées, ils peuvent poser un problème d'eutrophisation préoccupant pour les eaux marines côtières, susceptible d'avoir des impacts économiques et sanitaires importants.

Enfin, la question des biocides et des antibiotiques issus des élevages, qui se retrouvent dans les milieux aquatiques, est encore peu explorée mais semble induire des risques d'augmentation des résistances des bactéries.

Des aménagements de l'agriculture conventionnelle suffisent-ils pour restaurer la qualité des eaux ?

Concernant le problème des nitrates, il convient de souligner que les démarches incitatives, puis réglementaires, de raisonnement de la fertilisation azotée ont permis une inflexion mesurable des tendances depuis les années 1980 : à l'échelle de la France, les efforts réalisés depuis les années 1980-1990 en matière de raisonnement de la fertilisation et d'amélioration des pratiques ont conduit à accroître l'efficacité d'utilisation de l'azote et à diminuer les pertes environnementales. Les données rassemblées à l'échelle du département des Yvelines (Anglade *et al.*, 2015 a) confirment cette tendance dans le bassin de la Seine. Par ailleurs, en plus du raisonnement de la fertilisation, les Cultures Intermédiaires Pièges A Nitrates (CIPAN), imposées par la loi et désormais obligatoires dans les zones vulnérables (avec un certain nombre de dérogations cependant) dans le cadre du 5ème programme d'action de la Directive Nitrates, sont supposées réduire la lixiviation nitrique. Leur efficacité en la matière a été évaluée dans le cadre d'une expertise collective de l'INRA (Justes *et al.*, 2012) qui conclue qu'elle serait démontrée sur le long terme, à condition toutefois de réduire la fertilisation azotée des cultures principales, et sa-

chant que le niveau d'efficacité d'une CIPAN dépend par ailleurs de nombreux facteurs (date de levée et de destruction du couvert, conditions pédoclimatiques influençant la croissance du couvert, reliquat d'azote minéral à la récolte...). Cependant, cette étude, basée sur des simulations, ne tient pas compte de la réalité des conditions de culture : dans la réalité, la conclusion est beaucoup moins optimiste puisque les CIPAN sont souvent mises en place « pour la réglementation » sans chercher à maximiser leur efficacité (la réussite de la levée et de la croissance n'est par exemple pas toujours visée), qui s'en trouve donc nettement affaiblie⁶. Par ailleurs, l'emploi de pesticides pour la destruction de ces couverts, qui semble être fréquemment de mise, entraîne une augmentation de la pression polluante sur l'eau. Le cas de CIPAN irriguées est également rencontré, ce qui induit une pression quantitative sur la ressource en eau, dont l'enjeu risque de devenir de plus en plus crucial compte tenu des baisses de débits que laissent présager les projections des impacts du changement climatique en France (Dayon, 2015). Malgré son lien avec la qualité, l'enjeu quantitatif n'est pas traité dans ce papier.

Des recherches menées sur l'aire de captage de Flins Aubergenville (Anglade *et al.*, 2015 a) ont permis d'évaluer si le raisonnement de la fertilisation et l'introduction de cultures intermédiaires pièges à azote pourraient suffire à réduire durablement la contamination nitrique au droit de l'aire d'alimentation de captage sans plus de modification des systèmes de culture ni des objectifs de rendement⁷ (en gardant à l'esprit la persistance de la pression pesticide). Ce travail conclut que le raisonnement de la fertilisation permet une amélioration nette de la situation en 2080, du fait du temps de transit des eaux vers la nappe, mais reste insuffisant à cette échéance, les concentrations restant comprises entre 40 et 65 mg NO₃/l dans les zones les plus influencées par les pratiques agricoles (cet effet dépendant bien sûr des conditions locales). La poursuite de la gestion de la fertilisation azotée minérale et l'implantation de CIPAN dans le cadre des derniers programmes d'action de la Directive devraient permettre d'améliorer encore sensiblement la situation. Les résultats sont toutefois plus probants en termes de teneur en nitrates dans un scénario de conversion à l'agriculture biologique qui de surcroît aurait à terme un impact sur la contamination en pesticides. Les systèmes de culture comparés étaient dans les deux cas, conventionnels et biologiques, composés de deux systèmes contrastés : cultures seules et polyculture-élevage. La différence principale réside dans la présence de légumineuses à graines dans les successions de cultures biologiques, tant en cultures seules qu'en polyculture-élevage (13 et 10 % de la SAU).

Précisons qu'il s'agit ici de simulations qui ne prennent notamment pas en compte les apprentissages nécessaires des agriculteurs pour mettre en œuvre ce type d'agriculture.

Au final, la projection des scénarios tendanciels ne conduit pas à une amélioration des milieux aquatiques : la PAC (même compte tenu de sa dernière réforme), les cours des matières premières agricoles et les réactions de crispation

⁶Voir le papier de Paravano *et al.* dans le même numéro

⁷D'après une note sur l'équilibre de la fertilisation azotée de Pierre Arousseau de décembre 2012, « une année sur deux, on est dans une situation de sur-fertilisation azotée imputable à un objectif de rendement fixé à la médiane des rendements observés mais trois années sur quatre les fournitures d'azote par le sol sont supérieures à la référence, en conséquence si on est dans une situation d'indépendance dans trente sept cas sur cent (0,5 x 0,75 = 0,375), on est dans une situation de sur-fertilisation cumulée due à ces deux mécanismes. »

face aux enjeux environnementaux en contexte de difficultés économiques et de compétition exacerbée, ne permettront pas, sans plus d'interventions que les efforts poursuivis depuis des décennies (Phyto-Mieux, Ferti-Mieux, réglementation nitrates etc.), de redresser suffisamment la situation par rapport aux objectifs visés, comme l'ont montré plusieurs évaluations et recherches mêlant observations et simulations (Billen *et al.*, 2013 ; Billen *et al.*, 2012 ; Thieu *et al.*, 2010, 2011 ; Poux, 2006 ; Urbano et Vollet, 2005 ; Brun, 2003 ; Gervasoni, 2003 ; Cochet et Devienne, 2002).

Au-delà des démarches institutionnalisées du type de celles précédemment évoquées (Ferti-Mieux, Phyto-Mieux, CIPAN...), certaines expériences révèlent des efforts notables au niveau local, du moins par rapport aux nitrates. Ainsi, à Xermaménil (54), l'assolement a été modifié à l'occasion du remembrement de 1993. Le maire a positionné 65 ha de terrains communaux dans l'aire d'alimentation des sources afin de les exploiter en prairies de fauche. Pour les agriculteurs, la contrainte ne fût qu'une réorganisation spatiale de leurs activités de fauche, tous leurs prés étant désormais situés dans le bassin d'alimentation des sources⁸. L'assolement des exploitations a peu varié, c'est l'assolement de l'aire de captage qui fut radicalement modifié, en changeant la localisation des prairies permanentes fauchées et en les localisant préférentiellement dans l'aire de captage. De 60 mg/l en 1990, la teneur en nitrate des sources du captage est passée à 7mg/l en moyenne dès 2001, et reste proche de cet excellent niveau depuis (cf fig.1), sans trace de pesticide (Ramon et Benoît, 2014). Cette « success-story », qui s'avère faisable, efficace et durable⁹ en zones de polyculture-élevage, et qui a consisté à échanger des terrains pour modifier l'assolement de l'aire de captage, via une relocalisation des cultures et prairies, ne résout cependant pas la question de la qualité de l'eau en dehors du bassin d'alimentation de captage.

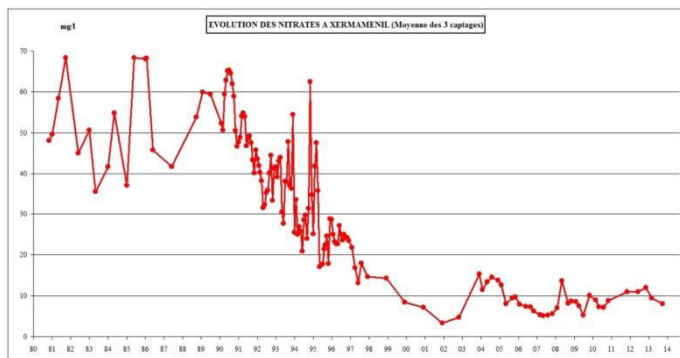


Figure 1 : Evolution des nitrates à 54-Xermaménil - (source : Agence de l'Eau et ARS Lorraine)

Un autre exemple de modification concertée d'une agriculture conventionnelle concerne les sources de Gorze (57). Captées jadis par les Romains pour alimenter Metz, elles se situent en zone Ferti-Mieux depuis 1993. Tous les agriculteurs ont modifié leurs pratiques (compostage des fumiers pour limiter leurs apports à 20 t/ha, les apports de déjections animales exclus sur maïs, les premiers apports minéraux sur céréales d'hiver limités selon la méthode des « doubles den-

sités » mise au point par Limaux, 1994) en bénéficiant d'un soutien technique permanent et d'aides environnementales. Les nitrates, quasi absents dans les années 70, alors que pâtures et forêts dominaient le paysage, apparaissent avec le retournement des prairies, remplacées par des céréales et du maïs dans les années 80. Les années 90 conduisent à de nouvelles pratiques sans modifier l'assolement. Avec un tiers du bassin versant en forêts, les nitrates ont été ramenés à 40 mg/l (cf fig.2). Le cas de Gorze permet de montrer qu'avec des efforts notables, il est possible de se situer sous la norme de potabilité mais avec une marge de sécurité faible. Cependant une fois encore, cet aménagement réussi de l'agriculture conventionnelle ne cible que l'enjeu eau potable (et par rapport au seul enjeu nitrates), ce qui remplit bien l'objectif fixé au départ dans ces contextes, mais ne répond pas à la question plus globale de la compatibilité globale de l'agriculture avec la qualité de l'eau, sur l'ensemble des pressions polluantes et au-delà des seuls captages.

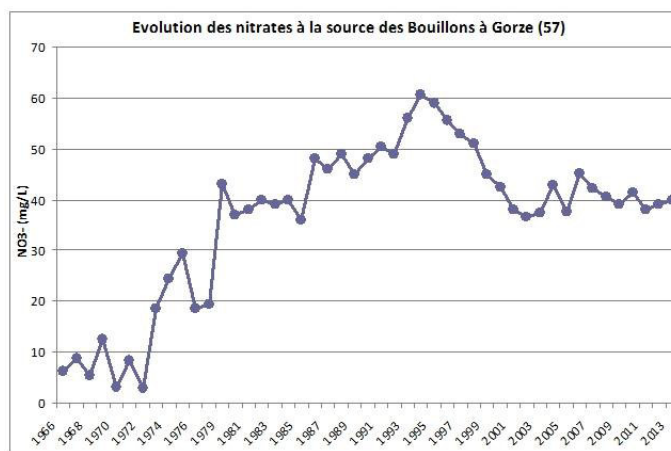


Figure 2 : Evolution des nitrates aux sources de 57-Gorze (source : Chambre Agriculture Lorraine)

A grande échelle, il semble que certaines évolutions permettraient d'alléger sans bouleversements majeurs les pressions de l'agriculture conventionnelle sur l'eau, au-delà des aménagements institutionnalisés cités plus haut. Ainsi, pour diminuer la fertilisation sur blé dur souvent importante pour respecter des taux protéiques imposés par l'aval de la filière, il suffirait, concernant le blé dur, que les grands pasteurs européens cessent d'imposer en France des taux de l'ordre de 14%¹⁰ et que, pour le blé tendre, les transformateurs s'adaptent à des teneurs de 10,5 à 11% au lieu des 12 à 13% imposés aujourd'hui, en modifiant leurs process industriels, ce qui semble possible aujourd'hui mais remet en cause les habitudes prises¹¹. De même, sur les fongicides apportés sur les céréales, un mélange de variétés dans une même parcelle cultivée permettrait de réduire les risques de maladies, donc la quantité de fongicides à apporter (Jeuffroy *et al.*, 2010). Ces évolutions ne sont toutefois pas encouragées à l'heure actuelle, du fait de « verrous » au sein de ces filières (Meynard *et al.*, 2013). Par ailleurs, des tentatives d'évolutions intéressantes comme le développement de cultures à

⁸ Cette réorganisation parcellaire étant liée au remembrement, les agriculteurs ont vu les distances moyennes parcourues pour accéder à leurs parcelles diminuer en moyenne d'un facteur 2,5. Et encore plus pour ces parcelles fauchées car le captage se situe proche du village

⁹ Sur un captage beaucoup plus grand, les moyens financiers d'accompagnement pourraient aider au changement des systèmes de culture. Ici, ce changement s'est opéré sans aides post-remembrement.

¹⁰Un échange entre des chercheurs de l'INRA indique que « des fortes teneurs en protéines du blé dur [sont] nécessaires pour la tenue à la cuisson et notamment pour la sur-cuisson. [...] cela voudrait dire qu'on pourrait descendre un peu le taux de protéines si on faisait moins cuire les pâtes ». « La résistance à la surcuisson est un critère recherché par les industriels et les consommateurs ».

¹¹Un « Dossier blé améliorant » daté de 2015, de Sem-partners indique notamment, au sujet des blés panifiables, que la teneur en protéines est trop faible en France, « de l'ordre de 11% de la matière sèche en méthode traditionnelle alors qu'il faut monter au moins à 13% en cru surgelé ».

faible besoin d'intrants (tels le chanvre), ou l'introduction de légumineuses¹², sont souvent freinées, sur le terrain, notamment faute de débouchés ou d'entraînement collectif qui permettrait un partage du matériel et des compétences nécessaires (Meynard et al., 2013).

Face à cette situation, le Conseil Scientifique du Comité de bassin Seine-Normandie écrivait, dans son avis sur l'agriculture et l'eau, en 2014¹³ : « A moyen et à long terme, les conséquences de la poursuite des tendances en cours apparaissent dramatiques, non seulement pour la protection des captages d'eau potable, mais aussi pour le patrimoine que constituent les milieux aquatiques dans leur ensemble, et particulièrement les nappes souterraines, dont le bon état risque très fortement de ne pas être atteint même en 2027.

[...] à l'échelle du bassin Seine-Normandie, l'atteinte du bon état de l'ensemble des masses d'eau d'ici 2027 nécessite impérativement une rupture radicale et rapide par rapport aux tendances d'évolution en cours ».

Ainsi, seul un changement radical des systèmes agricoles actuels permettrait vraisemblablement d'inverser la tendance à la dégradation des ressources en eau. Cet intérêt d'un changement marqué et tenu sur la durée des systèmes agricoles actuels est confirmé en particulier par Thieu et al. (2010, 2011) et Garnier et al. (2014) sur la question plus précise des contaminations azotées. Ce constat justifie, en matière de politique agricole, de « passer à la vitesse supérieure » en favorisant le développement d'une agriculture compatible avec l'environnement et s'inscrivant dans un rapport symbiotique avec la nature plutôt que dans un rapport d'exploitation (Guillou, 2013).

En quoi l'agriculture biologique paraît-elle un candidat intéressant pour la qualité de l'eau ?

De nombreuses démarches en lien avec la préservation de la qualité de l'environnement et plus particulièrement du sol, de l'eau et/ou de la biodiversité se développent depuis plusieurs décennies, comme l'agriculture biologique, mais aussi, le travail simplifié du sol, le semis direct, l'agriculture intégrée, l'agriculture sans labour, l'agriculture Haute Valeur Environnementale¹⁴, etc. La plupart ne s'appuie pas sur un cahier des charges stabilisé ou suffisamment probant à ce jour par rapport à l'enjeu qualité de l'eau, considéré ici. A première vue, l'agriculture biologique présente l'avantage de reposer sur un cahier des charges relativement simple, stable et reconnu aux niveaux national et européen. Il consiste principalement en l'interdiction d'usage de produits de synthèse, notamment les pesticides et l'azote minéral. Ce cahier des charges permet dans la réalité de nombreuses variantes : sa mise en œuvre est parfois fort technique, et impose certaines contraintes autour desquelles les systèmes de production se construisent de manières très diverses. Il

s'agit ici d'examiner ses possibles avantages pour l'eau et, le cas échéant, ses inconvénients.

La première des contraintes imposées par le cahier des charges de l'AB est l'interdiction des pesticides. Cette interdiction implique des successions de culture plus longues et diversifiées et parfois le développement d'infrastructures écologiques (haies¹⁵,...). Ainsi, la garantie étant totale à l'égard des pesticides, cette interdiction apporte une forte garantie de réduction des risques de pollution par les pesticides, ce qui n'est pas le cas pour l'agriculture conventionnelle ou même intégrée, sauf dans les régions prairiales. Rappelons que sur la question des pesticides (dont la France, premier consommateur européen, a connu une progression des épandages de 5% entre 2009 et 2013 alors qu'ils devaient théoriquement être réduits par deux entre 2008 et 2018 suite au Grenelle de l'Environnement¹⁶), la recherche Ecophyto R&D, menée par l'INRA, montre que réduire de moitié l'utilisation des pesticides suppose une nouvelle conception des systèmes de production, des modifications au niveau des filières et des marchés, et des changements profonds s'inscrivant dans la durée (INRA, 2010). Cela passerait notamment par une augmentation de la surface cultivée en agriculture biologique aux côtés de l'agriculture intégrée.

Concernant l'azote, élément essentiel à la production végétale, le cahier des charges de l'agriculture biologique proscribit le recours aux engrais azotés de synthèse. L'agriculture biologique ne peut toutefois évidemment pas se passer d'azote. Cette interdiction des fertilisants de synthèse pose donc une autre contrainte importante, qui peut être résolue soit par le recours à une fertilisation organique exogène, soit par l'introduction de légumineuses dans les rotations en grandes cultures, ou encore par l'utilisation des produits organiques issus de l'élevage dans des systèmes de polyculture-élevage. Dans le premier cas, on peut reprocher à l'agriculture biologique d'être 'subsidiée' en nutriments par l'agriculture conventionnelle¹⁷, l'élevage étant en majorité mené en conventionnel actuellement. Dans tous les cas, les risques de lixiviation du nitrate existent comme en conventionnel, même si le cahier des charges limite l'usage des engrais organiques (fumiers, compost, résidus de l'industrie alimentaire) à 170 U/ha. Ce risque peut se calculer à partir du bilan d'azote du sol. La question qui se pose alors est de savoir si les systèmes biologiques, tels qu'ils sont structurés dans un contexte donné, sont autant sujets au lessivage que les systèmes conventionnels. Des résultats de recherche, à des échelles globales (moyennes) et locales, viennent renseigner ce questionnement, comme nous allons le voir.

Un premier travail de Koepf, en 1973, avait montré la diminution des pertes nitriques liées aux conduites en agriculture biologique, ce que Drinkwater et ses collègues confirmèrent dans un article de Nature, en 1998, en insistant sur le rôle des légumineuses dans les successions culturales. Si le

¹²Même si, dans les années 1980, l'introduction de légumineuses a conduit à augmenter la lixiviation des ions nitrate.

¹³http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Expert/Conseil_Scientifique/CS_2010_2016/Avis_CS_transition_agricole_def.pdf

¹⁴Pour obtenir la certification environnementale de niveau 3 ou "haute valeur environnementale", l'exploitation agricole respecte les seuils de performance environnementale mesurés par des indicateurs en optant soit pour les indicateurs thématiques composites : option A, soit pour les indicateurs globaux : option B., définis par l'arrêté du 20 juin 2011. Seule la certification de niveau 3 permet l'apposition sur les produits d'une mention spécifique "issu d'une exploitation de haute valeur environnementale".

¹⁵Une étude commandée par le Ministère de l'environnement (FNAB, 2006) confirme cette pratique, sur la base d'une comparaison de deux échantillons statistiquement représentatifs : le bilan, basé notamment sur des diagnostics DIALECTE montre que les fermes en bio ont bel et bien plus d'infrastructures écologiques que les fermes conventionnelles, la suppression de la chimie imposant de changer de nombreuses pratiques.

¹⁶Alternatives économiques n°350, oct 2015, p.30

¹⁷En effet si la réglementation stipule que la fertilisation en bio est basée sur des rotations longues des cultures, comprenant des légumineuses, des engrais verts, l'épandage d'effluents bio, elle ajoute que si ces méthodes ne suffisent pas, d'autres engrais peuvent être utilisés, y compris des effluents conventionnels d'origine non industrielle, à condition qu'ils soient dans la liste positive dédiée. Par accord tacite, l'interprétation courante est qu'il est possible d'utiliser le fumier d'un élevage dès lors qu'il n'est pas « hors-sol ».

retournement des légumineuses après deux ou trois ans donne souvent lieu à un lessivage important, surtout s'il est pratiqué avant l'hiver, comme c'est le cas si la culture suivante est un blé, le bilan complet de lessivage intégré sur l'ensemble de la rotation longue en AB n'en reste pas moins inférieur à celui des rotations courtes en agriculture conventionnelle (Benoît *et al.*, 2015). Les comparaisons menées entre systèmes biologiques et conventionnels ont régulièrement confirmé ces tendances (Kristensen *et al.*, 1994, Drinkwater *et al.*, 1998). La synthèse de Larramandy, en 2002, montre cet intérêt de l'agriculture biologique pour protéger les ressources en eau, à deux exceptions près : l'année qui suit les retournements de prairies temporaires ou artificielles et lors d'apports organiques abondants en maraîchage (supérieurs à 55 T/ha).

Dans une situation en Brie, l'eau sous-racinaire des systèmes étudiés montre une concentration nitrique moyenne de l'ordre de 30 mg NO₃/l en agriculture biologique, contre plus de 100 mg NO₃/l sous agriculture conventionnelle (Benoît *et al.*, 2013). Dans les cas où la principale source d'azote réside dans la fixation biologique d'azote par les légumineuses alternant avec les céréales dans des rotations longues et diversifiées, des travaux récents sur ce type de rotation en grandes cultures biologiques dans le Bassin Parisien montrent un lessivage d'azote plus faible, en moyenne sur le cycle cultural, qu'en agriculture conventionnelle. Ainsi, Benoît *et al.* (2014), montrent, dans une étude menée sur 37 parcelles différentes, y compris en termes de conditions pédo-climatiques, dans le bassin de la Seine, sur la totalité d'une rotation, une concentration sous-racinaire moyenne inférieure pour l'agriculture biologique (12 ± 5 mg NO₃ /l) que pour l'agriculture conventionnelle (24 ± 11 mg NO₃-N/l) avec cependant une forte variabilité. Globalement, dans cette étude, l'agriculture biologique présente des taux de fuite inférieurs (14–50 kg NO₃-N/ ha) à l'agriculture conventionnelle (32–77 kg NO₃-N/ha). Sur le bassin de la Seine, d'autres études encore montrent que le surplus azoté paraît moins élevé en agriculture biologique qu'en conventionnel (Anglade *et al.*, 2015 b). Bien souvent, les agriculteurs engagés dans la démarche de conversion à l'AB, encouragés par la FNAB (Fédération Nationale des Agriculteurs Biologique) et les GRAB (groupements régionaux des agriculteurs biologiques), gèrent de manière stricte leurs apports en matière organique et intègrent d'importantes surfaces en herbe, excellents pièges à nitrate, limitant en cela les risques de transfert de nitrate vers les eaux¹⁸. Au-delà de ces tendances assez répandues (ce qui n'exclue évidemment pas certaines exploitations défaillantes ou moins performantes que d'autres), il est possible de veiller à respecter une série de prescriptions visant à limiter plus encore les risques de lessivage : compostage systématique du fumier, implantation réussie de Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrate (CIPAN) sur les sols nus à l'automne, y compris parfois en interculture courte, adaptation des apports azotés aux résultats des bilans (mesure des reliquats), rotations d'au moins 5 ans¹⁹,

culture de printemps après le retournement hivernal (plutôt qu'automnal) des prairies temporaires, le retournement hivernal laissant une période plus courte pour les lixiviations nitriques après retournements que s'il est effectué trois à quatre mois plus tôt.

C'est surtout visiblement dans les exploitations de polyculture-élevage de chargement limité (observations concernant des exploitations bio de polyculture-élevage dans le bassin parisien ; Anglade *et al.*, 2015b) que l'efficacité d'utilisation de l'azote semble particulièrement grande, et les pertes d'azote faibles. La ré-intégration de l'élevage sous forme d'élevage autonome limitant les apports d'aliments protéinés non produits par l'exploitation, dans les régions de grandes cultures, dont il a été souvent éliminé pour se concentrer dans des régions spécialisées en productions animales, serait donc un moyen de réconcilier agriculture et protection des eaux en zones de grandes cultures (Anglade *et al.*, 2013), tout en délestant les régions d'élevage d'une partie de leur cheptel excédentaire²⁰. Dans les premières, le retour à une meilleure complémentarité entre céréaliculture et élevage permettrait de valoriser les productions de légumineuses têtes de rotation bio, et d'améliorer la structure du sol par une fertilisation à base de fumier et de compost. Dans les régions d'élevage, la réduction de la densité de cheptel au niveau de la capacité locale de production de fourrage est la seule manière d'éviter les excédents structurels, causes de pollution des nappes, des rivières et des eaux côtières. Dans une situation expérimentale de polyculture-élevage en Lorraine (l'installation expérimentale Inra de Mirecourt), les résultats de la conversion à l'agriculture biologique montrent une diminution par deux du bilan azoté à l'échelle du système de production, même si des diversités entre zones fonctionnelles restent marquées (Barataud *et al.*, 2015)²¹.

En ce qui concerne l'utilisation du cuivre, souvent reprochée à l'agriculture biologique, celle-ci se limite à certaines cultures et resterait inférieure à 6 kg/ha/an, limite inférieure aux conduites conventionnelles, en particulier en situations viticoles. Au-delà de ces diverses considérations, la non-utilisation des pesticides implique en soi un certain nombre de pratiques favorables à la qualité de l'eau, telles que l'implantation de haies abritant des ressources en biodiversité, et captant des lixiviations nitriques profondes, limitant l'érosion et l'évapotranspiration. En élevage, l'agriculture biologique implique des élevages de taille « raisonnable » étant donné que l'usage d'antibiotiques est proscrit (sauf exception autorisée une fois l'année), ce qui limite les concentrations d'animaux. Ces obligations limitent donc, voire suppriment quasiment le rejet d'antibiotiques aux milieux naturels, ainsi que les situations « d'excédent structurel » dont souffrent certaines régions.

Finalement, en termes d'impact global sur l'eau, Girardin et Sardet (INRA 2003) ont montré que, parmi les différents cahiers des charges existants (Quali'terre, FARRE, protection intégrée suisse, AB), celui de l'agriculture biologique limite le plus les risques de pollution des eaux. On peut également évoquer les « success stories » de Vittel, Toucy et

¹⁸Cela pose néanmoins la question de l'usage de cette production herbagère, et, en cas de conversion d'une grande partie des cultures à l'herbe, de l'équivalence de production. Toutefois des scénarios tels qu'Afterres2050 montrent que des compromis entre herbe et cultures, en tenant compte des pratiques, peuvent à la fois permettre de respecter les objectifs de souveraineté alimentaire et de qualité de l'eau.

¹⁹L'effet de cette rotation porte d'une part sur le lessivage des pesticides, utilisés en moins grande quantité du fait de la rotation, ainsi que sur le lessivage de l'azote si les rotations utilisent à plein la complémentarité entre cultures successives.

²⁰ Ces modifications incitent à des réflexions régionales rigoureuses sur de nouvelles filières de production animales relocalisées. Ces filières devraient être soutenues pour leur fonction écosystémique de protection des ressources en eau.

²¹ Cette référence mobilise une méthode des bilans agronomiques à la parcelle, ensuite synthétisée sur l'ensemble des parcelles concernées (méthode détaillée dans la publication citée).

Montenoy (Benoît et Merle, 2013), de Lons le Saunier et de München. Dans ce dernier cas, la municipalité a su très tôt protéger préventivement ses ressources en eau destinées à la potabilisation, en incitant les agriculteurs à se convertir à la bio.

Par ailleurs, l'intérêt présenté par l'agriculture biologique par rapport à l'eau semble présenter une caractéristique de durabilité. En effet, impliquant un changement de système, un bouleversement du rapport de l'agriculture à la nature (par rapport aux pratiques conventionnelles), et l'inscription dans une filière différente en termes d'intrants, de conseil et de débouchés, la conversion à l'agriculture biologique induit un changement profond qui laisse augurer une forte irréversibilité des choix de l'exploitant, limite le risque de retour en arrière (même si de telles situations existent et devront être étudiées pour en limiter au maximum l'ampleur). De plus, être certifié AB implique un contrôle annuel par un organisme indépendant, qui garantit l'application du cahier des charges (contrairement à d'autres « efforts » pour l'environnement donnant lieu à des contrôles moins exigeants).

Pour toutes ces raisons, l'agriculture biologique paraît une solution intéressante pour préserver voire améliorer durablement la qualité de l'eau et celle des milieux aquatiques. Cependant, le respect du cahier des charges de l'AB impose des contraintes fortes par rapport à l'agriculture conventionnelle : d'une part, d'importants changements en matière de savoir-faire, d'organisation du travail, de débouchés, qui impliquent l'acquisition de compétences, d'informations, l'insertion dans des réseaux qui ne sont pas toujours suffisamment développés, d'autre part une main d'œuvre plus importante (2,5 UTA en moyenne contre 1,4 en conventionnel²²) ce qui, bien que représentant un atout dans un contexte de fort taux de chômage et de désertisation de certains espaces ruraux, constitue une contrainte forte, étant donné le coût élevé du travail.

Au-delà de ces contraintes, le lent développement de l'agriculture biologique, en France, contrairement à nombre de pays européens, induit aujourd'hui des problèmes de collecte, de débouchés insuffisants, et d'insertion sociale des agriculteurs (par exemple par rapport à un voisinage critique par rapport à ce type de démarche).

Pour conclure, trois difficultés restent majeures par rapport au développement de systèmes agricoles favorables à la qualité de l'eau

Prendre le temps long à bras le corps malgré des choix globalement dictés par des fluctuations économiques à court terme

La pollution agricole des eaux souterraines était déjà prédite dans le rapport Hénin de 1980 sur base de la connaissance de la modification des assolements et des techniques culturales. Rectifier les conséquences de cette modernisation maintenant acquise exige du temps, toute une chaîne de délais sont à prendre en compte (Ramon et Benoît, 2014) :

- La prise de décision par l' élu local, qui doit « affronter » les agriculteurs, ce qui ne signifie pas leur imposer des change-

ments mais fixer des changements ambitieux, et qui doit « affronter » également les consommateurs (pour compenser l'effort demandé). Il faut tous les convaincre du bien-fondé du principe de prévention, faire preuve d'obstination, ne pas pencher vers la facilité du raccordement à un syndicat voisin, dans les cas de captages d'eau potable. Nous sommes sur des projets de territoires qui dépassent largement la durée d'une mandature.

- L'élaboration des propositions, l'accord des tutelles, les financements et la mise en œuvre sont des étapes très chronophages.

- L'effet sur la nappe qui n'apparaît qu'après 5 à 10 ans dans les exemples cités, parfois bien plus. Il est clair que la protection des sources d'eau vis-à-vis des activités humaines exige beaucoup de patience (Boiffin et al., 2014). C'est une action pérenne qui n'est jamais définitivement acquise.

Dépasser les verrouillages socio-techniques

Plusieurs auteurs comme Baret et al.²³, Meynard et al. (2013) ou Ricci et al. (2011), pointent un verrouillage socio-technique, c'est-à-dire un renforcement mutuel des acteurs par rapport aux systèmes dominants, qui empêche différentes formes d'agroécologie de se développer. L'agriculture biologique peine ainsi à dépasser 4% de la SAU nationale (en 2014) pour un objectif visé de 20% en 2020, en dépit d'une augmentation constante de la demande en produits bio (en moyenne de 10% par an depuis plusieurs décennies). Notons que la résistance à ce type de changement s'appuie souvent sur un argument relatif à l'éventuelle incapacité de l'agriculture biologique à « nourrir le monde ». Cette question a pourtant été étudiée à différentes échelles, par exemple au niveau mondial (rapport *Agriculture biologique et sécurité alimentaire* de la FAO en 2007²⁴), ou national (Solagro, 2013²⁵, POUR, 2012).

Mesurer sans relâche les effets des systèmes de culture sur les ressources en eau

Pour apprécier les processus liés à la pollution agricole et aussi pour être crédible auprès des agriculteurs et des citoyens, il faut des moyens de mesure adaptés des relations « pratiques-qualité des eaux ». Nous disposons de trois méthodes de mesures in situ : les drains agricoles, les lysimètres, les bougies poreuses, ou encore, faute de mieux, des reliquats entrée hiver. Dès la fin du 19^{ème} siècle, Paul Sabatier utilisait des drains agricoles pour suivre l'évolution des nitrates sous les champs (Sabatier, 1890), des lysimètres furent installés en 1898 à la Station Agronomique de Tomblaine par Nicolas Grandeau (Knittel et al., 2000) et les bougies poreuses validées en 1969 (Feodoroff et Ballif, 1969). A nous maintenant d'amplifier un effort encore très insuffisant de validation in situ des effets des transformations agricoles sur les ressources en eau. L'intérêt d'expériences suivies avec soin est plus que jamais à l'agenda des agronomes (CGAER, 2011).

²³<https://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/136905/1/Baret%20Stassart%202013%20lock-in.pdf>

²⁴Ce rapport affirme notamment que « l'agriculture biologique a le potentiel de satisfaire la demande alimentaire mondiale, tout comme l'agriculture conventionnelle d'aujourd'hui, mais avec un impact mineur sur l'environnement »

²⁵Le scénario *Afterres2050* montre qu'une forte augmentation de l'agriculture biologique en France ne remettrait en cause ni la souveraineté alimentaire nationale, ni l'économie de l'agriculture, mais pourrait au contraire permettre une autosuffisance et des échanges extérieurs, tout en permettant de protéger l'environnement, avec des impacts très réduits sur l'eau, et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

²²http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4_Chiffres/BrochureCC/CC2012_Chap4_1_Prod.pdf

Remerciements

Nous remercions les collègues du Conseil scientifique du Comité de bassin Seine-Normandie pour leurs apports lors des riches discussions sur la thématique agricole, qui ont donné certaines bases argumentaires exposées ici, ainsi que Gilles Billen (UPMC) pour les idées apportées lors de l'écriture de cet article.

Références bibliographiques

ADEME, 2015. Agriculture & environnement, fiche n°2, Optimiser la fertilisation azotée. Références. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/3-optimiser-la-fertilisation-azotee-reference-ademe-8183.pdf>.

AESN, 2011. *Evaluation de la politique de l'Agence Seine-Normandie en faveur de la maîtrise d'usage des sols à long terme sur les aires d'alimentation de captage en eau potable* http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Expert/Evaluation/synt_eval_politique_captages_AESN.pdf.

AESN, 2013. *Etat des lieux 2013 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands*. http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Flipbook_EDL_COMPLET/sources/indexPop.htm.

ANGLADE J., LOISEAU, J.-B., LEMAIRE, A., GAILLARD O. et CHAEGARD L., 2015a. L'eau dans la campagne urbaine : L'AAC de Flins-Aubergenville. Rapport du phase 6 du PIREN-Seine.

ANGLADE J., BILLEN G., GARNIER J., MAKRIDIS T., PUECH T., TITTEL C., 2015b. *Nitrogen soil surface balance of organic vs conventional cash crop*. *Agricultural Systems* 139, 82-92.

ANGLADE, J., BILLEN, G., DE MARSILY, G., BENOIT, M. et BARRAQUE, B. (2013) *Le BAC de la Plaine du Saulce (Auxerrois) : Analyse de la pollution agricole diffuse et esquisse de propositions pour un plan d'action à long terme*. Rapport PIREN-Seine 2012. www.piren-seine.fr/.

BARATAUD, F., FOISSY, D., FIORELLI, J.-L., BEAUDOIN, N., BILLEN, G. (2015). . Conversion of a conventional to an organic mixed dairy farming system : consequences in terms of N fluxes. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39 (9), 978-1002. DOI : 10.1080/21683565.2015.1067940.

BENOIT M., BRUNOD M, GARNIER J., BILLEN G., TOURNEBIZE J., GRÉHAN E. (2015). *Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an organic and a conventional cropping system (Seine basin, France)*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 213. 131-141.

BENOIT M., GARNIER J, ANGLADE J, BILLEN G. (2014). *Nitrate leaching from organic and conventional arable crop farms in the Seine Basin (France)*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*.

BENOIT, M, GARNIER, J. BILLEN, G., MERCIER B, AZOUGUI, A. ANSART, P. & TOURNEBIZE, J. (2013) *Concentrations et flux sous-racinaires en agriculture biologique. Mise en place d'un observatoire du lessivage du nitrate (Bassin de la Seine)*. Rapport PIREN-Seine 2012. www.piren-seine.fr/.

BENOIT ET MERLE (2013) *Actions réussies de protection agronomique des captages d'eau potable en France depuis 1990*, Action ONEMA - INRA n°11. 86 pages.

BILLEN G., J. GARNIER, M. BENOÎT, M., J. ANGLADE (2013), *The nitrogen cascade in arable crop areas of the North of France*, *Cahiers de l'Agriculture*, 22, PP. 272-281.

BOIFFIN J., BENOÎT M., LE BAIL M ; PAPY F. ; STENGEL P., 2014. *Agronomie, espace, territoire : travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie*. *Agricultures* 23 (2) : 72-83. DOI : 10.1684/agr.2014.0688.

BILLEN G., GARNIER J., THIEU V., PASSY P., RIOUSSET P., SILVESTRE M., THERY S., VILAIN G., BILLY C. (2012). *La cascade de l'azote dans le bassin de la Seine. Comprendre les processus pour inverser les tendances*. Collection du PIREN-Seine, n°15. AESN. ISBN 978-2-918251-14-9. 57 pp.

CGAER, 2011 *Etudes de cas - Appropriation des enjeux et mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau (DCE) dans le secteur agricole Enseignements à partir de six études de cas* http://www.reseaurural.fr/centre-de-ressources/recherche/etudes-de-cas-appropriation-des-enjeux-et-mise-en-oeuvre-de-la-direct?search_source=taxonomy%2Fterm%2F3261.

CGDD, 2011, *Etudes et documents n°52. Le coût des principales pollutions agricoles* <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED52-2.pdf>.

CGEDD, 2013. *Evaluation de la politique de l'eau*.

CONSEIL D'ETAT, 2011. *L'eau et son droit*. <http://www.conseil-etat.fr/Decisions-Avis-Publications/Etudes-Publications/Rapports-Etudes/L-eau-et-son-droit>.

COUR DES COMPTES, 2015. *Rapport Public annuel 2015. Les agences de l'eau et la politique de l'eau : une cohérence à retrouver*. <https://www.ccomptes.fr/Publications/Publications/Rapport-public-annuel-2015>.

COUR DES COMPTES, 2010. *Rapport Public annuel 2010. Les instruments de la gestion durable de l'eau*. <http://www.ccomptes.fr/fr/Publications/Publications/Rapport-public-annuel-2010>.

BRUN A., 2003. *Aménagement et gestion des eaux en France : l'échec de la politique de l'eau face aux intérêts du monde agricole*. *Vertigo*. Vol. 4, N° 3. Disponible en ligne sur <http://vertigo.revues.org/3779>.

COCHET H., DEVIENNE S., 2002. *La mise en place des contrats d'exploitation dans la Meuse*. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*. N° 47, pp. 27-41.

DAYON, G., 2015 *Evolution du cycle hydrologique sur la France au cours des prochaines décennies*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse. 223 p.

- DIRECTION GENERALE DE LA SANTE, 2012. *Abandons de captages utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine*. Bilan février 2012. 20 p. <http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/bilo212.pdf>.
- DRINKWATER, L.E., WAONER, P., SARRANTINIO, M., 1998. *Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses*. Nature. 396, 262-265.
- Eaufrance, service public d'information sur l'eau, juin 2015. *L'état des eaux de surface et des eaux souterraines*. Les synthèses, n°12. 12 p.
- FEODOROFF A., BALLIF JL. 1969. *Etude de l'infiltration in situ à l'aide de tensiomètres*. Ann. Agron. 20 (5) : 475-504.
- FNAB, 2006. *Mise en place et analyse d'une collecte de données agro-environnementales sur les pratiques de l'agriculture biologique*. Travail effectué à la demande du MEDDE. 73 p.
- GARNIER J., BILLEN G., VILAIN G., BENOIT M., PASSY P., TALLEC G., TOURNEBIZE J., ANGLADE J., BILLY C., MERCIER B., ANSART P., AZOUGUI A., SEBILO M., KAO C. (2014) *Curative vs. Preventive management of nitrogen transfers in rural areas : Lessons from the case of the Orgeval watershed (Seine River basin, France)*. Journal of Environmental Management 144, 125-134.
- GERVASONI V., 2003. *Les outils de la PAC (CTE, CAD, MAE), portée et limites*. Gestion conventionnelle des espaces naturels : bail rural-bail nature ? Journée d'étude et d'échange organisée par la SFDE, Strasbourg, le 22 mai 2003.
- GIRARDIN P., SARDET E., 2003. *Assessment of environmental standards for arable farms*. In : J. Gerald & Dorothy R. Friedman : *Ecolabels and the greening of the food market*. School of nutrition science and policy, Tufts University, Boston, MA, 1997-205.
- GUILLOU M., (2013). *Le projet agro-écologique : vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement, Propositions pour le ministre*. INRA - Agreenium.
- HENIN S., 1980. *Activités agricoles et qualité des eaux : rapport du groupe de travail, rédigé pour le ministère de l'agriculture et le ministère de l'environnement*.
- INRA, 2010, *Ecophyto R& D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ?*. http://www.inra.fr/presse/ecophyto_rd_quelles_voies_pour_reduire_usage_des_pesticides.
- JEUFFROY MH., MEYNARD JM., DE VALLAVIEILLE-POPE C., BELHAJ FRAJ M., SAULAS P., 2010. *Les associations de variétés de blé : performances et maîtrise des Maladies*. Sélectionneur Français, 61, 75-84.
- JUSTES E., BEAUDOIN N., BERTUZZI P., CHARLES R., CONSTANTIN J., DÜRR C., HERMON C., JOANNON A., LE BAS C., MARY B., MIGNOLET C., MONTFORT F., RUIZ L., SARTHOU J.P., SOUCHÈRE V., TOURNEBIZE J., SAVINI I., RÉCHAUCHÈRE O., 2012. *Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques*. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 60 p.
- JONAS H., 1979. *Le principe responsabilité : une éthique pour la civilisation technologique - traduction française* éd. du Cerf 1990. https://fr.wikipedia.org/wiki/Le_Principe_responsabilit%C3%A9
- KOEPF H., 1973. *Organic management reduces leaching of nitrate*. Biodynamics. 108, 20-30.
- KNITTEL F., BENOÎT M., CUSSENOT M, 2000. « Roville, 1822-1842, naissance de l'enseignement agricole français », *Les enjeux de la formation des acteurs de l'agriculture, 1760-1945*, Actes du colloque ENESAD, 19-21 janvier 1999, Dijon, Educagri, 2000, p. 91-99.
- KRISTENSEN S.P., MATHIASSEN J., MADSEN H.B., REENBERG A., 1994. *A comparison of the leachable inorganic nitrogen content in organic and conventional farming systems*. Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. B., Plant Soil Sci. 44,19-27.
- LARRAMENDY S., 2002. *Agriculture biologique et qualité des eaux*. ENSAIA-INRA SAD Mirecourt. 39 pages + annexes.
- LIMAUX F., 1994. *Facteurs de variation du coefficient apparent d'utilisation de l'azote de l'engrais : conséquences pour la conduite de la fertilisation azotée du blé d'hiver en Lorraine*. INP Lorraine. 224p + annexes.
- MEEDTL, 2011. *Elaboration et évaluation des stratégies d'adaptation au changement climatique en France face à l'évolution des hydrosystèmes et des milieux côtiers à l'horizon 2050-2070* <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html>.
- MEYNARD J.M., MESSEAN A., CHARLIER A., CHARRIER F., FARES M., LE BAIL M., MAGRINI M.B., SAVINI I., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures*. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.
- POUR, 2012. N°213. *Eau et agriculture : quels défis aujourd'hui et demain ?*
- POUX X. (coord.), 2006, *Agriculture, environnement et territoires*. Quatre scénarios à l'horizon 2025, Paris, La documentation Française, 222 p.
- RAMON S., BENOIT M., 2014. *La compatibilité de l'agriculture avec la qualité des nappes*. Retour d'expériences. Géologues. N° 183 : 41-46.
- RICCI P., LAMINE C., MESSEAN A., 2011. *La protection intégrée des cultures : un nécessaire changement de paradigme*, Revue AE&S vol.1, n°1, 4.
- SABATIER P., 1890. *Leçons élémentaires de chimie agricole*. Masson, Paris & Gimet-Pisseau, Toulouse, éditeurs. 276 pages.
- SOLAGRO, 2013. *Afterres2050. Un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050*. 63 p.
- SUTTON M.A., HOWARD C.M., ERISMAN J.W., BILLEN G., BLEEKER A., GRENNFELT P., VAN GRINSVEN H., GRIZZETTI B., 2011. *The European nitrogen assessment: sources, effects*

and policy perspectives, Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.

THIEU, V., GARNIER, J., BILLEN, G., 2010. *Assessing the effect of nutrient mitigation measures in the watersheds of the Southern Bight of the North Sea*. *Science of the Total Environment*. 408: 1245-1255.

THIEU, V., BILLEN, G., GARNIER, J., BENOIT, M., 2011. *Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds*. *Regional Environmental Changes*. 11: 359-370.

URBANO G. et VOLLET D., 2005. *L'évaluation du Contrat Territorial d'Exploitation (CTE)*. *Notes et études économiques*. N°22, pp. 65-110.