

Conclusions

Auteurs

Pierre Cellier

Jean-Louis Peyraud

Avec la contribution de l'ensemble des experts

Conclusions du rapport d'expertise

<i>L'état des connaissances sur l'azote en élevage</i>	521
<i>Des pistes de progrès identifiées à l'échelle de l'exploitation... ..</i>	522
<i>...et à l'échelle des territoires.....</i>	523
<i>Des besoins de recherches identifiés.....</i>	525
<i>Sigles et acronymes.....</i>	526

Conclusions du rapport d'expertise

L'état des connaissances sur l'azote en élevage

L'expertise a mis en avant le rôle majeur de l'élevage dans les flux d'azote et les des impacts potentiels sur l'environnement qui en résultent. En France, les apports annuels d'azote pour fertiliser les sols proviennent pour un peu plus de la moitié des engrais de synthèse (2 110 kt), pour un peu moins de la moitié des effluents d'élevage (1 820 kt) et la fixation symbiotique d'azote par les légumineuses représente un peu plus de 500 kt. Plus des 3/4 de l'azote est utilisé pour la production d'aliments pour animaux qui utilisent 70% de la biomasse végétale produite. Mais le territoire national n'est pas homogène et la pression en azote organique et minéral varie fortement en fonction de l'orientation agricole des cantons français. Les plus fortes pressions azotées se situent dans territoires qui combinent des productions de ruminants et de monogastriques, les quantités d'azote contenues dans les effluents y dépassant parfois largement les capacités d'absorption des surfaces agricoles sur lesquelles elles peuvent être épandues et valorisées par les végétaux. Inversement d'autres territoires d'élevage, plus extensifs, connaissent des pressions azotées très faibles. Sur les territoires les plus chargés en animaux, les effluents des animaux ne trouvent plus autant d'usages agronomiques sur place. Le tournant environnemental, conduit par des mouvements associatifs, a été renforcé par le phénomène de rurbanisation et a contribué à transformer la question du nitrate en problème de pollution. L'expertise a permis d'éclairer plusieurs aspects :

La concentration spatiale des élevages a un rôle déterminant dans les impacts des pollutions azotées. Le mouvement de concentration géographique de certaines filières d'élevage a souvent été mis en avant comme un élément déterminant des excédents d'azote dans les zones d'élevage. Les moteurs de cette évolution ont été étudiés dans la littérature scientifique. Ils sont de natures technique, économique et juridique. La littérature pointe la difficulté de sortir d'une trajectoire d'intensification et de spécialisation, notamment parce que le fonctionnement technique et économique des acteurs des filières - producteurs d'intrants, éleveurs, transformateurs - sont étroitement liés.

La question de l'azote ne se réduit pas à celles du nitrate, les émissions de NH₃ constituent aussi un enjeu fort. L'ammoniac, d'abord étudié pour son rôle dans l'acidification et l'eutrophisation des milieux, est aujourd'hui examiné dans le cadre de la pollution de l'air par les particules à l'échelle régionale. La contribution de l'élevage aux émissions nationales est de 80% si les seules émissions issues des effluents d'élevage sont comptabilisées, et jusqu'à 90% si on tient compte du fait qu'une grande partie des engrais industriels est employée sur les cultures utilisées pour produire des aliments destinés aux animaux. Le premier contributeur est l'élevage bovin, mais il présente aussi des modes de conduite à même de réduire le potentiel d'émissions, comme l'utilisation du pâturage. Alors qu'en France, la question du nitrate a longtemps focalisé les débats, dans certains pays d'Europe du Nord, l'ammoniac est de longue date au centre des préoccupations.

Risques et impacts dépendent des territoires. Un même niveau de pression azotée peut conduire à des impacts environnementaux différents selon la sensibilité du milieu et sa capacité à valoriser ou éliminer l'azote apporté par les effluents des animaux. Les teneurs en nitrate des eaux ne dépendent en effet pas seulement du niveau de surplus des bilans azotés mais aussi de la sensibilité des territoires (climat, types de sol...) et des modes d'occupation des sols (densité animale, part des terres agricoles dans les utilisations totales des surfaces, importance des prairies permanentes...). En particulier, la présence largement majoritaire de prairies au sein des territoires réduit les risques pour l'environnement, à la fois celui de fuites de nitrate et celui d'émissions d'ammoniac. En outre, d'autres sources de variations rarement quantifiées peuvent jouer un rôle dans l'impact des excédents d'azote sur l'environnement : stockage d'azote dans le sol, autres pertes gazeuses, inhibition de la nitrification, allongement des temps de résidence dans les aquifères...

Efficiences de l'azote faible et variable en fonction de l'échelle où elle est évaluée. L'efficacité, c'est-à-dire le rapport entre les sorties valorisées et les entrées d'azote, calculée au niveau de l'animal est globalement faible : moins de la moitié de l'azote ingéré se retrouve dans le lait, les œufs ou la viande sous forme de protéines ; la majeure partie de l'azote étant donc rejetée dans l'environnement. A l'échelle de l'exploitation d'élevage, l'efficacité d'utilisation des intrants azotés s'accroît du fait du recyclage des déjections animales et de leur valorisation agronomique ; elle reste néanmoins faible (généralement inférieure à 50%) et très variable. Les systèmes de productions animales se caractérisent par des apports d'azote (aliments, engrais, fixation symbiotique pour les principales) et des émissions (nitrate, NH_3 , N_2O , N_2) vers l'environnement très diversifiés, des flux entrant qui se combinent à des flux internes au sein du système qui sont étroitement liés. Au final, la recherche d'efficacité doit prendre en compte l'ensemble du système : une amélioration à l'échelle d'un maillon (par exemple, au stade de l'alimentation animale) pouvant entraîner une dégradation sur un autre maillon et donc ne pas se traduire par l'amélioration globale de l'efficacité à l'échelle de l'exploitation. La littérature montre également que, de manière générale, plus un système est productif par unité de surface, plus le risque de fuites d'azote vers l'environnement est important.

Le cadre d'analyse de la « cascade de l'azote » rend compte de la dynamique des flux d'azote issus des élevages. La transformation des produits végétaux par les animaux est partie intégrante du cycle biogéochimique de l'azote et c'est ainsi que les scientifiques ont longtemps abordé les flux d'azote en agriculture. La cascade de l'azote fournit un cadre d'analyse qui permet d'explicitier les relations entre les systèmes de production animale et l'environnement : elle met en évidence toute la chaîne de transferts et de transformation de l'azote réactif dans les différents compartiments de l'environnement (et toute la chaîne d'impacts qu'il occasionne à différents niveaux. Dans cette cascade, la consommation de produits végétaux par les animaux génère des composés azotés très mobiles et réactifs (urée, azote ammoniacal et nitrique, acides aminés) qui vont se retrouver plus ou moins rapidement sous forme de nitrate dans l'eau, d'ammoniac et de protoxyde d'azote dans l'atmosphère. La cascade de l'azote rend également compte de la variabilité des flux d'azote dans les systèmes de production et montre notamment que les différentes formes d'azote réactif doivent être considérées à des niveaux spécifiques, du niveau très local pour les impacts sur un écosystème sensible voisin (par exemple avec les dépôts de NH_3), au régional pour les impacts sur la qualité des eaux et de l'air (NH_3 , NO_3) et niveau au global pour le changement climatique (émissions de N_2O).

L'encadrement juridique complexe n'a pas permis d'atteindre les objectifs de réduction des pollutions. La réglementation concerne aujourd'hui une multiplicité de zonages, la législation sur les installations classées et a concerné des programmes pour inciter aux démarches volontaires (PMPOA par exemple). Une longue série de rapports, y compris ceux émanant des services de l'état, et de publications a montré que le dispositif français n'a pas permis d'atteindre les objectifs de la directive cadre sur l'Eau. Parmi les difficultés il faut mentionner le caractère diffus des pollutions qui n'a pas incité à une responsabilité individuelle des éleveurs (à la différence d'autres pays), l'intégration de préoccupations économiques et sociales dans les politiques environnementales, le suivi des objectifs environnementaux qui a été confié aux acteurs du développement agricole. Enfin les politiques concernent des échelles administratives qui sont peu pertinentes vis-à-vis du réseau hydrographique. De plus, l'importance des sources de pollution azotées gazeuses relativement aux formes véhiculées par les eaux, pose la question de la cohérence d'ensemble des politiques et notamment entre les critères de la directive « Nitrates » et ceux la Convention de Genève, ainsi que la convergence de l'évolution du code des bonnes pratiques agricoles et des différents plafonds d'émissions.

Des pistes de progrès identifiées à l'échelle de l'exploitation...

La littérature fournit de nombreuses pistes d'actions pour mieux valoriser l'azote. Les marges de progrès visent à limiter les sources d'inefficacité aux niveaux des différents ateliers (troupeaux, bâtiments, stockage et épandage des effluents, systèmes de cultures et systèmes fourragers) et les risques de transferts de pollution entre les ateliers.

Une démarche d'optimisation des pratiques. S'il est encore possible de réduire les apports protéiques aux animaux, les gains escomptés sont modestes dans la mesure où des progrès importants ont déjà été accomplis ces quinze dernières années en matière de nutrition azotée. En revanche, la maîtrise de l'ensemble de la chaîne de gestion des effluents est une voie majeure pour préserver l'azote et réduire les achats d'engrais minéraux. En effet, les émissions peuvent varier de 30 à 75% de l'azote émis par les animaux, selon les modalités de gestion des effluents. Des mesures techniques et des innovations sont d'ores et déjà disponibles pour limiter les émissions, en particulier celles de l'ammoniac en bâtiment, pendant le stockage et lors de l'épandage, même s'il reste encore des incertitudes scientifiques concernant les émissions et leur facteurs de variation. Des gains d'efficacité peuvent aussi être obtenus au niveau des productions végétales. Le développement des prairies à base de légumineuses peut y contribuer. Le rôle positif des cultures intermédiaires pièges à nitrates (Cipan) et la possibilité d'ajuster les rotations pour réduire les risques de lixiviation du nitrate sont démontrés. Les systèmes de culture permanents sont également une piste intéressante qui nécessite cependant encore un effort de recherche et de recherche-développement, les techniques de semis sous couvert étant encore imparfaitement maîtrisées. Les systèmes à bas intrants réduisent l'entrée d'azote exogène (fertilisants, aliments riches en protéines), maximisent le recyclage interne de l'azote et utilisent davantage les légumineuses et la prairie. Cette orientation peut abaisser la productivité des surfaces, sans pour autant affecter le revenu de l'éleveur. L'agriculture biologique présente ainsi des pertes d'azote toujours moindres par unité de surface qu'en système conventionnel. Cette voie d'action a été mise en œuvre dans plusieurs territoires où la reconquête de la qualité des eaux a été reconnue comme l'objectif prioritaire.

Les indicateurs de type bilan d'azote à l'échelle de l'exploitation et de ses sous-systèmes troupeau, gestion des effluents, sols et cultures, seraient des outils adaptés pour mettre en œuvre des démarches intégrées à l'échelle de l'exploitation visant à détecter les sources majeures d'inefficacité et rechercher les solutions les mieux adaptées localement. Il existe bien d'autres indicateurs qui permettent notamment d'approcher les niveaux d'émissions, de pollution ou les impacts. Mais ces indicateurs ne sont pas toujours d'usage facile car ils se fondent soit sur des mesures de terrain (mesures directes de reliquats azotés par exemple), soit sur des sorties de modélisation nécessitant une description des sols et du milieu ainsi que des données fournies par les agriculteurs.

...et à l'échelle des territoires.

Dans les territoires supportant de fortes charges animales et/ou particulièrement vulnérables face à la charge en azote organique (zones de captage d'eau, bassins versants sensibles aux marées vertes...), l'optimisation de l'utilisation de l'azote ne suffit pas pour réduire sensiblement les teneurs en nitrates des eaux. L'obtention de gains en théorie significatifs sur les impacts demande une réorganisation en profondeur de l'activité agricole.

Prendre en compte la vulnérabilité particulière de certains milieux ou améliorer leur capacité à épurer. Dans les territoires présentant une vulnérabilité ou des enjeux environnementaux majeurs, la littérature rapporte plusieurs expériences de réorganisation complète de l'activité agricole sur le territoire, avec un développement de la forêt, des prairies et de systèmes à bas intrants ou d'agriculture biologique. Ces initiatives locales nécessitent une concertation entre acteurs et un système de compensation de la baisse de la production agricole : les éleveurs sont alors rémunérés par le commanditaire qui peut être un acteur privé de l'eau ou une collectivité territoriale.

A l'échelle des territoires, la littérature montre que des approches paysagères permettraient de valoriser les capacités épuratrices du milieu : les zones humides, naturelles ou construites, ont la capacité à réduire des quantités significatives de nitrate, et des bandes boisées permettent de capter une fraction notable de l'ammoniac émis par des bâtiments. La mise en œuvre de ces options pose toutefois la question du devenir de l'azote ainsi capté ou transformé, et celle de la gestion collective de ces espaces à fonctions partagées.

Au sein des régions en excédent, le traitement des effluents d'élevage en vue de leur exportation. Le traitement technologique des effluents d'élevage ouvre des marges de manœuvre pour une meilleure gestion des équilibres entre territoires. Il vise à produire des engrais organiques normalisés et commercialisables afin de pouvoir plus facilement exporter ces produits (l'azote, mais aussi le phosphore) vers d'autres régions, notamment

de grande culture, où ils pourraient se substituer à une partie, au moins, des engrais minéraux. Cette solution, qui est déjà appliquée par quelques acteurs, reste encore insuffisamment étudiée ; la compétitivité de telles filières de traitement reste aussi notamment à évaluer, en comparaison de celle de la production des engrais minéraux. Cette évolution est toutefois susceptible de contribuer à accentuer la concentration des élevages si la rentabilité des processus de traitement exige une plus forte concentration géographique de matière première, c'est-à-dire d'effluents.

Déconcentrer les élevages : une possibilité à analyser au cas par cas. La cohérence économique du modèle actuel, caractérisé par la concentration territoriale et régionale des élevages rend peu réalistes des propositions d'évolution qui s'écarteraient radicalement de ce « modèle ». La littérature scientifique, bien que peu développée sur cette question, pointe néanmoins des pistes à partir d'un déplacement géographique partiel des productions, visant à diminuer le chargement animal et donc la charge azotée sur certains territoires. De telles relocalisations existent dans les pays du Nord de l'Europe (principalement en élevage porcin), elles pourraient s'envisager sur d'autres filières et à des échelles diverses, très locales (entre cantons proches) ou entre des territoires plus distants au niveau national. Ces approches au cas par cas pourraient permettre de rétablir des équilibres territoriaux. Il ne faut toutefois pas minimiser les difficultés de mise en œuvre, les transferts d'effluents ou l'installation de nouveaux élevages posant des questions de perception et des problèmes de tolérance dans les territoires d'accueil.

Des outils pour favoriser et accompagner les changements

Subventions, taxes ou quotas ? La littérature économique montre les subventions à la dépollution, surtout si elles ne sont pas limitées dans le temps, orientent vers certaines technologies (par exemple, la résorption de l'azote par un traitement aérobique des lisiers de porc) en baissant leur coût d'utilisation ; elles n'incitent donc pas les producteurs à rechercher les voies de résorption les moins coûteuses et finissent par donner un avantage compétitif à des systèmes non durables. Le subventionnement du traitement du lisier a ainsi conduit à généraliser cette pratique même dans les élevages où il n'était pas rentable. A l'inverse, la subvention peut, à titre transitoire, favoriser la prise initiale de risque pour la mise en œuvre de pratiques allant au-delà des recommandations de bonnes pratiques et des normes. La taxe est un moyen d'appliquer le principe de responsabilité environnementale. La taxation systématique des intrants azotés, notamment minéraux, apparaît facile à mettre en œuvre, mais elle devrait être fixée à un niveau élevé pour être efficace, c'est-à-dire pour conduire à des réductions significatives des pertes d'azote, ce qui aurait un impact collatéral élevé sur la rentabilité des exploitations. D'ailleurs son principe a été abandonné dans plusieurs pays.

L'alternative à la taxe est une politique de quotas (fixation d'un niveau maximal de surplus d'azote) qui permet d'atteindre un résultat environnemental avec certitude, à condition d'être respectée. Elle peut être différenciée en fonction de la sensibilité des milieux et des territoires. Les coûts de contrôle d'une politique de quotas peuvent être élevés. L'association d'une politique de quotas couplée à des pénalités en cas de dépassement est une option privilégiée par la littérature, car elle s'inscrit dans un marché des quotas où le jeu de l'offre et de la demande permet des échanges pour éviter les pénalités. Toutefois, les zones concernées sont déjà fortement saturées en azote, ce qui peut limiter les possibilités d'un tel marché de droits.

Des travaux en économie développent une série d'arguments montrant que la régulation environnementale pourrait être plus efficace si elle s'appliquait également au niveau de la filière. En effet, l'industrie des filières animales s'approvisionne souvent auprès d'éleveurs localisés dans des cantons excédentaires en azote, sans pour autant être tenue d'internaliser les impacts environnementaux des activités d'élevage. En outre les acteurs sont moins nombreux, ce qui réduit les coûts de transaction pour les pouvoirs publics.

Outils pour un zonage écologique des milieux agricoles. La littérature montre aussi que l'on gagne en efficacité économique en différenciant les politiques dans l'espace, puisque tous les territoires n'ont pas la même vulnérabilité. Il semble possible de mieux prendre en compte la sensibilité des milieux pour redéfinir des zonages écologiques, en se fondant sur le concept de « charge critique ». La charge critique correspond à la quantité maximale d'azote que le territoire peut recevoir tout en limitant les impacts environnementaux à un niveau jugé acceptable de fuites d'azote qui prennent en compte la vulnérabilité du territoire et les impacts à plus grande

échelle. Cette approche permettrait de définir un zonage écologique du territoire à partir d'une évaluation des capacités internes du milieu à faire tampon ou à absorber la pression exercée par l'azote.

Des besoins de recherches identifiés

De l'expertise ressortent des priorités de recherche et de R&D concernant plus prioritairement :

La dynamique de l'azote au sein des systèmes de production : la mise en œuvre d'innovations au sein des exploitations d'élevage pour développer des systèmes recyclant plus efficacement l'azote nécessite de mieux connaître les flux d'azote et leur régulation. Il s'agit notamment d'acquérir des connaissances sur les processus critiques peu connus ou encore mal quantifiés (émissions gazeuses, dynamique de l'azote dans le sol, fixation symbiotique, fonctionnement des zones humides...) et de développer des travaux sur l'ingénierie des systèmes de productions intégrant les volets biotechniques et organisationnels.

Le développement d'outils d'aide à la décision afin d'équiper les éleveurs et leur conseillers des moyens nécessaires à la réalisation de diagnostics « azote » et à l'élaboration d'un conseil adapté au cas par cas, intégrant la complexité du système d'élevage. Ces outils nécessitent la disponibilité de données sur les exploitations qui ne sont pas disponibles aujourd'hui. Par ailleurs, la mise en place et le suivi de réseaux d'exploitation permettrait d'acquérir des références représentatives et mobilisables pour développer de tels outils, réaliser des diagnostics et mieux connaître les pratiques.

L'insertion territoriale des élevages et de leurs filières. Face à l'hétérogénéité des territoires en termes de charge azotée, un changement d'échelle dans le raisonnement des flux d'azote associés à l'élevage pourrait ouvrir de nouvelles marges de manœuvre. La construction de scénarii, leur évaluation et l'analyse des conditions de succès nécessitent le développement de modèles bio-économiques capables de simuler les effets multiples d'une modification de la répartition spatiale de l'élevage.

L'efficacité des politiques environnementales. La question des coûts de transaction des politiques demeure un objet de recherche essentiel pour optimiser leur efficacité. Par ailleurs, plusieurs concepts potentiellement intéressants émergent dans la littérature mais ne sont pas encore explorés. C'est le cas notamment de la notion de charge critique qui semble adaptée aux situations où la variabilité géographique des dommages implique une différenciation géographique de la politique environnementale.

Sigles et acronymes

AB : agriculture biologique
ACV : analyse du cycle de vie
BGA : balance globale azotée
CASDAR : compte d'affectation spéciale « développement agricole et rural
Cedapa : centre d'étude pour un développement agricole plus autonome
CH₄ : méthane
Cipan : culture intermédiaire piège à nitrates
Citepa : centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
Corpen : comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates
CUMA : coopérative d'utilisation du matériel agricole
DCE : directive cadre sur l'eau
DON : azote organique dissous
FE : facteur d'émission
GES : gaz à effet de serre
GIS : groupement d'intérêt scientifique
GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat (IPCC)
IPPC : *Integrated pollution prevention and control* (Directive IPPC)
kt : kilo tonnes
MAE : mesures agri-environnementales
MO : matière organique
MS : matière sèche
MTD : meilleures technologies disponibles
N : azote
N₂ : diazote
N₂O : protoxyde d'azote
NH₃ : ammoniac
NH₄⁺ : ammonium
NO₂⁻ : nitrite
NO₃⁻ : nitrate
NO_x : oxydes d'azote
NUE : *Nitrogen use efficiency* (Efficience de l'utilisation de l'azote)
Mt : million de tonnes
PAC : politique agricole commune
PSE : paiement pour services environnementaux
RAD : réseau agriculture durable
SAU : surface agricole utile
SFP : surface fourragère principale
STH : surface toujours en herbe
UGB : unité gros bétail
UTA : travailleur à temps plein
ZAC : zone d'action complémentaire
ZES : zone d'excédent structurel

Liste des acteurs de l'expertise

Responsables de la coordination scientifique

Jean-Louis PEYRAUD, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1348 Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage (PEGASE). *Systèmes d'élevage, bovins laitiers*

Pierre CELLIER, Inra Versailles –Grignon, unité mixte de recherche 1091 Environnement et Grandes Cultures (EGC). *Agriculture et pollution de l'air*

Auteurs des chapitres du rapport d'expertise

Frans AARTS, Plant Research International, WUR, Pays-Bas, Agrosysteemkunde. *Systèmes d'élevage laitiers, modélisation*

Fabrice BELINE, IRSTEA Rennes, unité de recherche Gestion environnementale et traitement biologique des déchets. *Gestion des effluents*

Christian BOCKSTALLER, Inra Colmar, unité de recherche 1132 -Colmar Agronomie et Environnement (LAE). *Agronomie, évaluation, développement durable*

Luc DELABY, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1348 Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage (PEGASE). *Systèmes d'élevage, ruminants*

Jean-Yves DOURMAD, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1348 Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage (PEGASE). *Système d'élevage, porcs*

Pierre DUPRAZ, Inra Rennes, unité mixte de recherche Structures et Marchés Agricoles, Ressources et Territoires (SMART). *Economie*

Patrick DURAND, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation (SAS). *Milieux, transferts de polluants, paysage*

Philippe FAVERDIN, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1348 Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage (PEGASE). *Systèmes d'élevage, exploitation, modélisation*

Jean Louis FIORELLI, Inra Nancy, unité de recherche 0055 Mirecourt Agro-Systèmes Territoires Ressources (ASTER). *Systèmes, élevage bio*

Carl GAIGNÉ, Inra Rennes, unité mixte de recherche Structures et Marchés Agricoles, Ressources et Territoires (SMART). *Economie industrielle, localisation*

Peter KUIKMAN, ALTEERRA – WUR Pays-Bas, Dienst Landbouwkundig Onderzoek. *Emissions de GES, climat*

Alexandra LANGLAIS, Université Rennes I, Faculté de droit et de Science politique, laboratoire CNRS 6262, Institut de l'Ouest : Droit et Europe, (IODE). *Droit, pollutions diffuses, nitrates*

Philippe LE GOFFE, Agrocampus Ouest, Département économie rurale et gestion. *Economie, pollutions diffuses, nitrates*

Philippe LESCOAT, Inra Tours, unité de recherche 0083 Recherches Avicoles (URA). *Système d'élevage, volailles*

Christian NICOURT, Inra Ivry, unité de recherche 1323 Risques Travail Marché Etat (RITME). *Sociologie, métier, agriculture*

Philippe ROCHETTE, Agriculture et agroalimentaire, Canada (*Agrométéorologie, NH₃, N₂O*)

Françoise VERTÈS, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation (SAS). *Agronomie, évaluation environnementale*

Patrick VEYSSET, Inra Clermont Ferrand, unité de recherche 1213 Recherches sur les Herbivores (URH). *Economie, systèmes d'élevage en agriculture biologique*

Contributeurs étant intervenus ponctuellement

Magalie BOURBLANC, CIRAD-Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Afrique du Sud. *Science politique*

Thierry MORVAN, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation (SAS). *Agronomie*

Virginie PARNAUDEAU, Inra Rennes, unité mixte de recherche 1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation (SAS). *Agronomie*

Documentalistes

Agnès GIRARD, Inra Rennes, Station commune de Recherches en Ichtyophysiologie, Biodiversité et Environnement (SCRIBE) ;

Françoise GUILLAUME, Inra Rennes, Information scientifique et technique ; **Sophie LE PERCHEC**, Inra Rennes et Inra-DEPE, Information scientifique et technique.

Equipe-projet

Catherine DONNARS, conduite du projet et coordination éditoriale, Inra-DEPE ; **Olivier RECHAUCHERE**, suivi du projet et suivi éditorial, Inra-DEPE ; **Fabienne GIRARD**, gestion et logistique, Inra-DEPE ; **Mérim KATTIR**, gestion et logistique, Inra-DEPE

Relecteurs scientifiques du rapport :

Marc BENOÎT (Inra, agronome), **Gilles BILLEN** (CNRS, hydrologue), **Isabelle DOUSSAN** (Inra, juriste), **Amédée MOLLARD** (Inra, économiste), **Philippe LETERME** (Agrocampus, Rennes, agronome), **Didier STILMANT** (CRA Wallonie, Belgique, systèmes d'élevage).

Rapport d'expertise réalisé à la demande des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Ecologie

