

Les flux d'azote liés aux élevages

Réduire les pertes, rétablir les équilibres

L'évolution de l'agriculture au cours de la 2^{ème} moitié du XX^{ème} siècle a été associée à la fertilisation azotée, facteur déterminant de l'augmentation de la productivité agricole. L'élevage transforme l'azote des végétaux ingérés par les animaux en produits animaux, et en rejette une partie sous forme de déjections, qui peuvent être utilisées comme engrais. Toutefois le développement des productions animales a conduit dans certains territoires à une concentration des apports et rejets d'azote, et une pollution des eaux, du sol et de l'atmosphère. Cette problématique est traitée depuis une vingtaine d'années par les politiques européennes et s'est traduite par une directive « Nitrates » (12 décembre 1991) qui vise à protéger la qualité des eaux et, plus récemment par la directive européenne « NEC » (National Emission Ceilings) qui fixe des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques (2001).

Que sait-on aujourd'hui de la dynamique des flux d'azote dans les élevages ? Comment les évalue-t-on, quelles sont les échelles pertinentes de mesure : l'exploitation agricole, unité de référence pour les politiques agricoles, l'animal, la parcelle, le bâtiment, la zone de stockage, ou un niveau plus large, le bassin versant, le paysage, le territoire ? Comment interpréter les informations recueillies à ces échelles ? A partir de ce diagnostic, quelles pistes pour réduire les émissions et leurs impacts sur l'environnement tout en préservant la compétitivité des productions animales ? Ces questions ont motivé de la part des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Ecologie, au printemps 2010, une demande d'expertise scientifique collective pour disposer d'un bilan des connaissances sur les différents flux d'azote associés aux activités d'élevage. Ces questions qui s'attachent à des objets, des échelles d'organisation et d'intervention très divers, ont été traitées par un groupe pluridisciplinaire d'experts aux compétences diverses : bioclimatologie, zootechnie, sciences des systèmes d'élevage, agronomie, économie, sociologie, droit.

1. Contexte et enjeux de la demande d'expertise

L'usage d'engrais azotés dans la 2^{ème} moitié du XX^{ème} siècle, d'origine organique provenant des effluents d'élevage et de sources industrielles, a été un facteur déterminant de l'augmentation des rendements agricoles en Europe et dans le reste du monde. L'élevage est un consommateur majeur d'azote via l'alimentation animale et un fournisseur d'azote, à travers les déjections animales qui peuvent être utilisées comme engrais. Le rôle de l'élevage dans les flux d'azote est à la croisée de préoccupations croissantes, d'une part quant aux effets ambivalents de l'élevage sur l'environnement, et d'autre part quant aux impacts des émissions azotées sur l'environnement et la santé aux différentes échelles, du local au global.

Les préoccupations environnementales et sociétales vis-à-vis de l'azote s'accroissent

La question de l'utilisation de l'azote en élevage n'est pas seulement une question technique, réservée à la sphère professionnelle. Elle fait partie du débat public depuis longtemps. Le décret de 1810 sur les nuisances olfactives de l'élevage est à l'origine du cadre juridique français qui régit les relations entre les activités économiques et leur environnement. La préoccupation exprimée par les populations non agricoles, initialement locale et limitée à des conflits de voisinage, s'est progressivement étendue en lien avec le développement et la concentration territoriale des activités d'élevage. Les associations de protection de l'environnement se sont saisies de cette problématique et ont joué un rôle important dans la dynamique du débat.

Les autorités publiques, européennes et nationales, prenant conscience des impacts des émissions azotées sur l'environnement et la santé humaine ont, depuis une vingtaine d'années, adopté des textes législatifs et des plans d'action pour réduire les émissions et limiter leurs effets environnementaux. Ces politiques se sont notamment traduites par la directive « Nitrates » (12 décembre 1991) qui vise à protéger la qualité des eaux, et qui prévoit différentes mesures relatives à la gestion de l'azote dans les élevages (effluents, épandage, fertilisation, cultures piège à nitrate). La transposition française a nourri de nombreux débats et fait encore aujourd'hui l'objet de tensions avec la Commission européenne qui demande une révision de la comptabilisation des flux d'azote et des réglementations relatives au stockage et à l'épandage des effluents d'élevage. Plus récemment, la directive « NEC » (National Emission Ceilings) a fixé des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques (2001), dont l'ammoniac et les oxydes d'azote. Enfin, l'agenda français inclut



la préparation d'un plan national « santé-environnement » qui prend en compte les émissions de particules dans l'air et l'élaboration du 5^{ème} programme national Nitrates.

La demande des ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie

Les impacts multiples de l'azote sur la santé humaine et sur l'état des écosystèmes ont été bien décrits dans l'expertise scientifique européenne (*European Nitrogen Assessment*, 2011) mais les flux d'azote en élevage et les moyens mobilisables pour réduire les émissions et rééquilibrer les apports d'azote sur les territoires n'avaient encore jamais fait l'objet d'une évaluation spécifique. Ce contexte et ces interrogations ont motivé de la part des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Ecologie, au printemps 2010, une demande d'expertise scientifique collective (ESCo) à l'INRA.

L'objectif général de l'expertise est de faire un bilan de l'état des connaissances scientifiques sur les flux d'azote en élevage et leur devenir afin de mieux comprendre le rôle de l'élevage dans les pollutions liées à l'azote et d'identifier les leviers permettant de réduire les pressions de l'azote sur l'environnement. Les questions posées à l'ESCo portent ainsi sur la quantification des flux et l'identification des sources d'incertitude aux différents niveaux d'organisation - animal, bâtiment, atelier, exploitation d'élevage incluant les cultures, bassin versant, paysage et territoire -, replacés dans le cycle global de l'azote. Il est aussi attendu une comparaison des flux d'azote pour différents types d'élevages, une analyse critique des méthodes d'évaluation (bilans, analyse de cycles de vie...) et des indicateurs de pression environnementale. Enfin, il est demandé d'identifier les différents leviers disponibles (structurels, organisationnels, technologiques, territoriaux) pour réduire la pression des émissions azotées et autres rejets associés aux différents systèmes d'élevage. Les compartiments environnementaux privilégiés sont l'eau, l'air et le sol.

Le travail de l'expertise scientifique collective

L'expertise scientifique collective consiste en un état des connaissances scientifiques disponibles. Elle cherche à dégager les acquis et aussi à pointer les incertitudes et les lacunes du savoir. Elle ne formule ni avis ni recommandations. La conduite de l'exercice s'appuie sur une charte de l'expertise scientifique dont les principes généraux sont la compétence, l'impartialité, la pluralité et la transparence. Ces principes sont déclinés en un guide de procédures. Plus de vingt chercheurs, représentant des disciplines biotechniques et des sciences humaines et sociales, ont été mobilisés. Ces chercheurs sont d'origines institutionnelles diverses, françaises et étrangères (INRA, IRSTEA, CNRS, Université de Wageningen Agriculture-Canada).

Le corpus bibliographique constitué pour cette expertise compte 1330 références dont 2/3 relèvent des disciplines biotechniques, 1/3 des sciences économiques et sociales. La majorité de ces publications concerne la problématique des nitrates. Le corpus a essentiellement mobilisé des références scientifiques mais aussi des rapports issus d'organismes nationaux, des collectivités et des instituts techniques. Les références relatives aux émissions d'ammoniac ont fortement progressé au cours des dernières années. Très peu d'articles ont considéré simultanément la problématique des flux d'azote et celle des autres flux ayant des impacts environnementaux (méthane, phosphore, énergie).

1. Etat des lieux

1.1. L'élevage a un rôle central dans les flux d'azote et leurs impacts

En France, les apports annuels d'azote pour fertiliser les sols proviennent pour un peu plus de la moitié des engrais de synthèse (2110 kt), pour un peu moins de la moitié des effluents d'élevage (1820 kt) et de volumes marginaux des boues de stations d'épuration et de composts (21 kt). Les entrées d'azote par la fixation symbiotique de l'azote de l'aire par les légumineuses représentent un peu plus de 500 kt, dont environ 80% proviennent des légumineuses des prairies permanentes et 10% des cultures de luzerne. Les systèmes de production animale occupent une place centrale dans le cycle de l'azote. En France, plus des 3/4 de l'azote est en effet utilisé pour la production d'aliments pour animaux qui consomment 70% de la biomasse végétale produite

Le cadre d'analyse de « la cascade de l'azote » permet de rendre compte de la dynamique des flux d'azote issus des élevages



La transformation des produits végétaux par les animaux peut être considérée comme partie d'un cycle biogéochimique de l'azote et c'est ainsi que les scientifiques ont longtemps abordé les flux d'azote en agriculture. L'augmentation des entrées d'azote industriel en agriculture, associée à une accumulation de composés azotés dans certains compartiments de l'environnement, a toutefois conduit les scientifiques à raisonner ces flux d'azote sous forme d'une cascade. 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 : il met en évidence toute la chaîne de transferts et de transformation de l'azote réactif (ensemble des formes d'azote minéral et organique, autres que le diazote (N₂) utilisables par les êtres vivants) dans les différents compartiments de l'environnement (eaux, air, sols, écosystèmes, anthroposystèmes dont les systèmes agricoles) et toute la chaîne d'impacts qu'il occasionne à différents niveaux. Dans le cas des systèmes de production animale, la consommation de produits végétaux par les animaux génère des composés azotés très mobiles et réactifs (urée, azote ammoniacal et nitrique, acides aminés) à partir de la matière végétale qui avait auparavant associé le carbone et l'azote sous des formes stables lors de sa formation et 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 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 NH₃), au niveau régional pour les impacts sur la qualité des eaux et de l'air (NH₃, NO₃) et au niveau global pour le changement climatique (émissions de N₂O).

Une concentration des élevages qui favorise les excédents d'azote

Au cours des 60 dernières années, se sont développés des systèmes de production agricole qui présentent trois caractéristiques majeures : un découplage de plus en plus marqué entre productions végétales et animales, une spécialisation des exploitations, et une forte concentration géographique des productions sur certains territoires. Si la production de ruminants est encore largement basée sur l'utilisation de ressources fourragères locales, les éleveurs sont toutefois amenés à acheter et utiliser des engrais minéraux et des aliments concentrés. Ces entrées extérieures d'azote sont encore plus importantes pour les élevages de monogastriques. En conséquence, les quantités d'azote contenues dans les effluents dépassent parfois largement les capacités d'absorption des surfaces agricoles sur lesquelles elles peuvent être épandues et valorisées par les végétaux.

Au-delà du bilan azoté comparant les apports d'azote aux capacités d'absorption des surfaces agricoles, des bilans peuvent être établis en comparant les entrées et sorties d'azote à des échelles plus larges. Les territoires d'élevage sont alors loin d'être homogènes en termes de niveaux d'excédents des bilans azotés et des risques de fuites d'azote associés. Les niveaux d'excédents sont logiquement les plus élevés dans les territoires à fortes densités animales, combinant élevage de ruminants et de monogastriques (Grand Ouest). Les excédents des bilans azotés (différence entre apports totaux au sol et exportations par les productions végétales) dépassent 40 à 50 kg N/ha/an dans plusieurs territoires qui combinent production laitière ou de viande bovine et élevage de monogastriques, alors que la moyenne nationale s'établit à 29 kg et que plusieurs régions spécialisées en élevage mais avec des chargements animaux faibles (Grand Massif Central, Jura, Alpes) ont des bilans largement inférieurs à 15 kg. Conséquence directe, les teneurs en nitrates des eaux de surface sont également nettement plus élevées dans les territoires à fortes densités animales que dans les territoires à faible densité, même si une légère réduction a été observée ces dernières années, notamment en Bretagne, alors que la teneur en nitrate des eaux a continué de s'accroître dans certaines zones de grandes cultures.

Le mouvement de concentration de l'élevage a souvent été mis en avant comme un élément déterminant des états d'excédents d'azote dans les zones d'élevage. L'ESCO a examiné les moteurs de cette évolution qui sont de nature technique, économique et juridique. La littérature scientifique pointe la cohérence technique et économique de ce mouvement et par suite, la grande difficulté de sortir d'une trajectoire d'intensification et de spécialisation, notamment parce que les acteurs des filières, des producteurs d'intrants aux éleveurs, transformateurs et distributeurs, sont étroitement liés dans leurs activités. Ce mouvement a particulièrement concerné les filières de monogastriques.

Les préoccupations sur les émissions d'azote par l'élevage s'élargissent, du nitrate à l'ammoniac

La contribution de l'élevage aux émissions nationales des différentes formes d'azote réactif est importante : 25-30%, 80% et 35-40% des émissions nationales pour respectivement le nitrate, l'ammoniac et le protoxyde d'azote si les seules émissions issues des effluents d'élevage sont comptabilisées ; 50%, 90% et 70% si on tient compte du fait qu'une grande part des engrais industriels sont employés sur les cultures utilisées pour produire des



aliments pour l'élevage. 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. D'abord étudié pour son rôle dans l'acidification et l'eutrophisation des milieux à l'échelle nationale ou continentale, l'intérêt pour l'ammoniac est aujourd'hui relancé dans le cadre de la pollution de l'air à l'échelle locale et régionale (formation de particules atmosphériques, impacts sur la biodiversité). Selon *l'European Nitrogen Assessment*, l'ammoniac occasionne en effet des coûts élevés pour la santé de par la formation de particules fines. Toutes les évaluations conduites au niveau européen montrent également que les zones de fortes densités d'émissions d'ammoniac et de forts impacts de celles-ci sur la qualité de l'air et les écosystèmes sont les grandes zones d'élevage ; ces dernières seront donc très directement concernées par toute réduction des plafonds d'émissions.

Des potentialités différenciées des milieux pour l'utilisation de l'azote

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 animaux. Les teneurs en nitrate des eaux ne dépendent 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...

1.2. Un enjeu majeur pour l'élevage : une plus grande efficacité de l'azote

Une faible efficacité de l'azote en élevage

L'efficacité est le rapport entre les quantités d'azote générées et valorisables et les quantités d'azote mobilisées pour la production agricole. Ce ratio traduit l'efficacité technique et est un déterminant de la rentabilité économique. Il peut être calculé à différents niveaux du système de production : l'animal, l'atelier de production, l'atelier de gestion des effluents, la sole cultivée ou l'exploitation agricole.

L'efficacité calculée au niveau de l'animal est 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. Des gains significatifs ont néanmoins été accomplis par le passé via l'amélioration génétique et l'ajustement de l'alimentation des troupeaux. Il reste encore des possibilités de progrès, notamment en recourant à des techniques d'alimentation de précision, mais les gains seront modestes dans la mesure où les rations sont déjà aujourd'hui à des niveaux planchers en protéines. 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 est de l'ordre de 45-50% avec de fortes variations selon les systèmes de production et les pratiques des éleveurs : ici aussi, des marges de progrès existent.

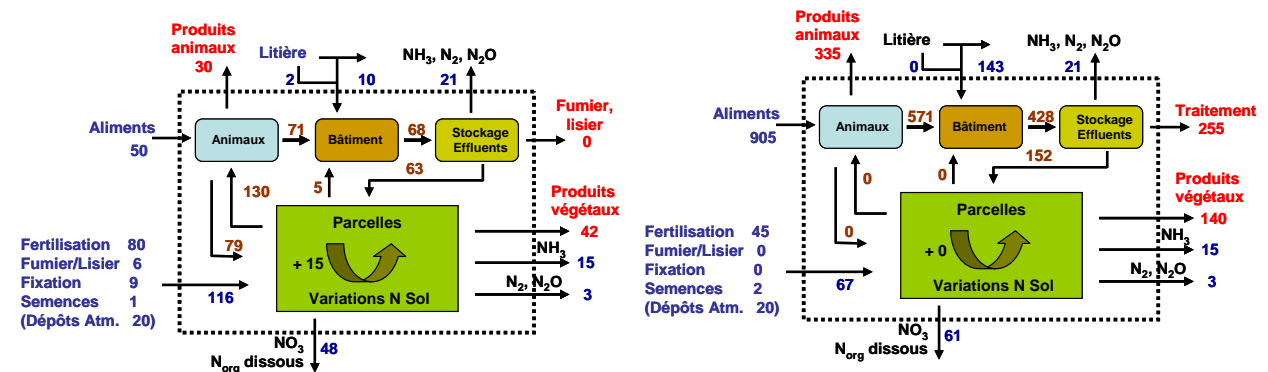
A l'échelle du système de production, l'efficacité de l'azote résulte d'interactions complexes et est très variable

Les apports d'azote et les émissions vers l'environnement sont plus diversifiés et les niveaux de surplus (rapportés à l'hectare) plus élevés dans les systèmes de production animale que dans ceux des grandes cultures. Ces flux sont étroitement liés et se combinent à des flux internes au sein du système. Une amélioration d'efficacité à l'échelle d'un maillon (par exemple, au stade de l'alimentation animale) peut entraîner une dégradation sur un autre maillon et ne se traduit pas nécessairement par une amélioration de l'efficacité à l'échelle de l'exploitation.

Pour illustrer cette analyse, la figure 1 détaille les flux d'azote, en entrée et en sortie, dans deux exploitations « types », une exploitation laitière avec des céréales et une exploitation porcine également avec des céréales. On voit ainsi que les entrées d'azote, les flux internes et les sorties, calculés à partir de nombreuses publications, diffèrent très significativement et que l'efficacité résulte d'un ensemble complexe de flux interdépendants.



Figure 1. Flux d'azote moyens (en kg N/ha/an) pour deux exploitations intensives typiques de l'Ouest français
 Exploitation lait et céréales (80 ha, 82 UGB, 25 ha de céréales)
 Exploitation porc et céréales (84 ha, 400 truies naisseur-engraisseur avec traitement des lisiers)



Les entrées d'azote dans l'exploitation sont figurées en bleu (les dépôts atmosphériques ne sont jamais comptabilisés dans les calculs des bilans). Les sorties prises en compte dans les calculs de bilans sont figurées en rouge. Les autres sorties, qui correspondent aux émissions gazeuses, à l'azote potentiellement lessivable et au stockage d'azote dans la matière organique des sols (prairies) correspondent à l'excédent du bilan. Cette figure illustre la diversité des flux et leur très forte variabilité selon les types de production

De façon générale, l'efficacité de l'azote à l'échelle de l'exploitation diminue avec l'accroissement des entrées d'azote. Elle est maximale dans les systèmes à très bas intrants, notamment en agriculture biologique, mais au prix d'une productivité et d'une production plus faibles.

Les pertes par volatilisation de l'azote (NH₃, N₂O, NO_x et N₂) correspondent à des flux importants. Les modalités de gestion des effluents d'élevage (bâtiment, stockage, épandage) sont un déterminant majeur de ces flux, les émissions pouvant varier de 30 à 75% de l'azote émis par les animaux selon les modalités mises en oeuvre. Cette variabilité des émissions est mieux connue dans le cas des effluents porcins que dans celui des ruminants. Dans ce deuxième cas, les émissions gazeuses sont fortement réduites au pâturage puisqu'il n'y a pas de phase de stockage et le couvert prairial utilise directement l'azote des déjections.

Les recyclages internes à l'exploitation et donc le lien de la production animale au territoire, améliorent l'efficacité de l'azote à l'échelle de l'exploitation. En particulier, les ruminants sont à l'origine de recyclages internes importants grâce à la production et à l'utilisation de fourrages, dont le pâturage. Par suite, bien que la production laitière soit moins efficace que la production porcine à l'échelle de l'animal et du troupeau, les efficacités calculées au niveau de l'exploitation sont voisines (et souvent comprises entre 0,45 et 0,50). Il est également bien établi que les prairies recyclent plus efficacement l'azote que l'épandage sur les grandes cultures ; en outre, elles ont d'autres rôles positifs : elles stockent de la matière organique et donc de l'azote, elles maintiennent des paysages ouverts et diversifiés, etc.

2. Des options techniques et organisationnelles pour améliorer l'efficacité et réduire les impacts

2.1. Améliorer les pratiques à l'échelle de l'exploitation

Outre une action possible à la source visant à encore diminuer les apports protéiques aux animaux, avec des effets possibles sur la productivité, la gestion optimisée des effluents apparaît être la voie majeure de progrès par la maîtrise de l'ensemble de la chaîne de stockage et d'épandage pour préserver l'azote et réduire les achats d'engrais minéraux. Des mesures techniques et des innovations sont d'ores et déjà disponibles pour limiter les émissions, en particulier celles d'ammoniac en bâtiment (température, ventilation, composition des litières...), pendant le stockage (différents traitements) et lors de l'épandage (enfouissement...). Aujourd'hui peu mises en oeuvre en France, ces actions demandent néanmoins une vigilance continue car le risque de volatilisation est présent à chaque étape de la chaîne, depuis l'excrétion jusqu'à la valorisation agronomique.

Chez les ruminants, des gains d'efficacité peuvent aussi être obtenus par le développement des prairies à base de légumineuses et une gestion bien adaptée de ces surfaces en prairies semées (retournement peu fréquent,



optimisation de la valorisation des reliquats azotés par la culture suivante).

Le rôle positif des cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) et des rotations pour réduire les risques de lixiviation du nitrate est démontré. Les systèmes de culture permanents sont également une piste intéressante qui nécessite encore un effort de recherche et de recherche-développement, les techniques de semis sous couvert étant encore imparfaitement maîtrisées.

Une approche plus radicale consiste à réduire très fortement les entrées d'azote par le développement de systèmes à bas intrants. En élevage ruminant, de tels systèmes reposent sur la prairie avec des légumineuses comme source d'azote. Ils conduisent toujours à une meilleure efficacité de l'azote et des niveaux bas de fuites, souvent au prix d'une réduction de la productivité des surfaces. Néanmoins, du fait de la baisse des charges opérationnelles, le revenu de l'éleveur n'est pas systématiquement affecté : c'est le cas en particulier quand les prix des animaux et des produits animaux sont bas ou ceux des intrants élevés.

Les éleveurs et leurs conseillers ne disposent pas aujourd'hui d'outils simples d'emploi permettant d'établir un diagnostic, de décider des actions les plus importantes à mettre en œuvre compte tenu de l'état de l'exploitation et en retour d'évaluer les progrès réalisés sur l'efficacité de l'utilisation de l'azote et la réduction des émissions. Le couplage du bilan des minéraux à l'exploitation avec des bilans partiels réalisés sur les différents postes de l'exploitation et des indicateurs d'émissions offre une perspective intéressante : il permet de mettre en évidence de façon cohérente et dans un cadre global les sources majeures d'inefficacité au sein du système de production, et c'est sur ces sources majeures qu'il convient de jouer en premier pour améliorer l'efficacité de l'azote des exploitations d'élevage. Une telle démarche est en cours de développement dans quelques pays, notamment aux Pays-Bas.

2.2. Traiter les effluents d'élevage au sein des régions en excédent en vue de leur exportation

Le traitement technologique des effluents d'élevage ouvre des marges de manœuvre pour la répartition spatiale des apports et la gestion des équilibres. 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 grandes cultures, 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 en regard de ses intérêts potentiels. La compétitivité de telles filières de traitement comparée à celle de la production des engrais minéraux reste aussi à établir sachant que la méthanisation peut fournir l'énergie nécessaire. L'évolution des technologies dans ce domaine peut être un levier de développement. 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.

2.3. Déconcentrer la production animale et protéger les milieux les plus vulnérables sur le plan environnemental

Déconcentrer les élevages : possible, 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 ont été mises en œuvre dans les pays du Nord de l'Europe (principalement en élevage porcin). Elles pourraient s'envisager sur d'autres filières (par ex pour l'élevage de génisses) 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 posent des problèmes aigus de tolérance dans les territoires d'accueil.

Prendre en compte la vulnérabilité particulière de certains milieux ou améliorer leur capacité

Dans les territoires présentant une vulnérabilité ou des enjeux environnementaux majeurs, la littérature rapporte plusieurs expériences de réorganisation complète de l'activité agricole, avec un développement de la forêt, des



prairies, de systèmes à bas intrants ou d'agriculture biologique. Ces initiatives locales supposent une concertation forte entre acteurs sur le territoire et un système de compensation de la baisse de la production agricole : les éleveurs sont rémunérés par le commanditaire qui peut être un acteur privé de l'eau (Société des eaux de Vittel par exemple) ou plus souvent les collectivités territoriales (Ville de Munich par exemple).

A l'avenir, il semble aussi possible de mieux prendre en compte la sensibilité des milieux pour redéfinir des zonages écologiques en se basant sur le concept de « charge critique » appliqué à l'échelle de la petite région agricole. La charge critique correspond à la quantité maximale d'azote que le territoire peut recevoir tout en limitant les impacts environnementaux. Cette charge critique serait variable selon les impacts considérés, les territoires et les modes d'occupation des sols, la présence de zones sensibles, etc.

A l'échelle des territoires, des capacités d'épuration existent via l'élimination de l'azote par dénitrification et via la captation d'une partie de l'ammoniac émis. 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. Ces solutions potentielles posent toutefois la question du devenir de l'azote ainsi capté ou transformé, et celle de la gestion collective de ces espaces à fonctions partagées

3. Des outils de pilotage et de politiques publiques

3.1. Une difficulté à bien évaluer les émissions azotées des systèmes de production

La montée en puissance du concept de durabilité a conduit à la multiplication des indicateurs et des outils d'évaluation y faisant appel. Les indicateurs de pratiques (quantités d'intrants utilisés, modes de gestion des animaux) sont simples d'emploi mais peu informatifs sur les performances environnementales atteintes. Les indicateurs d'émissions permettent d'estimer les pertes d'azote. Ils reposent sur des mesures de terrain (les reliquats d'azote), des coefficients moyens d'émissions ou des modélisations qui permettent de relier les sorties aux variables explicatives. D'autres indicateurs et méthodes permettent de qualifier les changements d'état des milieux (teneurs en nitrate dans l'eau, teneurs en particules dans l'air, etc.) ou les impacts sur les milieux (Analyse de Cycle de Vie en particulier).

L'outil le plus couramment utilisé pour évaluer la gestion de l'azote est l'approche par bilans qui comptabilisent les entrées et les sorties d'azote. Les deux principaux types sont les bilans sol-surface, dont la Balance globale azotée (BGA) très utilisée en France depuis le Programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA), et les bilans apparents à l'exploitation. Ces bilans quantifient une pression azotée sur le milieu à l'échelle de laquelle ils sont réalisés ; le « surplus d'azote » ainsi évalué fournit une image du potentiel de pertes sans présager de leurs formes. Le bilan sol-surface calcule des soldes entre les apports sur les parcelles cultivées (azote minéral et azote organique, déduction faite des émissions d'ammoniac) et les exportations par les cultures récoltées ou pâturées. Le bilan azoté à l'exploitation détaille tous les postes en entrée et en sortie conformément à la logique d'ensemble de la figure 1 et de ce fait, intègre toutes les pertes. Il permet de s'assurer de la cohérence entre les effets environnementaux et les résultats économiques, ce qui lui confère une portée pédagogique au sens où il incite l'éleveur à orienter ses choix de façon à optimiser l'efficacité d'utilisation de l'azote. Couplé à des bilans partiels des différents ateliers de l'exploitation qui permettent d'évaluer les flux internes au système, le bilan azoté à l'exploitation permet de hiérarchiser les principaux postes d'inefficacité et donc d'engager les mesures les plus appropriées de réduction de celles-ci sur l'ensemble de l'exploitation.

La mise en place de telles démarches suppose la disponibilité des données au niveau des exploitations. Le manque d'informations quantitatives sur les pratiques réelles des exploitations apparaît ainsi comme un handicap majeur dans notre pays. Dans cette perspective, il serait possible de s'inspirer des solutions déjà appliquées dans plusieurs pays du Nord de l'Europe

3.2. La mise en œuvre des outils économiques

La réglementation environnementale dans le domaine de l'azote se heurte au caractère diffus des pollutions potentiellement générées et aux coûts de transaction associés à la mise en œuvre des instruments. De façon générale, on distingue deux grandes catégories d'instruments de politiques environnementales : d'une part, les incitations financières, et, d'autre part, les normes et quotas. La subvention à la dépollution oriente vers certaines technologies (par exemple, la résorption de l'azote par un traitement aérobie des lisiers de porc) en baissant leur



coût d'utilisation ; elles n'incitent donc pas les producteurs à rechercher les solutions de résorption les moins coûteuses. Le subventionnement du traitement du lisier a ainsi pu conduire à généraliser cette pratique même dans les élevages où il n'était pas rentable. Néanmoins, le subventionnement temporaire de pratiques innovantes allant au-delà des normes peut être envisagé pour favoriser la prise initiale de risque. 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 vraisemblablement être fixée à un niveau élevé pour être efficace, i.e., pour conduire à des réductions significatives des pertes. Face aux problèmes soulevés par la taxe, une politique de quotas (par exemple, en fixant un niveau maximal de surplus d'azote) présente au moins deux avantages : elle permet d'atteindre un résultat environnemental avec certitude, à condition naturellement d'être pleinement respectée, et elle peut être différenciée en fonction de la sensibilité des milieux et des territoires (ce que ne permet pas la taxe uniforme). Mais les coûts de transaction et de contrôle d'une politique de quotas peuvent être élevés ce qui conduit à trouver un compromis entre le niveau du quota pour une bonne efficacité environnementale et les coûts de transaction liés aux contrôles du bon respect. Dans les pays du Nord de l'Europe, les politiques publiques attribuent un quota d'azote total, voire de phosphore, par exploitation, différencié selon un zonage du territoire en fonction de la sensibilité en termes de nitrate, d'ammoniac et d'odeurs), et prévoient des pénalités en cas de dépassement de quota.

Par ailleurs, des économistes développent une série d'arguments montrant que la régulation environnementale pourrait être plus efficace si elle s'appliquait également au niveau de la filière dans la mesure où 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.

Des outils économiques adaptés en fonction des territoires

Une revue de la littérature a montré que l'on gagne en efficacité économique en différenciant les politiques dans l'espace (en réduisant davantage la pollution là où cela procure des bénéfices plus grands) et en fonction des types de producteurs (en faisant porter davantage l'effort sur ceux dont les coûts de réduction sont les plus faibles). Les instruments politiques délimitent alors des zonages environnementaux et des catégories d'exploitation agricole

4. Des besoins de recherche

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

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 (émissions gazeuses, dynamique du N dans le sol...) 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 et à l'élaboration d'un conseil adapté au cas par cas et intégrant toute la complexité d'un système d'élevage. La mise en place de réseaux d'exploitation permettrait d'acquérir des références représentatives et mobilisables pour développer de tels outils.

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 de l'élevage pourrait ouvrir de nouveaux degrés de liberté pour l'action. La construction de scénarii, leur évaluation et l'analyse des conditions de succès nécessite 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. Il s'agit notamment de la notion de charge critique qui semble bien adaptée aux situations où la variabilité géographique des dommages implique une différenciation géographique de la politique.

