La revue scientifique
Viandes & Produits Carnés
Référence de l'article : VPC-2026-42-23
Date de publication : 3 novembre 2026
www.viandesetproduitscarnes.fr



Élevage bovin allaitant : enjeux et équilibres environnementaux (1ere partie)

Les impacts de l'élevage bovin allaitant face aux enjeux environnementaux : entre pressions écologiques et services territoriaux.

Mots clés : biodiversité, effluents d'élevage, élevage bovin allaitant, impacts environnementaux, prairies permanentes, qualité de l'eau, sols, systèmes herbagers, transition agroécologique.

Auteurs : Jean Ginisty[1], Pedro H. Imazaki[1,2], Jean-Denis Bailly[1,3], Laure David[1,4]

[1] Université de Toulouse, ENVT, Unité pédagogique Santé publique vétérinaire, Toulouse, France
[2] Université de Toulouse, ENVT, INRAE, INTHERES, Toulouse, France
[3] Université de Toulouse, ENVT, INPT, INRAE, LCA, Toulouse, France
[4] Université de Toulouse, INSERM, INRAE, ENVT, IRSD, Toulouse, France.

Ce premier article d'une série de trois propose une présentation globale des enjeux associés à l'élevage. Le deuxième article approfondira la question du bilan climatique. Le troisième article s'intéressera aux leviers permettant de réduire l'empreinte environnementale des élevages.

Résumé

L'élevage bovin allaitant français contribue à la production de protéines animales et au maintien d'une activité économique dans de nombreux territoires ruraux. En valorisant notamment l'herbe de prairies permanentes et de surfaces difficilement cultivables, les systèmes herbagers participent également à l'entretien des paysages et au maintien de milieux favorables à la biodiversité. Ils exercent toutefois des pressions sur l'environnement, notamment sur l'air, les sols et l'eau, à travers les flux d'azote, la gestion des effluents ou certains usages d'intrants. Cet article propose une analyse globale de ces pressions et des services associés aux systèmes bovins allaitants, afin de mieux appréhender leurs interactions et d'identifier les conditions permettant de concilier production alimentaire, activité économique, préservation de l'environnement et durabilité des territoires.

Abstract: Beef cattle farming: environmental issues and trade-offs

French suckler cattle farming contributes to animal protein production and supports economic activity in many rural areas. By making use of grass from permanent grasslands and land that is unsuitable or difficult to cultivate, grassland-based systems also help maintain landscapes and preserve habitats that support biodiversity. However, these systems also exert environmental pressures, particularly on air, soil and water, through nitrogen flows, manure management and the use of certain agricultural inputs. This article provides an overview of the environmental pressures exerted by suckler cattle farming systems and the ecosystem services they deliver. It aims to improve our understanding of the interactions between these pressures and services and to identify the conditions under which food production, economic activity, environmental protection and the long-term sustainability of rural areas can be reconciled.

L'ESSENTIEL

Face aux nombreux débats sur l'impact environnemental de l'élevage, les systèmes bovins allaitants français se trouvent au cœur d'enjeux à la fois écologiques, agricoles et territoriaux. Souvent réduits à leurs émissions ou à leur consommation de ressources, ces élevages présentent pourtant une réalité plus complexe, étroitement liée aux territoires herbagers qu'ils façonnent et entretiennent.

L'analyse met en évidence plusieurs points de vigilance majeurs, en particulier les émissions d'ammoniac liées à la gestion de l'azote, les risques de pertes de nitrates ou de phosphore vers les milieux aquatiques, les effets localisés du piétinement, ainsi que les impacts potentiels de certains intrants vétérinaires. Ces pressions rappellent l'importance d'une conduite rigoureuse des systèmes, fondée sur l'ajustement de l'alimentation la bonne gestion des effluents, la maîtrise du pâturage et la valorisation raisonnée des prairies.

Mais les élevages allaitants herbagers rendent également des services environnementaux majeurs. Les prairies permanentes limitent l'érosion, favorisent l'infiltration de l'eau, soutiennent la biodiversité des sols et contribuent au maintien de paysages diversifiés. Les haies, les mares et les mosaïques bocagères associées à ces systèmes jouent aussi un rôle essentiel pour la biodiversité et la résilience des territoires ruraux.

Ce travail montre ainsi que l'évaluation environnementale des élevages bovins allaitants ne peut se limiter à quelques indicateurs globaux. L'enjeu est d'identifier les pratiques permettant de réduire les pressions tout en préservant les fonctions écologiques et territoriales des systèmes herbagers. Cette approche multicritère offre un éclairage utile pour accompagner les transitions de la filière viande sur des bases scientifiques et territoriales solides.

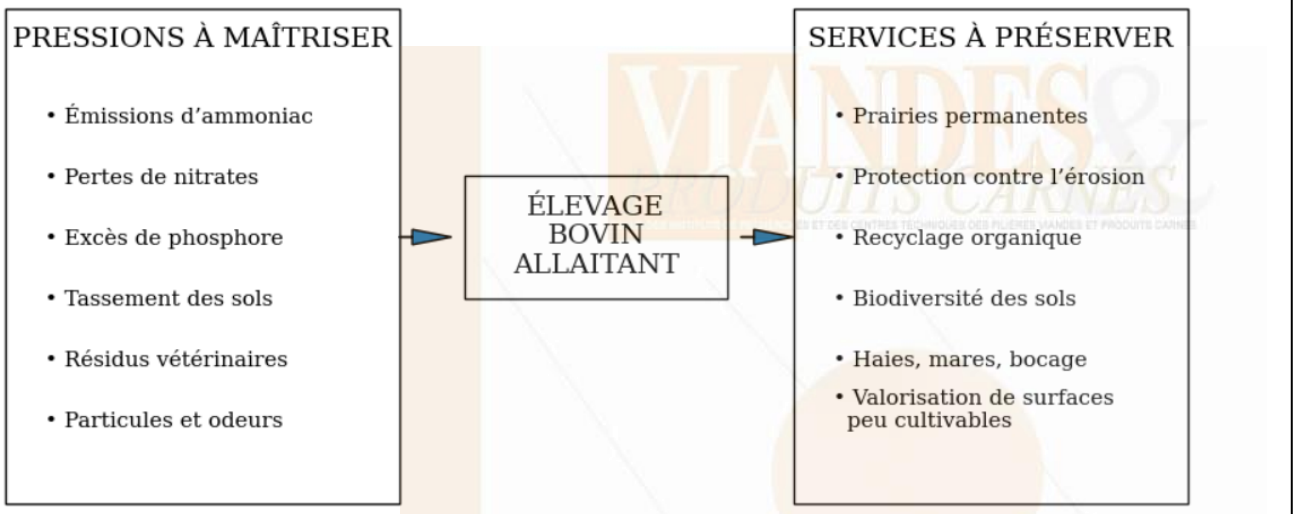
I. INTRODUCTION

Utilisant 7 millions d'hectares, soit 26 % de la SAU française en 2020, l''élevage bovin allaitant occupe une place singulière dans l'agriculture française. Dans les exploitations bovines allaitantes françaises, les surfaces fourragères principales représentent 72 % de la SAU, dont 68 % correspondent à des surfaces en herbe (Perrot, 2023). En valorisant l'herbe des zones bocagères, de montagne ou de piémont, il façonne une grande partie des paysages ruraux, entretient des prairies permanentes souvent difficilement convertibles en cultures et participe à l'activité économique de nombreux territoires. Cette production se trouve pourtant aujourd'hui au cœur des débats environnementaux. Émissions atmosphériques, qualité de l'eau, usage des sols, biodiversité et paysages sont régulièrement interrogés, parfois à partir d'indicateurs globaux qui ne rendent compte ni de la diversité des systèmes, ni des services qu'ils peuvent rendre.

Cette situation impose de dépasser les analyses fondées sur un nombre limité d'indicateurs, qui peuvent masquer la diversité des systèmes, des unités fonctionnelles et des échelles territoriales. Les élevages allaitants génèrent des pressions sur l'environnement, notamment à travers les flux d'azote (Figure 1). La gestion des effluents constitue un poste particulièrement important, puisqu'elle influence notamment les émissions d'ammoniac et les pertes de nitrates, mais peut également être à l'origine d'autres pressions environnementales, liées par exemple aux émissions de gaz à effet de serre ou aux risques de pollution des eaux et des sols. Mais ils contribuent aussi au maintien de milieux prairiaux, de haies, de mosaïques paysagères, limitation de l'embroussaillement et entretien de paysages herbagers ou bocagers et d'une biodiversité associée, autant d'éléments qui disparaîtraient dans certains territoires sans ces activités d'élevage. L'enjeu n'est donc pas d'opposer élevage et environnement, mais de comprendre dans quelles conditions les systèmes bovins allaitants peuvent limiter leurs impacts tout en préservant leurs fonctions écologiques et territoriales (Encadré 1).

Cet article propose une lecture synthétique des principaux effets de l'élevage bovin allaitant sur les grands compartiments de l'environnement, de l'air aux sols, de l'eau à la biodiversité et aux paysages. Il vise à mettre en évidence les points de vigilance, mais aussi les atouts spécifiques des systèmes herbagers français. Cette approche globale doit permettre d'éclairer les débats, d'accompagner les évolutions de pratiques et de mieux reconnaître la contribution des élevages allaitants à l'équilibre des territoires.

Encadré 1 : Les systèmes bovins allaitants doivent être évalués selon une approche multicritère, intégrant à la fois les pressions exercées sur l'environnement et les services écologiques associés aux systèmes herbagers.



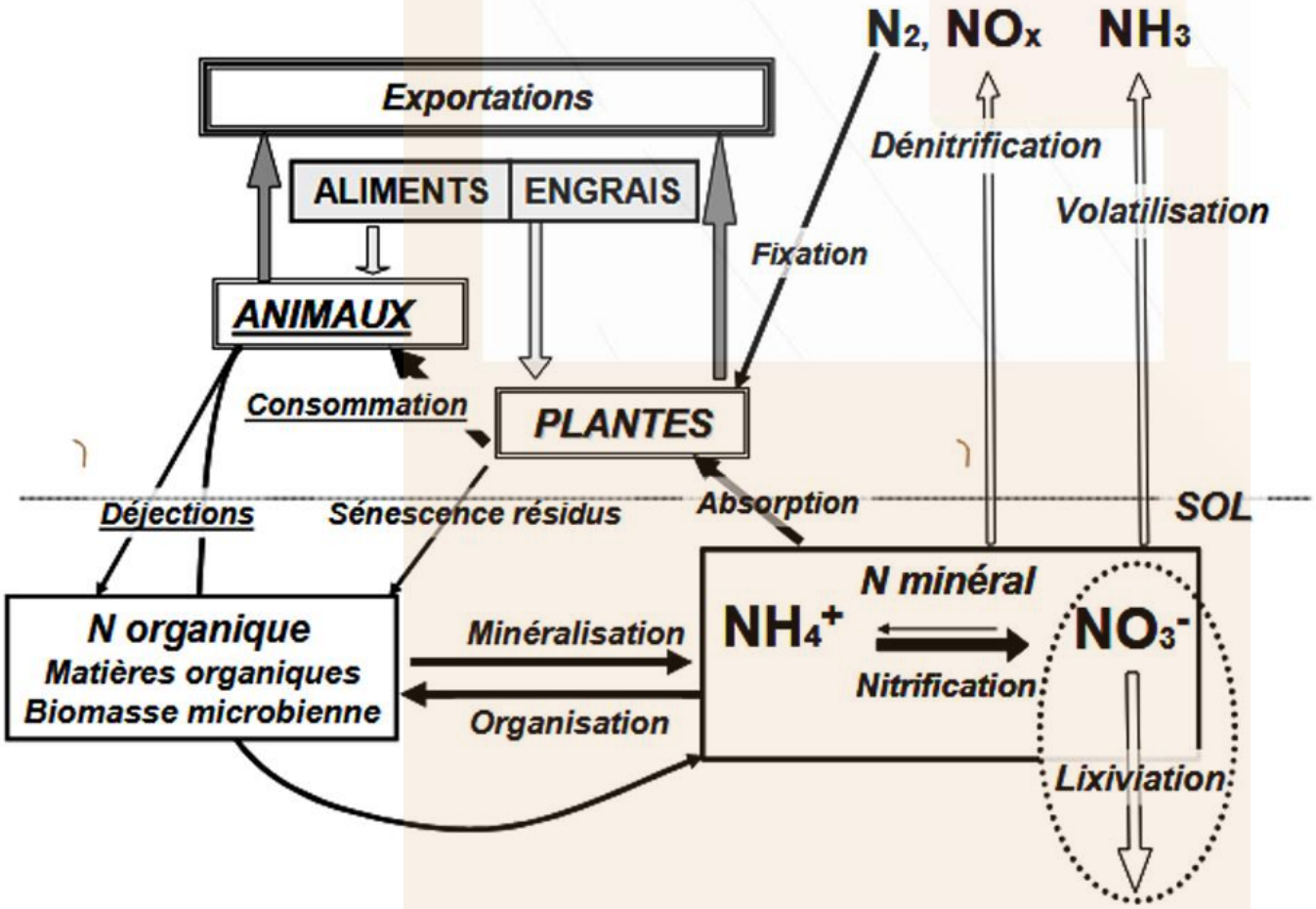


Figure 1 : Représentation simplifiée du cycle de l'azote en prairies pâturées
(Source : Vertes et al., 2009)

II. L'AMMONIAC, PRINCIPAL ENJEU DE LA QUALITE DE L'AIR

Les impacts atmosphériques de l'élevage bovin sont souvent abordés sous l'angle du changement climatique. Pourtant, au-delà des gaz à effet de serre, les élevages contribuent aussi à l'émission de composés qui influencent la qualité de l'air, les sols et les écosystèmes. Dans les systèmes bovins allaitants, le principal enjeu hors climat concerne l'ammoniac (NH_3), issu de l'azote contenu dans les déjections animales. En effet, l'agriculture est de loin le principal secteur émetteur de NH_3. Au sein du secteur agricole, les activités d'élevage et notamment les bovins constituent un poste majeur puisque le cheptel bovin représente environ 22% des émissions nationales de NH_3. À l'échelle nationale, les émissions de NH_3 des cheptels bovins allaitants et laitiers sont comparables. La contribution de l'élevage bovin allaitant peut ainsi être estimée à environ la moitié des émissions du cheptel bovin, soit de l'ordre de 11% des émissions nationales de NH_3. (Manneville, 2022, 2023). Les oxydes d'azote (NOx), les particules et certains composés organiques volatils complètent ce tableau, mais leur poids relatif reste plus limité ou davantage dépendant de situations locales. Cette hiérarchie rejoint les inventaires nationaux, qui identifient l'agriculture comme le principal secteur émetteur d'ammoniac en France, puisqu'elle représente à elle seule environ 96 % des émissions nationales de NH_3 en 2023. En 2023, environ deux tiers des émissions agricoles de NH_3 peuvent être rattachées fonctionnellement aux activités d'élevage (gestion des effluents, pâturage et épandage des effluents d'élevage), contre environ un tiers à la production végétale, principalement via la fertilisation minérale (CITEPA, 2025 ; ADEME, 2025 ; Rapport Floréal 2023).

L'ammoniac provient surtout de la transformation de l'urée contenue dans les urines. Sous l'action de l'uréase, notamment présente dans les fèces et les litières, l'urée est hydrolysée en ammonium. Selon les conditions de pH, de température, d'humidité et de circulation de l'air, une partie de cet ammonium peut passer sous forme ammoniacale gazeuse et se volatiliser. Ces émissions peuvent intervenir dans les bâtiments, lors du stockage des fumiers ou des lisiers, au pâturage et au moment de l'épandage. Dans les systèmes bovins viande, les postes bâtiment-stockage et pâturage représentent une part importante des émissions de respectivement 36% et 15%, ce qui souligne le rôle déterminant des pratiques de logement, de gestion des déjections et de conduite des animaux au pâturage (Rapport Floréal, 2023 ; CITEPA, 2025 ; ADEME, 2025).

Les conséquences du NH_3 dans l'air sont aujourd'hui bien établies. Une fois émis, il peut être transporté dans l'atmosphère puis se redéposer sur les sols ou les milieux aquatiques. Ces dépôts azotés participent à l'acidification et à l'eutrophisation des écosystèmes (Krupa, 2003 ; Manneville *et al.,* 2022). L'ammoniac intervient aussi dans la formation de particules fines secondaires, notamment en réagissant avec les acides formés à partir des NOx et du dioxyde de soufre. Il constitue ainsi un enjeu de qualité de l'air, avec des implications environnementales mais aussi sanitaires (CITEPA, 2025).

Ces émissions ne sont pas seulement une contrainte environnementale. Elles traduisent aussi une perte d'azote pour l'exploitation. L'azote volatilisé sous forme de NH_3 n'est plus disponible pour fertiliser les prairies ou les cultures. Réduire ces pertes constitue donc un levier à la fois environnemental et agronomique, en améliorant la valorisation des effluents et en limitant le recours aux apports extérieurs. Cette logique rejoint les travaux consacrés à la gestion de l'azote en élevage, qui soulignent l'importance de réduire les pertes gazeuses pour améliorer l'efficience globale des systèmes herbivores (Peyraud *et al.,* 2012 ; Foray *et al.,* 2017).

Les émissions de NH_3 lies à l'élevage bovin ont diminué de 18% entre 1990 et 2019, du fait d'une diminution du cheptel, de la réglementation et de l'évolution des pratiques (Manneville, 2022). Concernant ce dernier aspect, l'alimentation constitue un premier levier, car une ration trop riche en protéines accroît l'excrétion d'azote uréique, facilement transformable en ammoniac (Edouard *et al.,* 2016 ; Espagnol, Brame et Dourmad, 2019). À l'inverse, ajuster les apports protéiques aux besoins des animaux limite les rejets azotés sans nécessairement pénaliser les performances. La

nature des effluents, leur durée de présence en bâtiment, la fréquence de curage, l'état des litières, la ventilation et les modalités de stockage influencent également les pertes (Rapport Ominea 2025). À l'épandage, les conditions chaudes, sèches et venteuses, ainsi qu'une exposition prolongée des effluents à l'air libre, favorisent la volatilisation. L'enfouissement rapide, l'injection ou l'épandage dans des conditions météorologiques adaptées permettent de la réduire (Espagnol, Brame et Dourmad, 2019). Au pâturage, la répartition des déjections est également déterminante, car les zones de repos, d'abreuvement ou d'affouragement peuvent concentrer les dépôts et accroître localement les pertes. À l'horizon 2030, la réduction des émissions de NH_3 constitue un objectif important pour le secteur agricole. La directive (UE) 2016/2284 fixe pour la France un objectif de –13% par rapport à 2005. Des progrès ont déjà été réalisés, notamment grâce à l'ajustement des apports protéiques dans l'alimentation animale, à la couverture des fosses de stockage et à l'utilisation de matériels d'épandage moins émissifs. Ces pratiques, associées à la baisse du cheptel bovin, devraient contribuer à poursuivre la diminution des émissions de NH_3 (Manneville, 2022 ; Directive 2016/2284).

À côté de l'ammoniac, les oxydes d'azote (NOx) constituent un autre groupe de composés atmosphériques à considérer. Ils regroupent principalement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). En agriculture, ils proviennent surtout de la combustion des carburants par les engins agricoles, mais peuvent aussi être produits par les transformations microbiennes de l'azote dans les sols, notamment après fertilisation ou restitution de déjections (CITEPA, 2025). Ils doivent être distingués du protoxyde d'azote (N_2O), qui, quant à lui, se caractérise principalement par son importance climatique en tant que gaz à effet de serre. La contribution de l'élevage allaitant aux émissions de NO_x reste plus modeste que pour le NH_3. Néanmoins, les NO_x interagissent dans l'atmosphère avec le méthane et d'autres composés réactifs et contribuent ainsi à la production d'ozone troposphérique, notamment sous l'action du rayonnement solaire (Akimoto, 2022).Ils contribuent également aux dépôts azotés, qui peuvent favoriser l'eutrophisation ou l'acidification des milieux sensibles (Agence européenne pour l'environnement, 2019 ; CITEPA, 2025). Le NO2 est également associé à des effets délétères sur le plan respiratoire (Lacroix, 2013).

D'autres émissions existent, mais elles occupent une place plus secondaire. Les composés organiques volatils non méthaniques peuvent être émis lors de la fermentation des fourrages, de la gestion des fumiers ou par les cultures. Ils jouent également un rôle dans la formation d'ozone troposphérique, même si les estimations restent plus incertaines (CITEPA, 2025 ; Rapport Ominea 2025). Les particules sont surtout liées à la manipulation des fourrages, des litières et des fumiers, ainsi qu'aux travaux agricoles, et constituent principalement un enjeu local. Enfin, le monoxyde de carbone est essentiellement associé aux phénomènes de combustion et représente une contribution secondaire du secteur agricole (CITEPA 2025).

Ainsi, les émissions atmosphériques hors gaz à effet de serre des élevages bovins allaitants relèvent principalement de la dynamique de l'azote. L'ammoniac en constitue le principal point de vigilance, mais les marges de progrès sont concrètes. Elles reposent sur l'ajustement de l'alimentation, la gestion des bâtiments et des effluents, les conditions d'épandage et la répartition des déjections au pâturage. L'enjeu n'est donc pas de considérer ces émissions comme une fatalité, mais de améliorer l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE) et réduire les pertes d'azote vers l'air et l'eau dans le système sol-plante-animal.

Ces émissions ne peuvent toutefois pas être analysées isolément. Une fraction de l'azote des déjections est perdue vers l'air, tandis qu'une autre est restituée au sol. Elle participe alors à la fertilité des prairies et des cultures, mais peut aussi générer des déséquilibres lorsque les apports dépassent les besoins des végétaux. Le sol apparaît ainsi comme un compartiment charnière des systèmes allaitants, à la fois support de production, réservoir de biodiversité, filtre pour l'eau et espace de stockage de matière organique.

III. LE SOL, COMPARTIMENT CLE DES SYSTEMES ALLAITANTS

Le sol occupe une place centrale dans les systèmes bovins allaitants. Il constitue à la fois le support de production des prairies et des cultures fourragères, un compartiment recevant et transformant une partie des déjections animales, un réservoir de matière organique, un filtre pour l'eau et un habitat pour une grande diversité d'organismes vivants. L'élevage agit donc sur ce compartiment de manière directe, par le pâturage et le piétinement, mais aussi de manière indirecte, à travers la gestion des effluents, des rotations et des surfaces fourragères.

Ces effets sont contrastés. Certaines pratiques peuvent fragiliser les sols, notamment en cas de surpâturage, de tassement, d'excès localisés de nutriments ou de mauvaise gestion des effluents. À l'inverse, les systèmes allaitants herbagers contribuent souvent au maintien d'un couvert végétal permanent, au recyclage de la matière organique et à la protection contre l'érosion. C'est donc moins la présence de l'élevage en elle-même qui détermine l'état des sols que la manière dont le pâturage, les prairies et les déjections sont gérés.

Le premier point de vigilance concerne le tassement, à savoir que le chargement moyen en France était de 1,06 UGB/ha de SFP en 2020 (Perrot, 2023). Les bovins exercent une pression mécanique importante sur le sol, en particulier dans les zones de passage, autour des abreuvoirs, des râteliers ou des entrées de parcelles. Lorsque le pâturage intervient sur des sols humides ou avec des chargements trop élevés, le piétinement peut réduire la porosité, limiter l'infiltration de l'eau et perturber les échanges gazeux. Ces phénomènes peuvent affecter la croissance de l'herbe et accroître le risque de ruissellement. Les travaux de Greenwood et McKenzie (2001) rappellent que les bovins, du fait de leur poids et de la pression exercée par leurs sabots, sont particulièrement concernés par ce risque. Toutefois, dans le contexte français allaitant, le chargement moyen faible et en baisse (1,06 UGB/ha de SFP en 2020, contre 1.15 UGB/ha en 2010 et 1.19 UGB/ha en 2000)(Perrot, 2023) rend les phénomènes tassement généralement localisés. Le risque existe surtout lors de pâturage sur sols humides, autour des points de concentration et lors de chargements élevés. ; il s'agit davantage d'un risque localisé que d'un impact systématique.et peuvent être limitées par une gestion adaptée du pâturage.

Le pâturage influence également la chimie des sols. Les déjections restituées directement au champ apportent de l'azote, du phosphore, du potassium et de la matière organique. Elles participent ainsi au recyclage des nutriments et à la fertilité des prairies. Cette restitution reste toutefois hétérogène, les urines et les fèces se concentrent parfois dans certaines zones, notamment autour des points d'eau ou des zones de repos. Ces apports localisés peuvent entraîner, ponctuellement, des excès d'azote et contribuer à une acidification locale ou à des pertes vers l'air et l'eau. Les travaux de Haynes et Williams (1993) ont notamment montré que les dépôts urinaires peuvent modifier localement les équilibres chimiques du sol, en particulier lorsque la couverture végétale est insuffisante.

Au-delà des parcelles pâturées, les effluents d'élevage jouent un rôle majeur dans la fertilité des sols. Les fumiers, lisiers et composts apportent de la matière organique et des éléments nutritifs, réduisant le recours aux engrais minéraux lorsqu'ils sont correctement valorisés. Cette logique de recyclage est au cœur des systèmes de polyculture-élevage et des exploitations herbivores. Elle participe au recouplage des cycles du carbone, de l'azote et du phosphore, principe souligné par Soussana et Lemaire (2014) et Dumont *et al.* (2016). À l'inverse, lorsque les apports dépassent les besoins des prairies ou des cultures, les excédents peuvent conduire à une accumulation de nutriments, notamment de phosphore, ou à des pertes vers l'eau et l'air.

Les effluents peuvent aussi contenir certains contaminants, en particulier des éléments traces métalliques comme le cuivre ou le zinc, issus notamment de la complémentation alimentaire, ainsi que des résidus de médicaments vétérinaires. Leur accumulation dans les sols reste généralement progressive et dépend fortement des pratiques d'élevage, des doses épandues et de la fréquence des apports. Ces enjeux, plus discrets que les problématiques d'azote ou de phosphore, sont néanmoins importants à suivre dans une logique de durabilité à long terme. Les expertises de Houot *et al.* (2014) et les travaux de Lumaret et Kadiri (2018) soulignent notamment l'intérêt de mieux caractériser

le devenir des résidus médicamenteux et leurs effets potentiels sur les organismes du sol.

Les prairies permanentes constituent, à l'inverse, l'un des principaux atouts des systèmes bovins allaitants pour la préservation des sols. Leur couvert végétal continu protège la surface contre l'impact des pluies, limite le ruissellement et réduit fortement les pertes par érosion. Le système racinaire dense des graminées et des légumineuses améliore la stabilité structurale du sol, favorise l'infiltration de l'eau et contribue au stockage de matière organique. À ce titre, les systèmes herbagers se distinguent nettement des systèmes reposant davantage sur des cultures annuelles, plus exposées aux périodes de sol nu. L'Institut de l'élevage (Idele) rapporte ainsi des pertes de sol nettement plus faibles sous prairie que sous culture annuelle, ce qui confirme le rôle protecteur du couvert prairial (Idele, 2021).

La place des légumineuses dans les prairies ou les rotations renforce encore cet intérêt. Grâce à leur capacité de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, elles améliorent l'autonomie azotée des systèmes et réduisent le besoin d'intrants minéraux. Elles participent aussi à la diversité végétale, à la structuration du sol et à la disponibilité des nutriments pour les cultures suivantes. Les travaux de Vertes *et al.* (2010), Peyraud, Taboada et Delaby (2014) ou encore Lüscher *et al.* (2014) montrent que les associations graminées-légumineuses permettent de concilier production fourragère, fertilité des sols et limitation des pertes azotées.

Le fonctionnement biologique des sols est également favorisé par les systèmes prairiaux. Les prairies permanentes hébergent une forte activité microbienne, une faune abondante et des communautés d'organismes impliquées dans la décomposition de la matière organique, la minéralisation des nutriments et la structuration du sol. Les vers de terre, collemboles, acariens, nématodes, bactéries et champignons contribuent, ensemble, à la fertilité biologique. Les apports réguliers de fumiers ou de composts peuvent stimuler cette activité, en fournissant de la matière organique fraîche et en soutenant les communautés microbiennes et enzymatiques. L'expertise MAFOR (MAtières Fertilisantes d'Origine Résiduaire) (Houot *et al.,* 2014), ainsi que les travaux de Diacono et Montemurro (2010), soulignent l'effet généralement positif des fertilisants organiques sur la biomasse microbienne et l'activité enzymatique des sols.

Pour autant, ces bénéfices reposent sur un équilibre. Un pâturage trop intense, des apports d'effluents mal répartis, des retournements fréquents de prairies ou une simplification excessive des rotations peuvent fragiliser les fonctions du sol. À l'inverse, le maintien des prairies permanentes, la maîtrise du chargement, l'adaptation du pâturage aux conditions climatiques, la bonne répartition des effluents et l'introduction de légumineuses constituent des leviers favorables à la durabilité des sols.

Ainsi, dans de nombreux systèmes bovins allaitants français, les facteurs de protection des sols apparaissent prépondérants par rapport aux pressions exercées. La forte place de l'herbe dans l'assolement, qui peut dépasser 90 % dans certains systèmes, associée à un chargement moyen de 1,06 UGB/ha de SFP en 2020 (Perrot, 2023), favorise le maintien d'un couvert végétal pérenne et limite les risques de dégradation liés à une forte concentration animale. Ces effets protecteurs n'excluent toutefois pas des points de vigilance localisés, notamment en matière de piétinement sur sols humides, d'accumulation de nutriments ou de gestion des effluents. L'intérêt environnemental de ces systèmes repose ainsi largement sur leur capacité à maintenir durablement les prairies, à assurer un recyclage efficace des nutriments et à préserver la structure et l'activité biologique des sols. Dans les territoires herbagers, le sol apparaît comme un compartiment stratégique, car il conditionne à la fois la production fourragère, la qualité de l'eau, le stockage de matière organique et la résilience globale des exploitations.

Cette fonction d'interface explique le lien direct avec le compartiment aquatique. Les sols reçoivent les déjections, stockent une partie des nutriments, transforment la matière organique et conditionnent l'infiltration de l'eau. Mais lorsque les apports dépassent les capacités d'absorption des plantes ou de rétention du sol, certains éléments peuvent être transférés vers les milieux aquatiques. L'analyse du compartiment eau prolonge ainsi naturellement celle des sols, en s'intéressant à la fois aux volumes mobilisés par les élevages et aux risques de pollution diffuse liés notamment aux nitrates, au phosphore et à certains contaminants.

IV. L'EAU, ENTRE RESSOURCE MOBILISEE ET QUALITE A PRESERVER

Après le sol, l'eau constitue l'un des compartiments les plus directement concernés par les activités d'élevage. Les systèmes bovins allaitants mobilisent de l'eau pour l'abreuvement des animaux, l'entretien des bâtiments et, plus indirectement, pour la production des fourrages et des aliments consommés par le troupeau. Mais l'enjeu hydrique ne se limite pas aux volumes utilisés. Il concerne aussi la qualité des eaux superficielles et souterraines, exposées aux transferts de nitrates, de phosphore ou de certaines substances chimiques.

La consommation d'eau en élevage bovin est souvent résumée à des chiffres spectaculaires, comme celui des « 15 000 litres d'eau pour produire un kilogramme de viande bovine ». Cette valeur repose sur la méthode du Water Footprint Network, qui additionne l'eau bleue, correspondant aux prélèvements dans les eaux de surface ou souterraines, l'eau grise, associée à la dilution théorique des polluants, et surtout l'eau verte, c'est-à-dire l'eau de pluie utilisée par les prairies et les cultures. Or, dans les systèmes allaitants herbagers, cette lecture doit être nuancée. L'eau de pluie valorisée par une prairie permanente ne correspond pas à un prélèvement direct dans une nappe ou un cours d'eau. Les travaux de Hoekstra et Chapagain (2007), Mekonnen et Hoekstra (2010 ; 2012), puis les analyses critiques de Doreau, Farruggia et Veysset (2017), invitent ainsi à distinguer les volumes théoriques d'eau mobilisés des pressions réelles exercées sur la ressource.

Les approches plus récentes, comme celle mobilisée par l'Idele à partir des données Agribalyse, privilégient l'empreinte « eau consommative » selon la norme ISO 14046. Cette méthode tient compte des volumes d'eau consommés, mais aussi du niveau de stress hydrique du territoire où les prélèvements ont lieu. Dans les systèmes bovins viande français, l'alimentation des animaux représente le principal poste de consommation d'eau, tandis que l'abreuvement direct ne constitue qu'une partie limitée de l'empreinte globale (Fossey *et al.,* 2024). Cette lecture territorialisée est particulièrement importante pour les élevages allaitants français, majoritairement implantés dans des zones herbagères où les prairies permanentes valorisent des ressources fourragères locales.

L'enjeu de la qualité de l'eau demeure toutefois central. Les nitrates constituent le premier point de vigilance, en raison de leur forte mobilité dans les sols. Ils proviennent de la transformation de l'azote organique ou minéral en nitrate, forme soluble susceptible d'être entraînée vers les nappes ou les cours d'eau lorsque les apports dépassent les besoins des végétaux ou sont mal synchronisés avec les périodes d'absorption. Cette problématique est au cœur de la Directive nitrates, qui encadre les pratiques agricoles dans les zones vulnérables et fixe notamment une limite de concentration de 50 mg/L dans les eaux destinées à la consommation humaine.

Dans les systèmes d'élevage, les pertes nitriques dépendent des bilans azotés, du chargement animal, de la gestion des effluents, du calendrier d'épandage et des conditions pédoclimatiques. Le simple bilan azoté ne suffit cependant pas à prédire le risque de lixiviation. La couverture végétale, la nature du sol, la période des apports et la capacité des prairies à absorber ou stocker l'azote jouent un rôle déterminant (Chatellier et Vérité 2003 ; Vertes *et al.,* 2009 ; Peyraud *et al.,* 2012). Dans ce cadre, les prairies permanentes constituent un atout majeur. Leur couvert végétal continu capte l'azote sur une longue période, limite les sols nus en hiver et réduit les risques de lessivage par rapport aux cultures annuelles. Les analyses de Manneville et al. (2017) confirment ainsi le rôle protecteur des zones herbagères vis-à-vis de la qualité de l'eau.

Le phosphore représente un second enjeu important. Moins mobile que les nitrates, il est principalement transféré vers les milieux aquatiques par ruissellement, érosion ou drainage préférentiel. En excès, il peut contribuer à l'eutrophisation des eaux douces. Le phosphore présente ainsi un double statut, à la fois ressource stratégique non renouvelable et facteur de pollution lorsqu'il s'accumule dans les sols. Dans les élevages bovins allaitants, il circule essentiellement entre les fourrages, les animaux et les déjections. Cette logique de recyclage est favorable lorsqu'elle reste équilibrée, mais des excédents peuvent apparaître

lorsque les effluents sont régulièrement apportés sur les mêmes parcelles ou lorsque les stocks déjà présents dans les sols sont insuffisamment pris en compte.

À ces enjeux de nutriments s'ajoutent les substances phytosanitaires et vétérinaires. Les systèmes allaitants herbagers présentent généralement un recours limité aux produits phytopharmaceutiques, en particulier sur les prairies permanentes. Cette faible utilisation est notamment liée à la forte proportion de surfaces fourragères dans ces systèmes. Les travaux de Tresch, Chartier et Combourieu (2019), conduits sur des exploitations de polyculture-élevage bovin, montrent ainsi que l'usage des produits phytopharmaceutiques, mesuré par l'indicateur de fréquence de traitement (IFT), est étroitement lié à la proportion de surfaces labourables : plus la part des surfaces fourragères est importante, plus l'IFT à l'échelle du système tend à être faible. Dans les systèmes bovins allaitants fortement herbagers, cette caractéristique constitue donc un facteur favorable à la limitation des transferts de produits phytopharmaceutiques vers les milieux aquatiques.. À l'inverse, certaines cultures annuelles destinées à l'alimentation animale peuvent contribuer, selon les contextes, aux pressions liées aux herbicides ou à leurs métabolites. Les résidus de médicaments vétérinaires, notamment certains antiparasitaires ou antibiotiques, peuvent également rejoindre les sols puis les eaux via les déjections ou l'épandage d'effluents. Au-delà de la présence de ces molécules dans l'environnement, l'usage des antibiotiques constitue un enjeu particulier en raison du risque de sélection et de dissémination de bactéries résistantes et de gènes de résistance par les déjections et les produits résiduaires organiques d'origine animale (Bachelot, 2020). La maîtrise de ces risques repose ainsi à la fois sur un usage raisonné des médicaments vétérinaires et sur une gestion appropriée des effluents, En France, une enquête de terrain réalisée en 2015 auprès de 22 élevages bovins a montré une utilisation des antibiotiques plus faible chez les bovins adultes allaitants que chez les bovins adultes laitiers, avec respectivement une médiane de 0,51 et 2,93 traitements par animal et par an (Mlala *et al.,* 2018 ; Lumaret et Kadiri, 2018).

Au final, l'impact des élevages bovins allaitants sur l'eau ne peut être réduit ni à une consommation brute, ni à un risque unique de pollution. Les systèmes herbagers présentent des atouts réels, liés au faible recours à l'irrigation, à la valorisation de l'eau de pluie par les prairies, à la couverture permanente des sols, à la limitation de l'érosion et à une meilleure rétention des nutriments. Mais ces bénéfices supposent une conduite cohérente, fondée sur la maîtrise du chargement, l'ajustement des apports d'azote et de phosphore, la gestion précise des effluents, le maintien des prairies permanentes et la réduction de la dépendance aux intrants extérieurs. Les interactions entre élevage allaitant, sols et eau montrent enfin que les impacts environnementaux ne se limitent pas aux volumes consommés ou aux risques de pollution diffuse. Les prairies, les haies, les mares, les zones humides et les mosaïques paysagères qui structurent de nombreux territoires d'élevage jouent également un rôle déterminant pour la biodiversité. L'analyse doit donc être élargie aux paysages et aux habitats associés aux systèmes bovins allaitants, afin d'évaluer non seulement les pressions exercées par l'élevage, mais aussi les services écologiques qu'il peut rendre lorsqu'il maintient des milieux ouverts, diversifiés et fonctionnels.

V. BIODIVERSITE ET PAYSAGES, DES SERVICES LIES AUX SYSTEMES HERBAGERS

Les systèmes bovins allaitants ne peuvent être résumés à une fonction de production. Par leur implantation dans les zones herbagères, bocagères, de montagne ou de piémont, ils participent aussi à la structuration des paysages ruraux et au maintien d'habitats favorables à la biodiversité. Cette dimension est essentielle, car l'évaluation environnementale de l'élevage ne peut pas se réduire aux seuls flux d'azote, de phosphore ou de gaz. Les prairies permanentes, les haies, les mares, les ripisylves et les mosaïques de parcelles constituent autant d'éléments paysagers qui abritent une diversité d'espèces et soutiennent des fonctions écologiques majeures.

Ainsi, la biodiversité agricole dépend fortement de la diversité des milieux. Or, les territoires

d'élevage herbager conservent souvent une mosaïque paysagère plus complexe que les zones spécialisées en grandes cultures. L'association de prairies, de haies, de bosquets, de fossés, de mares et de cultures fourragères crée une diversité d'habitats favorable aux insectes, aux oiseaux, aux petits mammifères, aux amphibiens et aux auxiliaires des cultures. À l'inverse, la simplification des paysages agricoles, l'agrandissement des parcelles et la disparition des infrastructures agroécologiques sont reconnus comme des facteurs de déclin de la biodiversité (Le Roux *et al.,* 2008 ; Sirami *et al.,* 2019). Dans ce contexte, les systèmes allaitants peuvent contribuer au maintien de milieux ouverts et semi-ouverts qui se fermerait progressivement en l'absence d'élevage.

Les prairies permanentes jouent ici un rôle central. Elles offrent un couvert végétal stable, peu perturbé par le travail du sol. Leur flore, lorsqu'elle est diversifiée, fournit des ressources alimentaires et des habitats pour de nombreux invertébrés, pollinisateurs et espèces prairiales. Leur maintien permet aussi de limiter l'embroussaillement ou le boisement spontané de certains milieux, notamment dans les zones difficiles à mécaniser. Cette fonction d'entretien des paysages est particulièrement importante dans les territoires où l'élevage reste l'une des seules activités capables de valoriser durablement l'herbe.

Les haies et les autres infrastructures agroécologiques renforcent encore cet intérêt. En plus de constituer des corridors écologiques, elles participent à la régulation du microclimat, à la limitation du ruissellement, à la protection des sols et au stockage de carbone. Les mares, les fossés et les ripisylves complètent ce maillage en offrant des habitats spécifiques, notamment pour les amphibiens, les insectes aquatiques et certaines espèces végétales. Ces éléments ne bénéficient pas seulement à la biodiversité. Ils rendent aussi des services à l'élevage, en offrant de l'ombrage, une protection contre le vent, une meilleure régulation hydrique des parcelles et parfois une amélioration du confort animal.

Cette biodiversité concerne aussi les sols, même si ce volet a déjà été abordé à travers leur fonctionnement biologique. Les prairies et les apports organiques issus des effluents favorisent l'activité des micro-organismes, des vers de terre et d'une faune du sol impliquée dans la décomposition de la matière organique, la structuration des horizons et le recyclage des nutriments. Cette biodiversité fonctionnelle contribue directement à la fertilité des sols et à la résilience des systèmes herbagers. Elle rappelle que les services écologiques rendus par les élevages allaitants ne sont pas uniquement visibles dans le paysage, mais concernent aussi les processus biologiques souterrains.

Ces bénéfices ne doivent toutefois pas masquer certains points de vigilance. L'utilisation de produits phytopharmaceutiques sur les cultures associées, la simplification des rotations, l'arasement des haies ou l'usage de certains médicaments vétérinaires peuvent affecter des organismes non cibles. Les antiparasitaires, par exemple, peuvent perturber les insectes coprophages impliqués dans la dégradation des bouses, tandis que les antibiotiques soulèvent des enjeux liés à l'antibiorésistance (Lumaret et Kadiri, 2018 ; ANSES 2021). La contribution positive de l'élevage à la biodiversité dépend donc étroitement des pratiques mises en œuvre.

Ainsi, les élevages bovins allaitants peuvent jouer un rôle structurant dans la préservation de la biodiversité et des paysages, à condition de maintenir leur base herbagère, de préserver les infrastructures agroécologiques et de limiter les intrants à risque. Dans de nombreux territoires, l'enjeu n'est pas seulement de réduire les impacts de l'élevage, mais aussi de reconnaître et de conforter les services écologiques rendus par les systèmes herbagers.

VI. CONCLUSION

L'analyse des différents compartiments environnementaux montre que l'élevage bovin allaitant ne peut être réduit ni à une source de pollution, ni à un modèle naturellement vertueux. Ses effets dépendent étroitement des pratiques mises en œuvre, des territoires concernés et de la place accordée aux prairies permanentes. Les émissions d'ammoniac, les pertes possibles de nitrates ou de phosphore, le tassement des sols ou certains usages de produits vétérinaires constituent de réels points de

vigilance. Ils appellent une gestion rigoureuse de l'alimentation, des effluents, du pâturage et des surfaces fourragères.

Ces pressions doivent toutefois être mises en regard des services rendus par les systèmes herbagers. En maintenant des prairies permanentes, des haies, des mares et des mosaïques paysagères, les élevages allaitants contribuent à préserver des sols vivants, à limiter l'érosion, à protéger la qualité de l'eau et à soutenir une biodiversité fonctionnelle. Dans de nombreux territoires, notamment les zones herbagères, bocagères ou de montagne, l'élevage demeure aussi un levier de valorisation de surfaces difficilement cultivables et de maintien de milieux ouverts.

Cette diversité d'effets souligne surtout la nécessité d'une approche multicritère. Une amélioration sur un indicateur environnemental peut en effet s'accompagner de contreparties sur un autre: réduire certaines émissions peut modifier les besoins en intrants ou en surfaces, tandis qu'une intensification des productions végétales peut entrer en tension avec les fonctions écologiques assurées par certaines prairies. Il ne s'agit donc pas de rechercher un système « idéal » sur l'ensemble des critères, mais de raisonner les compromis entre performances environnementales, autonomie alimentaire, production, biodiversité et usages des ressources.

Ces arbitrages ne peuvent par ailleurs être analysés indépendamment du contexte dans lequel ils s'inscrivent. Les conséquences environnementales d'une même pratique peuvent varier selon les sols, le climat, le relief, la disponibilité en eau, les paysages et les débouchés agricoles. Le raisonnement à l'échelle du territoire est ainsi essentiel pour apprécier les complémentarités entre élevage et cultures, le rôle des prairies dans les paysages, la valorisation de ressources locales ou encore les services rendus aux écosystèmes. Cette approche permet de dépasser les évaluations centrées sur un seul indicateur ou sur la seule parcelle et de mieux prendre en compte les interactions entre activités agricoles et fonctionnement des territoires.

L'enjeu n'est donc pas d'opposer élevage et environnement, mais d'identifier, à l'échelle du système et du territoire, les combinaisons de pratiques permettant de réduire les pressions environnementales tout en maintenant ou en renforçant les fonctions écologiques et territoriales des systèmes herbagers. Une telle approche multicritère, attentive aux compromis et aux contextes locaux, apparaît indispensable pour éviter les diagnostics trop simplistes et accompagner les transitions de la filière sur des bases scientifiques solides. La question climatique occupe cependant une place particulière parmi les enjeux environnementaux associés à l'élevage bovin. Les émissions de méthane entérique, de protoxyde d'azote et de dioxyde de carbone, mais aussi le stockage de carbone dans les sols et les haies, nécessitent une analyse spécifique. Ce sera l'objet du deuxième volet de cette série de trois articles, consacré au bilan des gaz à effet de serre des élevages bovins allaitants français, à ses méthodes d'évaluation et aux facteurs qui expliquent sa forte variabilité entre systèmes.

Références

Ademe (2025). Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques - Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air, disponible à l'adresse : https://librairie.ademe.fr/air/8885-guide-des-bonnes-pratiques-agricoles-pour-l-amelioration-de-la-qualite-de-l-air.html#

Akimoto, H., & Tanimoto, H. (2022). Rethinking of the adverse effects of NOx-control on the reduction of methane and tropospheric ozone – Challenges toward a denitrified society. Atmospheric Environment, 277, 119033. doi: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119033

Bachelot, M., & Hocquet, D. (2020). Antibiorésistance et environnement : état et causes possibles de la contamination des milieux en France par les antibiotiques et par les bactéries résistantes aux antibiotiques et supports génétiques de la résistance. Anses, 17 novembre 2020. Disponible à l'adresse :

https://www.anses.fr/fr/content/avis-et-rapport-de-lanses-relatif-antibioresistance-et-environnement-etat-et-causes

Chatellier, V., & Vérité, R. (2003). L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ? INRAE Productions Animales, 16, 231-249. Disponible à l'adresse : https://productions-animales.org/article/view/3662

Citepa. (2023). Rapport Floréal. Disponible à l'adresse : https://www.citepa.org/donnees-air-climat/donnees-gaz-a-effet-de-serre/floreal/

Citepa. (2025). Rapport Ominea. Disponible à l'adresse : https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea/

Citepa. (2025). Rapport Secten – Emissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques 1990-2024. Disponible à l'adresse : https://www.citepa.org/le-rapport-secten-edition-2025-vient-detre-publie/

Diacono, M., & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30, 401-422. doi: https://doi.org/10.1051/agro/2009040

Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. (2016). Directive (UE) 2016/2284 du 14 décembre 2016 relative à la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Disponible à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000035464615

Doreau, M., Farruggia, A., & Veysset, P. (2017). Aménités et impacts sur l'environnement des exploitations françaises élevant des bovins pour la viande. INRA Productions Animales, 30, 165-177.

Dumont, B., Dupraz, P., Aubin, J., Benoit, M., Chatellier, V., Bouamra-Mechemache, Z., Delaby, L., Delfosse, C., Dourmad, J.-Y., Duru, M., Frappier, L., Friant-Perrot, M., Gaigné, C., Girard, A., Guichet, J.-L., Havlik, P., Hostiou, N., Huguenin-Elie, O., Klumpp, K., Langlais, A., Lavenant, S., Le Perchec, S., Lepiller, O., Méda, B., & Donnars, C. (2016). Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe. Synthèse de l'expertise scientifique collective. INRA, 127 p. doi: https://doi.org/10.15454/C0HW-K742. Disponible à l'adresse : https://hal.science/hal-01595470v1/document

Edouard, N., Hassouna, M., Robin, P., & Faverdin, P. (2016). Low degradable protein supply to increase nitrogen efficiency in lactating dairy cows and reduce environmental impacts at barn level. Animal, 10, 212-220. doi: https://doi.org/10.1017/S1751731115002050

Espagnol, S., Brame, C., & Dourmad, J.-Y. (2019). Pratiques d'élevage et environnement : mesurer, évaluer, agir. Versailles : Éditions Quae, coll. Savoir-faire. ISBN 978-2-7592-3061-7.

European Environment Agency. (2019). Air quality in Europe. doi: https://doi.org/10.2800/02825

Foray, S., Billy, C., Manneville, V., Dollé, J. B., Le Gall, A., Vertès, F., & Godinot, O. (2017). Gestion de l'azote dans les systèmes d'élevages herbivores. Evaluation et amélioration de l'efficience de l'azote, réduction des transferts vers les milieux aquatiques. Collection Résultats Idele, Institut de l'Élevage, 97 p. Disponible à l'adresse : https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/MAA_Effluent/Efficience_de_l_azote_en_elevages_herbivores_Idele_AFB.pdf

Fossey, M., Bertrand, E., Brocas, C., & Dollé, J.-B. (2024). L'eau en élevage de ruminants : depuis les prélèvements jusqu'aux impacts. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 27, 265. Disponible à l'adresse : https://hal.science/hal-05109073/document

Greenwood, K. L., & McKenzie, B. M. (2001). Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture, 41(8), 1231-1250. doi: https://doi.org/10.1071/EA00102

Haynes, R. J., & Williams, P. H. (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. Advances in Agronomy, 49, 119-199. Elsevier. ISBN 978-0-12-000749-3.

Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management, 21(1), 35-48. doi: https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x

Houot, S., Pons, M. N., Pradel, M., Caillaud, M. A., Savini, I., & Tibi, A. (2014). Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier : impacts agronomiques,

environnementaux, socio-économiques. Résumé de l'expertise scientifique collective. INRA. doi: https://doi.org/10.15454/1HMM-WE49. Disponible à l'adresse : https://hal.inrae.fr/hal-02801920

Idele. (2021). Les chiffres clés des prairies et des parcours. Les atouts et caractéristiques des prairies et parcours en France, au cœur des territoires et au menu des ruminants. Disponible à l'adresse : https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F7ee4dd2b-278a-4490-a462-70da75ead88b&cHash=d0f97c0946b2a30777ab2634cf024751

Krupa, S. V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH3) on terrestrial vegetation: a review. Environmental Pollution, 124, 179-221. doi: https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00434-7

Lacroix, G. (2013). Effet d'une exposition répétée au dioxyde d'azote et/ou à des nanoparticules de carbone sur la fonction pulmonaire, la réactivité bronchique et l'inflammation chez le rat sensibilisé à l'ovalbumine. Rapport scientifique INERIS 2012-2013, 41-42. Disponible à l'adresse : https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/ineris-rapportscientifique2012-2013-final-1389193584.pdf

Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, É., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.-P., & Trommetter, M. (2008). Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies : synthèse du rapport d'expertise. INRA, 116 p. doi: https://doi.org/10.15454/CHZ5-0922

Lumaret, J.-P., & Kadiri, N. (2018). Les médicaments vétérinaires et leurs résidus : quels risques pour les organismes non cibles et le fonctionnement des écosystèmes ? Bulletin des GTV, numéro spécial 2018, 93-100. Disponible à l'adresse : https://www2.sngtv.org/article-bulletin/les-medicaments-veterinaires-et-leurs-residus-quels-risques-pour-les-organismes-non-cibles-et-le-fonctionnement-des-ecosystemes/

Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.-F., Rees, R. M., & Peyraud, J.-L. (2014). Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. Grass and Forage Science, 69, 206-228. doi: https://doi.org/10.1111/gfs.12124

Manneville, V., El Jabri, M., Divo, C., & Foray, S. (2017). Contribution de l'élevage d'herbivores à l'amélioration de la teneur en nitrates de l'eau en France. Dynamiques d'évolution de la teneur en nitrates des eaux en France en lien avec les moyens techniques et agronomiques mis en œuvre dans les fermes d'élevage d'herbivores. Collection Résultats, Institut de l'Élevage, Paris, 114 p. Disponible à l'adresse : https://oai-gem.ofb.fr/exl-php/document-affiche/ofb_recherche_oai/OUVRE_DOC/60471?vue=ofb_recherche_oai&action=OUVRE_DOC&cid=60471&fic=PUBLI/R18/76.pdf

Manneville, V., Vergé, X., Chambaut, H., Durand, A., Mathias, M., & Foray, S. (2022). RUMINH3 : élevage de ruminants et émissions d'ammoniac. INTERBEV. Disponible à l'adresse : https://idele.fr/detail-article/compte-rendu-ruminh3-elevage-de-ruminants-et-emissions-dammoniac

Manneville, V., Vergé, X., Grégoire, M., & André, E. (2023). Leviers d'action pour réduire les émissions d'ammoniac en élevages bovins. Institut de l'Élevage (IDELE). Disponible à l'adresse : https://idele.fr/en/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F11a1b639-ae09-48bb-b558-570ec90eaa5a&cHash=ae10618686f6f515faaf0d0a7f6bebe0

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 1: Main Report. Value of Water Research Report Series, No. 48. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, 50 p. Disponible à l'adresse : https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/59481062/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems, 15(3), 401-415. doi: https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8

Mlala, S., Jarrige, N., & Gay, E. (2018). Estimation de l'utilisation des antibiotiques par les éleveurs de bovins laitiers et allaitants : enquête de terrain basée sur les documents d'élevage. Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation, 84, 1-5. Disponible à l'adresse : https://mag.anses.fr/fr/node/1664?utm

Perrot, C. (2023). L'élevage bovin viande au recensement agricole 2020 : diversité, spécificités, évolutions. Résumé de l'étude – juin 2023. Institut de l'Élevage (IDELE). Disponible à l'adresse : https://idele.fr/detail-

article/lelevage-bovin-viande-au-recensement-agricole-2020-diversite-specificites-evolutions-resume-de-letude-juin-2023

Peyraud, J.-L., Cellier, P., Donnars, C., Réchauchère, O., Aarts, F., Béline, F., Bockstaller, C., Bourblanc, M., Cellier, P., Delaby, L., Dourmad, J.-Y., Dupraz, P., Durand, P., Faverdin, P., Fiorelli, J.-L., Gaigné, C., Kuikman, P., Langlais, A., Le Goffe, P., Lescoat, P., Morvan, T., Nicourt, C., Parnaudeau, V., Peyraud, J.-L., Rochette, P., Vertès, F., & Veysset, P. (2012). Les flux d'azote liés aux élevages : réduire les pertes, rétablir les équilibres. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective. INRA, 68 p. Disponible à l'adresse : https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/3a0ea7ccd43b9e4c291d822bcb5e2e7d.pdf

Peyraud, J.-L., Taboada, M., & Delaby, L. (2014). Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: a review. European Journal of Agronomy, 57, 31-42. doi: https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.02.005

Sirami, C., Gross, N., Baillod, A. B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhausser, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Vialatte, A., Calatayud, F., Gil-Tena, A., Tischendorf, L., Mitchell, S., Lindsay, K., Georges, R., Hilaire, S., Recasens, J., Solé-Senan, X. O., Robleño, I., Bosch, J., Barrientos, J. A., Ricarte, A., Marcos-Garcia, M. Á., Miñano, J., Mathevet, R., Gibon, A., Baudry, J., Balent, G., Poulin, B., Burel, F., Tscharntke, T., Bretagnolle, V., Siriwardena, G., Ouin, A., Brotons, L., Martin, J.-L., & Fahrig, L. (2019). Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(33), 16442-16447. doi: https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116

Soussana, J.-F., & Lemaire, G. (2014). Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 190, 9-17. doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012

Tresch, P., Chartier, N., & Combourieu, Q. (2019). Quels systèmes de polycultures-élevages demain face aux enjeux de réduction d'usage de produits phytosanitaires ? Innovations Agronomiques, 71, 311-322. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.15454/kkr4ar

Vertès, F., Jeuffroy, M.-H., Justes, E., Thiébeau, P., & Corson, M. (2010). Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. Innovations Agronomiques, 11, 25-43. doi: https://doi.org/10.17180/sfqh-ek72

Vertès, F., Simon, J.-C., Giovanni, R., Grignani, C., Corson, M. S., Durand, P., & Peyraud, J.-L. (2009). Flux de nitrate dans les élevages bovins et qualité de l'eau : variabilité des phénomènes et diversité des conditions. Dans : Les risques de pollution nitrique dans les systèmes prairies – élevages bovins. La diversité face à la norme. Institut de l'Élevage et Académie d'Agriculture de France, 6-26. Disponible à l'adresse : https://hal.inrae.fr/hal-02821813