

Janvier 2022

Compte-rendu RUMINH3 : élevage de ruminants et émissions d'ammoniac

Contribution aux inventaires nationaux
1990, 2010 et 2018

Evaluation de bonnes pratiques
et prospective 2035

Maître d'ouvrage : INTERBEV Hélène CHARDON

Coordonnateur du projet : Vincent MANNEVILLE

Comité de pilotage :

Thierry RAPIN, Confédération Nationale de l'Elevage

Laetitia LECOMTE, Coop de France

Floriane PROST, Fédération Nationale Bovine

Claire LEGRAND, Fédération Nationale des Producteurs Laitiers

Jennifer HUET, Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière

Emma ANDRE, Interprofession Bétail et Viande

Christophe LAPASSIN, CELENE

André LE GALL, Jean-Baptiste DOLLÉ, Institut de l'élevage

Comité scientifique et de rédaction :

Vincent MANNEVILLE, Aurore VIGAN, Xavier VERGÉ, Sylvain FORAY, Hélène CHAMBAUT, Institut de l'élevage

Anaïs DURAND et Matthieu MATHIAS, Citepa

Ce document a bénéficié des avis et de la relecture d'Emma ANDRE Interprofession Bétail et Viande et de Floriane PROST, Fédération Nationale Bovine.

Table des matières

I.	INTRODUCTION A L'ETUDE RUMIN NH_3	5
II.	LES SOURCES D'EMISSIONS D'AMMONIAC ET LES EFFETS SUR L'ECOSYSTEME TERRESTRE	7
2.1.	Les principaux polluants de l'air	7
2.2.	Les flux d'azote en agriculture et les principales sources d'ammoniac.....	7
2.3.	Les effets des émissions de NH_3 sur les écosystèmes et la santé humaine...	10
III.	REGLEMENTATION, ENGAGEMENTS INTERNATIONAUX ET INVENTAIRE DES EMISSIONS EN 2020	12
3.1.	objectifs de réduction à l'horizon 2030 de La directive NEC.....	12
3.2.	Citepa, LE Rapport Secten édition 2021	13
IV.	ANALYSE DES METHODES CITEPA, CLIM'AGRI ET CAP'2ER POUR LES CALCULS D'EMISSIONS NATIONALES	15
4.1.	Inventaires des émissions de NH_3 : Principes méthodologiques et paramètres de calcul des outils existants.....	15
4.1.1.	Méthode Citepa : inventaire des polluants à l'échelle nationale	15
4.1.2.	Méthode CLIM'AGRI : Emissions à l'échelle régionale / nationale	19
4.1.3.	Méthode CAP2'ER®: Emissions à l'échelle de l'exploitation agricole	22
4.1.4.	Synthèse des 3 méthodologies.....	27
4.2.	AMELIORER LA QUALITE DES Données d'activités BOVINES ET LA CONNAISSANCE DES bonnes pratiques POUR AJUSTER LES inventaires nH_3 REALISES PAR LE CITEPA.....	28
4.2.1.	Inventaire annuel des effectifs bovins	28
4.2.2.	Références N excréte animal actuelles et amélioration à prévoir pour apporter de la précision dans les émissions	30
4.2.3.	Analyse des leviers technologiques disponibles et des changements de pratiques agricoles pour limiter les émissions en bâtiments, au stockage, à l'épandage et au pâturage.....	33
4.3.	Cahier des charges d'amélioration des méthodes d'inventaire	36
V.	ANALYSE DES LEVIERS TECHNOLOGIQUES DISPONIBLES ET DES CHANGEMENTS DE PRATIQUES AGRICOLES POUR LIMITER LES EMISSIONS	38
5.1.	guide des bonnes pratiques PREPA.....	38
5.2.	Etat des travaux conduits dans le cadre du GENEM.....	38
5.3.	Faisabilité technico-economique.....	39
5.3.1.	Principales conclusions du rapport OAD pour l'élaboration de PREPA 2016	39
5.3.2.	Coût économique d'une couverture du stockage efficace	41
5.3.3.	Coût économique simplifié d'un épandage avec un pendillard.....	42
VI.	INVENTAIRES DE LA CONTRIBUTION DE L'ELEVAGE AUX EMISSIONS GAZEUSES NH_3 DE 1990 A 2035.	45

6.1	Matériel et méthodes	45
6.1.1.	L'outil CLIMAGRI	45
6.1.2.	Les données statistiques agricoles	45
6.1.3.	Le scénario « Tendancier bis » de GESEBOV	45
6.2	EVALUATIONS d'émissions d'ammoniac pour les années 1990, 2010, 2018 et 2035 de l'élevage bovin pour les productions de lait et de viande	46
6.2.1.	Références de paramétrage pour les effectifs de bovins laitiers et allaitants	46
6.2.2.	Références de paramétrage pour les pratiques agricoles	47
6.2.3.	Résultats des inventaires d'ammoniac globaux selon CLIMAGRI 1990, 2010, 2018 et 2035.	50
6.2.4.	Résultats de flux par secteur de production	52
6.2.5.	Résultats de flux par poste d'émissions par secteur de production	53
6.2.6.	Synthèse des résultats	55
VII.	INVENTAIRES DES EMISSIONS D'AMMONIAC EN 2035 DE L'ELEVAGE BOVIN EN FONCTION DES STRATEGIES D'ATTENUATIONS RETENUES	56
7.1	Agir sur l'alimentation des vaches laitières (AGIR 1).....	56
7.2	Agir sur les couvertures des fosses à lisier (AGIR 2)	57
7.2.1.	Hypothèse H1 : + 10 % de couvertures de fosse efficaces en 2035	58
7.2.2.	Hypothèse H2 : 70 % de fosses couvertes et 20 % couverture en croute naturelle en 2035	58
7.3	Agir sur les pratiques d'épandage (AGIR 3).....	59
7.3.1.	H1 fumier et lisier épandus sur cultures sont enfouis immédiatement ou dans les 4H après l'application, sans changer le matériel d'épandage	60
7.3.2.	H2 délais d'enfouissement court et H1 et pendillard pour 80 % du lisier	61
7.4	Agir simultanément avec tous les leviers	62
VIII.	DISCUSSION ET PERSPECTIVES.....	64
IX.	ILLUSTRATIONS REFERENCEES	67
X.	TABLEAUX REFERENCES.....	68
XI.	ANNEXES	70
XII.	BIBLIOGRAPHIE	73

I. Introduction à l'étude RUMINH₃

L'ammoniac (NH₃) est un polluant atmosphérique. En France, 93 % des émissions d'ammoniac émises dans l'atmosphère en 2019 (données Citepa) proviennent de l'agriculture. Les émissions issues des pratiques d'épandage représentent 46 % de ces émissions (28 % liées à l'application des engrais minéraux, 18 % à l'application d'engrais organiques), les animaux à la pâture représentent 16 % de ces émissions et enfin 39 % des émissions sont liées à l'élevage (bâtiments d'élevage et stockage des déjections).

Selon les dernières connaissances scientifiques en la matière, l'ammoniac et les molécules azotées résultant de sa transformation chimique sont susceptibles de dégrader la qualité de l'air, de l'eau, des sols, d'affecter le bilan des gaz à effet de serre, ainsi que d'impacter les écosystèmes et la biodiversité. L'ammoniac joue notamment un rôle important dans les processus d'acidification et d'eutrophisation, contribue à la dégradation de la biodiversité végétale ainsi qu'à la formation de particules secondaires PM10 et PM2.5 dangereuses pour la santé humaine.

L'ammoniac agit sur le compartiment air comme un gaz irritant localement mais aussi sur la production de particules en suspension. Le sol et la forêt sont également impactés par une acidification significative. Elle se traduit par une mortalité plus importante d'espèces ligneuses dans les forêts mais aussi par une augmentation de l'acidité des sols. De plus le compartiment aquatique est également impacté indirectement par les retombées d'ammoniac avec pour conséquence une augmentation de l'azote dans les milieux aquatiques favorisant des microalgues. Ces retombées atmosphériques amorcent le phénomène d'eutrophisation des eaux internes et de littorales avec pour conséquence un appauvrissement en oxygène provoquant une disparition de la faune aquatique.

En élevage, les principales émissions ont lieu en bâtiment lors du stockage des effluents et à l'occasion des épandages. De plus, l'épandage d'azote du commerce pour fertiliser certaines surfaces fourragères est également un poste d'émission significatif.

Dans une première étape, nous réalisons une quantification des émissions nationales d'ammoniac du secteur bovins lait et viande pour apprécier l'évolution des émissions de 1990 à 2035 et d'évaluer les performances des différentes pratiques de réduction des émissions.

Pour répondre à ces objectifs, le projet vise à :

- Proposer une méthodologie de quantification des émissions pour l'inventaire national qui soit validée techniquement et scientifiquement (validation technique de l'utilisation des données statistiques, ajustement des données d'activité / facteurs d'émissions spécifiques à nos systèmes d'élevage) avec le Citepa. Cette méthodologie devra intégrer les bonnes pratiques déjà mises en œuvre dans nos élevages et être sensible aux futures pratiques d'élevage à développer à moyen et long terme.
- Quantifier la contribution de l'élevage aux émissions d'ammoniac à l'aide de l'outil CLIMAGRI développé par l'ADEME. Cette quantification concerne les années 1990, 2010 et 2035 afin d'évaluer dans quelle mesure l'élevage a contribué et contribuera à l'objectif de réduction national des émissions d'ammoniac et de regarder les effets croisés sur les émissions de gaz à effet de serre.

Jusqu'à présent, les travaux menés pour évaluer la contribution des différents secteurs économiques (dont l'élevage bovin) ont été réalisés par des acteurs du cadre de réalisation des inventaires nationaux. Par ailleurs, ces échanges techniques ont été réalisés sur des demandes très ponctuelles.

Les échanges de connaissances techniques sur les pratiques d'élevage et sur les jeux de données disponibles sont restés très limités. Par conséquent, la mise en commun de choix

méthodologique aura pour but d'ajuster les inventaires d'émissions nationales d'ammoniac de l'élevage.

La seconde étape porte sur une projection de mesures techniques d'atténuation pour quantifier les effets de la réduction pour les filières bovines d'ici à 2035.

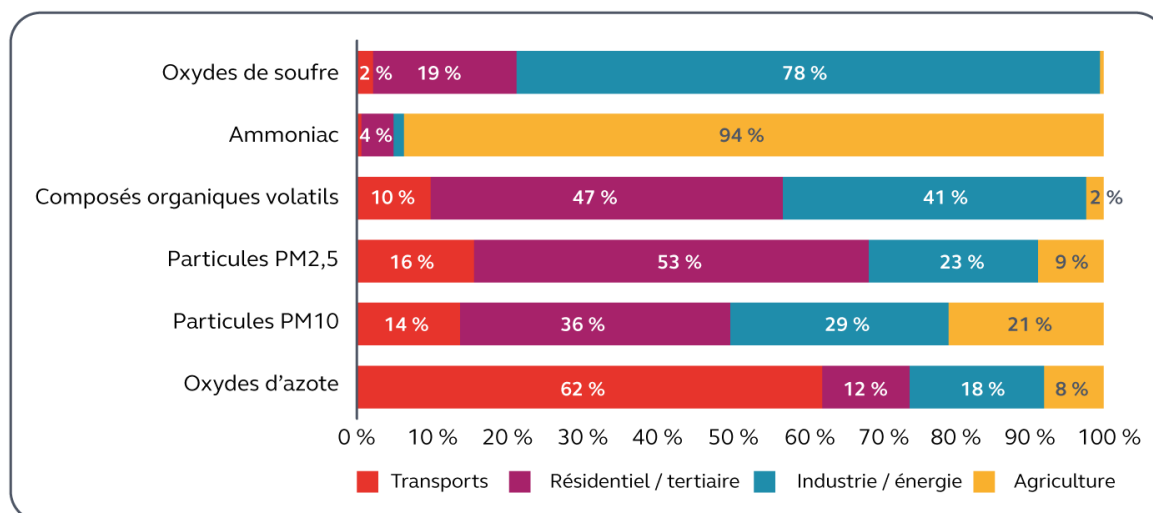
- ❑ Cahier des charges pour la méthode inventaire avec une meilleure prise en compte des données d'activités bovines, ovines et caprines des bonnes pratiques déjà mises en place dans les élevages, des paramètres de calcul (ex : TAN : azote des déjections, ...) et/ou facteurs d'émissions plus spécifiques à nos systèmes d'élevages ;
- ❑ Inventaire des Bonnes Pratiques Environnementales (BPE) à destination des éleveurs et conseillers faisant le point sur la performance des pratiques et leurs contraintes technico-économiques ;
- ❑ Contribution de l'élevage aux émissions d'ammoniac en 1990 selon la méthode CLIMAGRI ;
- ❑ Contribution de l'élevage aux émissions d'ammoniac en 2010 selon les méthodes inventaire national et CLIMAGRI ;
- ❑ Analyse prospective des émissions d'ammoniac selon les scénarios d'application des bonnes pratiques environnementales en 2030 ;
- ❑ Evaluation des gains potentiels de réduction des émissions d'ammoniac par l'application des BPE.

II. Les sources d'émissions d'ammoniac et les effets sur l'écosystème terrestre

2.1. LES PRINCIPAUX POLLUANTS DE L'AIR

L'ammoniac joue un rôle important dans la constitution de particules secondaires de nitrates d'ammonium. Sa persistance dans l'atmosphère pendant plusieurs jours permet à l'ammoniac de se diffuser sur de grandes distances.

Figure 1 : Sources des principaux polluants de l'air réglementés en France (Source : Citepa avril 2018 / format SECTEN.)



L'ammoniac est émis à 94 % par le secteur de l'agriculture alors que les oxydes d'azote sont majoritairement émis à 62 % par le secteur des transports (Figure 1). Ces particules constituent une part déjà importante de la pollution particulaire de fond marquée dans les pics de pollution de printemps. Ces derniers sont généralement induits par des émissions locales issues du trafic en zone urbaine. Ils sont renforcés par les émissions particulières issues des travaux agricoles de printemps et des particules de nitrates d'ammonium provenant de l'ammoniac émis lors des épandages de printemps.

Les périodes d'interdiction d'épandage issues de la directive nitrates contribuent à une forte concentration des épandages de lisiers sur la période de fin d'hiver-début de printemps et expliquent les pics de dégradation de la qualité de l'air sur ces mêmes périodes.

2.2. LES FLUX D'AZOTE EN AGRICULTURE ET LES PRINCIPALES SOURCES D'AMMONIAC

L'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote sont les 4 éléments chimiques qui constituent la matière vivante. La molécule de diazote constitue 70 pour 100 de l'atmosphère terrestre et 99 pour 100 de l'azote total.

L'azote entre dans la composition chimique des protéines ce qui la singularise des autres molécules énergétiques comme le glucose. De plus, l'atome d'azote rentre dans la composition de l'ADN soit dans le codage génétique des êtres vivants.

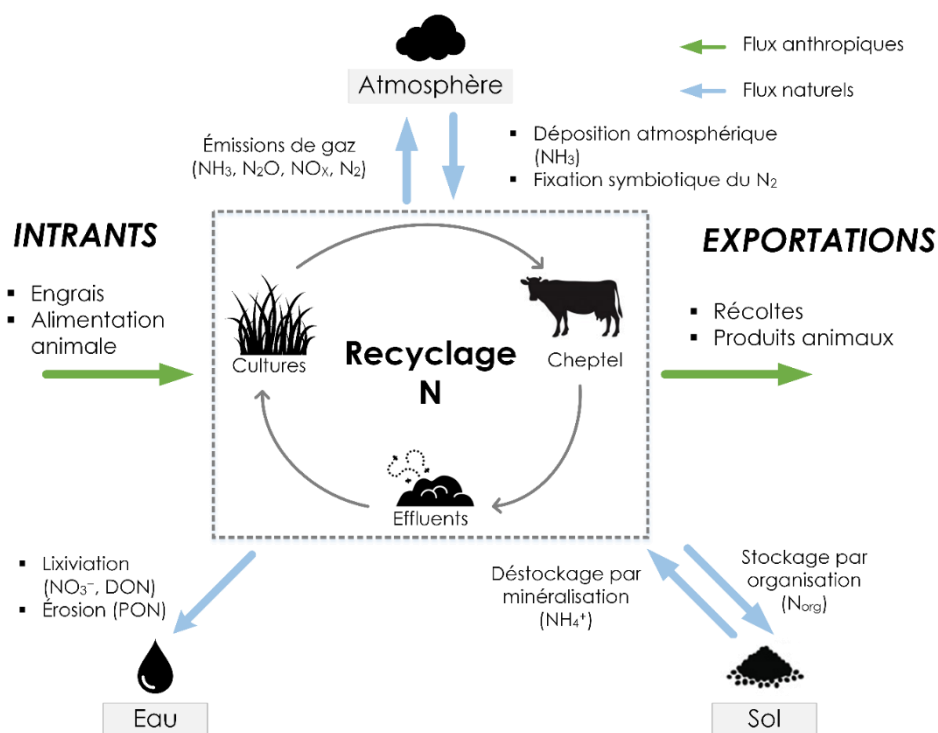
L'azote en productions agricoles : Toutefois si le dioxyde d'azote est relativement inerte, d'autres formes chimiques incluant l'azote sont l'objet de transformation sous l'effet de l'activité biologique et sont des constituants essentiels aux productions agricoles animales et végétales. Par exemple, ces formes oxydées comme le nitrate NO_3 où réduites comme l'ammoniac NH_3 sont utilisées pour soutenir respectivement l'alimentation azotée des plantes

et les besoins azotés des ruminants via la digestion dans le rumen grâce à l'activité microbienne.

Ainsi, l'azote est utilisé sous des formes différentes en production végétale et en production animale. Pour simplifier, en production végétale, l'azote sous la forme NO_3 est absorbé par les plantes pour produire des ressources végétales complexes pourvues d'acides aminés et de protéines (Figure 2).

L'azote organique du sol est progressivement minéralisé, c'est-à-dire transformé en ammonium par la microfaune et les microorganismes du sol (1 à 2 % par an de la masse d'azote organique du sol). Cet azote minéral produit (ou apporté par fertilisation) est directement consommé par les microorganismes et les plantes (immobilisation). La minéralisation nette (minéralisation – immobilisation) dépend fortement de l'évolution du stock de matières organiques du sol (A. Chabbi & G. Lemaire, 2007).

Figure 2: Les flux d'azote dans exploitation de polycultures élevage



La consommation des végétaux par les animaux d'élevage participe à la minéralisation de l'azote. En effet, lors de la digestion, l'azote contenu dans le végétal est transformé en azote ammoniacal puis rejeté dans les urines et les fèces. Cette fraction ammoniacale est majoritairement présente dans l'urine.

Pour les herbivores, la digestion des matières azotées totales contenues dans les végétaux est utilisée par les microorganismes contenus dans le rumen. Ces derniers vont ensuite se multiplier puis être utilisés comme des protéines qui seront ingérées au niveau de l'intestin. L'autre partie des protéines alimentaires non digérées dans le rumen est absorbée directement au niveau de l'intestin.

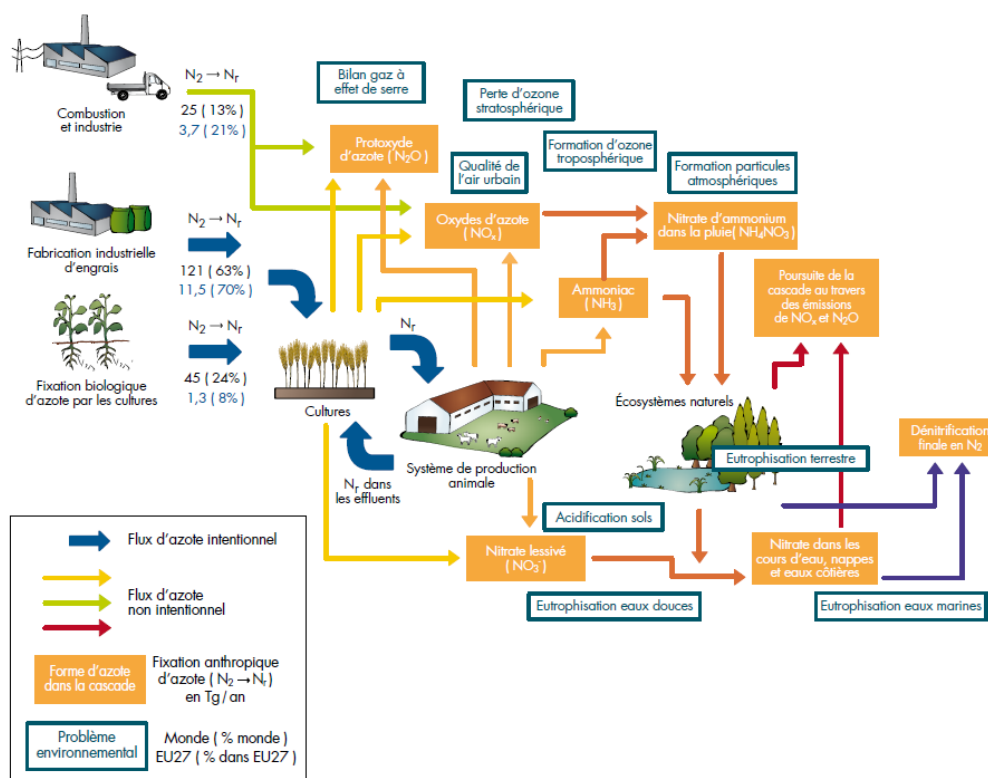
Au début du $\text{XX}^{\text{ème}}$ siècle, l'essentiel des ressources en azote utilisées en production végétale était issu de la fixation symbiotique et du recyclage de l'azote issu des déjections animales. L'utilisation des engrais minéraux azotés a permis une croissance très importante et rapide des rendements des cultures lors des cinquante dernières années, cette évolution étant concomitante à l'apparition des pollutions dues à l'excès d'azote dans les agroécosystèmes.

En France, en 2019, la fertilisation par les engrais minéraux azotés de synthèse (2,2 millions de t an⁻¹ d'azote) est supérieure à celle obtenue par les effluents d'élevage (1,4 millions de t an⁻¹ d'azote : pâture + épandage). L'azote contenu dans les effluents d'élevage provient à 80 % de l'élevage bovin (Citepa, 2021).

La fixation symbiotique d'azote par les légumineuses (0,5 millier de t an⁻¹) est réalisée à 80 % par les légumineuses prairiales, comme le trèfle blanc en prairies d'association avec du Ray-Grass et à 10 % par les cultures de luzerne, une légumineuse fourragère (J-L. Peyraud, et al, 2012). Enfin, une plus faible part des entrées d'azote dans les systèmes agricoles se fait par déposition atmosphérique d'ammoniac (NH₃), provenant d'activités agricoles (Figure 3).

Les ions ammonium produits lors de l'étape de minéralisation sont en partie retenus par le complexe d'échange cationique permettant ainsi un maintien de la fertilité du sol. Le NH₄⁺ est préférentiellement prélevé par les microorganismes, les plantes absorbant plutôt la forme nitrique de l'azote (NO₃⁻). Une autre partie de l'ammonium est transformée en ion nitrite (NO₂⁻) puis nitrate (NO₃⁻) en milieux oxydant lors de la nitrification, respectivement par les bactéries Nitrosomonas et Nitrobacter.

Figure 3 : SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE LA CASCADE DE L'AZOTE mettant en évidence la fabrication d'azote réactif (procédé Haber-Bosch), les principales formes d'azote réactif utilisées ou produites dans l'environnement et les impacts environnementaux. Les flèches bleues représentent les flux intentionnels et celles d'autres couleurs, les flux non intentionnels (Source : Expertise scientifique collective INRA 2012)



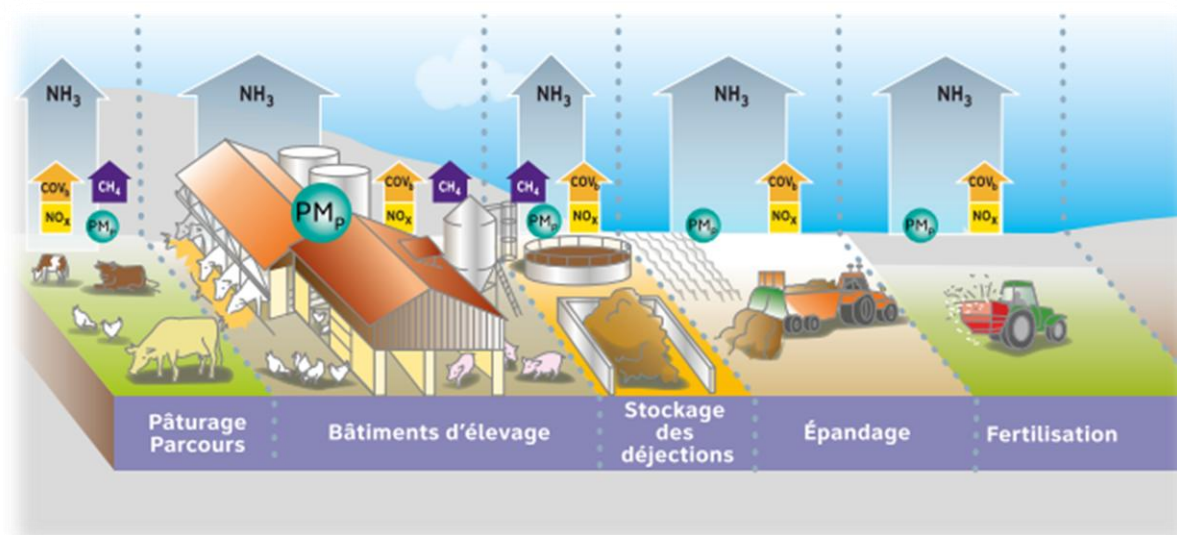
L'azote est un nutriment essentiel en agriculture, aussi bien pour la production végétale que la production animale. La dynamique de l'azote dans les agroécosystèmes est complexe. Les entrées d'azote se font sous la forme des apports d'engrais minéraux, de la fixation symbiotique, des achats d'aliments pour le bétail et par déposition atmosphérique d'ammoniac (Figure 3). Les sorties se font par la vente des produits végétaux et animaux et par les pertes dans les milieux aquatiques et l'atmosphère.

L'azote subit de nombreuses transformations (minéralisation, organisation) au cours de son cycle et peut être stocké parmi la matière organique du sol. L'élevage et particulièrement l'élevage en système herbager, favorise les échanges et le recyclage de l'azote entre sol,

plantes et animaux. De l'azote est également perdu sous forme gazeuse. Des pertes d'ammoniac ont lieu au cours de la gestion des effluents d'élevage, notamment en bâtiment et lors de l'épandage des effluents, mais dépendent du type d'effluent (fumier ou lisier) (J-L. Peyraud et al, 2012).

Ces émissions liées à la gestion des déjections au bâtiment, au stockage, à l'épandage et à la pâture (Figure 4) sont estimées en 2019 à 0,32 millions de t an⁻¹ de N-NH₃ en France et proviennent à 68 % des élevages bovins, 13 % des élevages avicoles et à 13 % des élevages porcins (Citepa, 2021). D'autres composés azotés sont émis depuis les sols agricoles : les oxydes d'azote gazeux (NO, N₂O et NO₂) et le diazote (N₂).

Figure 4 : Principaux postes d'émissions NH₃ (source guide bonnes pratiques PREPA figure partielle/initiale)



Ces molécules sont produites au cours de la réaction de dénitrification, c'est-à-dire la réduction du nitrate en diazote (CORPEN, 2006). Les oxydes d'azote sont des molécules intermédiaires qui peuvent être émises lorsque la réaction n'est pas totale. La dénitrification n'est possible qu'en condition anaérobie et en présence d'un donneur d'électron. La dénitrification peut se faire par oxydation de la matière organique.

2.3. LES EFFETS DES EMISSIONS DE NH₃ SUR LES ECOSYSTEMES ET LA SANTE HUMAINE

Les écosystèmes : Les émissions d'ammoniac sont transférées vers l'atmosphère puis transportées sur quelques kilomètres voire plus pour retomber dans les milieux terrestres et aquatiques. Ces retombées provoquent l'acidification des milieux forestiers, l'eutrophisation des eaux de surface et à la formation de particules dans l'atmosphère.

L'acidification est liée aux polluants NH₃ mais aussi HCl, HF, NO_x et SO₂. Ces polluants sont émis par les activités humaines et retombent sous forme de retombées sèches ou humides, ayant des effets sur les matériaux, les écosystèmes forestiers et les écosystèmes d'eau douce.

L'eutrophisation correspond à une perturbation de l'équilibre biologique des sols et des eaux due à un excès d'azote notamment d'origine atmosphérique (NO_x et NH₃) par rapport à la capacité d'absorption des écosystèmes.

La santé humaine : les données publiées par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) ; la pollution de l'air due aux trois principaux polluants (les particules fines, le dioxyde d'azote et l'ozone) serait la troisième cause de mortalité prématurée en France avec 47 300

décès annuels, derrière le tabac avec 80 000 décès par an et l'alcool pour 49 000 décès par an (Tableau 1).

Santé Publique France estime à neuf mois le gain moyen d'espérance de vie à 30 ans si l'ensemble des communes de la France continentale respectait les niveaux de particules fines PM_{2,5} observés dans les 5 % des communes les moins polluées de la même classe d'urbanisation.

Tableau 1: Estimation du nombre de décès prématurés et des années de vie perdues liés à la pollution aux PM_{2,5}, NO₂ et O₃

	Particules fines	Dioxyde d'azote	Ozone	Cumul
Nombre de décès prématurés				
<i>Union européenne (28)</i>	391 000	76 000	16 400	486 400
<i>France</i>	35 800	9 700	1 800	47 300
Années de vie perdues				
<i>Union européenne (28)</i>	4 150 000	795 000	180 000	NA
<i>France</i>	414 700	112 400	21 600	NA

La formation de particules est due, entre autres, aux molécules d'ammoniac réagissant avec des composés acides comme les oxydes d'azote ou de soufre. Si ces effets sont peu quantifiés, ils sont préoccupants sur la santé humaine en provoquant des maladies respiratoires ou cardiovasculaires (environ 42 000 morts par an selon l'OMS en France) et sur l'équilibre des écosystèmes.

III. Réglementation, engagements internationaux et inventaire des émissions en 2020

3.1. OBJECTIFS DE REDUCTION A L'HORIZON 2030 DE LA DIRECTIVE NEC.

La directive (UE) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques est venue abroger la directive 2001/81/CE établissant des plafonds d'émission nationaux (dite directive NEC).

La directive fixe la feuille de route aux horizons 2020 et 2030 et vise à réaliser des réductions supplémentaires de cinq polluants (dont l'ammoniac) à ces horizons en vue d'améliorer la qualité de l'air au niveau local et de réduire les impacts sur les écosystèmes. Cette nouvelle directive, dite NEC-2, étend la période de la directive NEC de 2020 à 2030.

Elle aligne le droit de l'UE sur les engagements découlant de la révision du Protocole de Göteborg adoptée le 4 mai 2012. A échéance 2030, elle fixe un objectif de réduction des émissions d'ammoniac de 19 % en Europe et de 13 % pour la France en référence aux émissions de 2005.

Les objectifs de la directive NEC révisée ont été repris au sein du Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PRÉPA) adopté par le gouvernement français en 2017.

L'objectif de ce plan est de limiter les dépassements des valeurs limites dans l'air (concentration de polluants), ces derniers devant être quasiment supprimés à horizon 2030, de diminuer la concentration moyenne en particules fines et enfin d'atteindre les objectifs de réduction des émissions à 2020 et 2030. Il vise à traduire ces objectifs de réduction en actions concrètes en considérant toutes les sources d'émissions, en prenant en compte les potentiels de réduction, ainsi que les enjeux économiques, sanitaires, sociétaux et juridiques des mesures prises. En plus des mesures de réduction, il prévoit des mesures de contrôle et de soutien des actions mises en œuvre. Une révision de ce plan est prévue au moins tous les quatre ans.

L'élaboration de ce plan s'est appuyée sur l'étude « aide à la décision pour l'élaboration du PRÉPA » réalisée entre 2015 et 2016. Pour sélectionner les mesures sectorielles (industrie, résidentiel tertiaire, transports et agriculture) les plus pertinentes, une analyse multicritère a été réalisée. Cette étude amont a mis en avant 17 mesures agricoles sur 50 au total.

Parmi les mesures qui concernent les bovins, toutes sont en lien avec la gestion des déjections : « Augmentation du temps passé au pâturage (+ 20 jours ; absence de déjections une partie de la journée) », « Raclage des bâtiments bovins » (évacuation plus fréquente des déjections et amélioration de l'efficacité du raclage), « couverture fosse haute technologie », « incorporation immédiate des déjections ».

Cependant, les taux d'abattement retenus pour ces pratiques sont souvent issus de situations non représentatives de nos systèmes bovins (alimentation, présence de paille dans l'effluent, ...) et les assiettes d'application et d'évolution des différentes pratiques sont mal connues. Cette étude traduit donc l'enjeu national d'être capable de quantifier les émissions des bovins afin de les réduire et de prendre en compte les changements de pratiques dans le cadre des inventaires nationaux.

Au sein des actions retenues dans le PRÉPA et mentionnées dans l'arrêté associé (arrêté du 10 mai 2017), on retrouve les actions suivantes pour le secteur agricole : utilisation d'engrais moins émissifs, utilisation de matériel d'épandage moins émissifs (avec l'adoption en janvier 2021 d'un plan d'actions ministériel visant à supprimer l'utilisation des matériels les plus émissifs en 2025), contrôle de l'interdiction des épandages aériens, financement de projets pilote et mobilisation des financements (exemple des projets AGR'AIR).

Un accompagnement du secteur agricole est également prévu dans le plan pour la diffusion des bonnes pratiques, avec entre autres, la diffusion en 2019 d'un guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air composé de 14 fiches pratiques à destination des agriculteurs et des conseillers agricoles.

3.2. CITEPA, LE RAPPORT SECTEN EDITION 2021

La tendance générale

En 2019, les émissions nationales de NH_3 sont estimées, hors UTCATF, à 593 kt. L'objectif à atteindre en 2020 (- 4 % par rapport à 2005) correspondant à un niveau d'émission estimé à 596 kt, il est donc en bonne voie d'être respecté, à condition de ne pas dépasser le niveau actuel d'émission.

En revanche, des réductions supplémentaires seront nécessaires pour atteindre l'objectif 2030 (540 kt) : il faudra une baisse de 52 kt entre 2019 et 2030, représentant une baisse de 9 % entre ces deux années. Les émissions étant très stables sur la période, il est difficile d'anticiper l'atteinte ou non de cet objectif.

Globalement, les émissions de NH_3 ont diminué de 8 % entre 1990 et 2006 : elles sont passées d'environ 663 kt NH_3 en 1990 à 611 kt NH_3 en 2006. Depuis 2006, les émissions se stabilisent et oscillent entre 593 kt et 622 kt. Bien que ces émissions semblent graviter autour d'un point d'équilibre, il faut souligner qu'elles sont en baisse depuis 2016.

La majeure partie des émissions de NH_3 provient du secteur de l'agriculture/sylviculture : il représente, en 2019, 94 % du total national. Au sein du secteur, en 2019, les principaux postes contribuant aux émissions sont en premier lieu l'apport d'engrais et d'amendements minéraux (28 % des émissions du secteur), suivi de la gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage (23 % des émissions du secteur), puis de l'apport d'engrais et d'amendements organiques (tout effluent confondu, 18 % des émissions du secteur) et des animaux à la pâture (16 % des émissions du secteur). Les émissions restantes concernent principalement la gestion des déjections des animaux hors bovins au bâtiment et au stockage.

La tendance générale est principalement dirigée par les évolutions du cheptel bovin, en particulier les vaches laitières et par la quantité d'engrais azotés minéraux épandus. La gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage est le premier poste contribuant à la baisse sur la période : les émissions de NH_3 ont diminué de 18 % entre 1990 et 2019, soit -24,8 kt, principalement du fait d'une baisse du cheptel.

Parmi les autres postes contribuant à la baisse des émissions, on retrouve la fertilisation azotée minérale, dont les émissions ont diminué de 9,6 kt entre 1990 et 2019, soit 10 % de baisse. Les évolutions en termes d'émissions sur ce poste sont liées à la baisse de l'azote minéral total apporté, mais également aux variations du mix des engrais utilisés. En effet, la forme des engrais influe fortement sur les émissions : l'utilisation d'engrais sous forme d'urée a progressé ces dernières années, cette forme étant globalement plus émettrice que l'ammonitrate par exemple, les émissions s'en trouvent impactées à la hausse.

Concernant les autres postes agricoles, des réductions notables se retrouvent également chez les porcins, notamment du fait de la progression de l'alimentation biphase et du traitement des effluents par nitrification-dénitrification et enfin au niveau des volailles, avec la disparition progressive jusqu'en 2006 des systèmes en fosse profondes chez les poules pondeuses (systèmes très émetteurs) et l'ajustement de l'alimentation aux besoins en azote induisant une baisse de l'azote excrété pour certaines catégories de volailles.

Une tendance récente se dessine

Pour l'apport d'engrais et d'amendements minéraux, les émissions ont augmenté de 0,5 % entre 2005 et 2019, tandis que la quantité totale d'azote minéral apportée a diminué de 5,6 %. L'évolution à la hausse des émissions est ici entraînée par la progression de l'urée

dans le mix des engrais azotés utilisés. Cette tendance à la hausse constatée depuis 2013 semble ralentir en 2017, avec même une baisse des émissions depuis 2018.

Les émissions liées à la gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage ont quant à elles légèrement diminué entre 2005 et 2019 (- 7 %) suivant l'évolution du cheptel bovin (- 7 % sur la même période).

Enfin, les émissions liées à l'apport d'engrais et d'amendements organiques ont très légèrement diminué entre 2005 et 2019 (- 1,3 %). Cette tendance s'explique par une baisse de l'azote épandu issu des déjections produites en France, en lien avec le recul des cheptels et le développement des stations de nitrification-dénitrification. Elle s'accompagne d'une baisse des émissions de NH_3 par unité d'azote épandue, avec l'utilisation plus importante par les agriculteurs de matériels d'épandage moins émissifs. Cependant, cette baisse est en grande partie compensée par une hausse des imports de déjections en provenance des pays frontaliers à la métropole (Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie principalement) ainsi que des émissions de NH_3 qui y sont associées.

La profession agricole entreprend des efforts de réduction des émissions. Des progrès ont déjà été accomplis par le secteur, par exemple au niveau de l'alimentation animale avec l'ajustement des apports protéiques dans les rations, au niveau du bâtiment avec la mise en place de laveurs d'air, au niveau du stockage par la couverture de fosse et au niveau de l'épandage avec l'utilisation de matériels moins émissifs. Avec la publication récente du plan matériels d'épandages moins émissifs, le développement des bonnes pratiques à l'épandage devrait sans doute se poursuivre.

Selon les techniques à mettre en place, les coûts associés peuvent être très importants. De tels investissements peuvent à l'heure actuelle être soutenus par le biais de plans de compétitivité et d'adaptation des exploitations agricoles (PCAE). En revanche, dans la Politique Agricole Commune actuelle (2014-2020), il n'existe pas de mesures financières ciblant exclusivement la réduction des émissions de NH_3 et l'amélioration de la qualité de l'air.

Il est important de noter que la lente diminution constatée ces dernières années s'est accélérée entre 2018 et 2019. En effet, la réduction 2018-2019 est d'environ 2,3 %, ce qui équivaut en termes de pourcentage à la baisse constatée entre 2005 et 2018.

Cette diminution se retrouve principalement au niveau agricole, en lien avec une baisse du cheptel bovins prononcée entre 2018 et 2019 (- 1,8 % de vache laitière et - 2,5 % autres bovins), qui s'expliquerait par la poursuite de la décapitalisation du cheptel combinée à la sécheresse 2018 ; un recul des apports minéraux totaux et une progression du mix de ces engrais avec un moindre recours à l'urée et aux solutions azotées, qui sont des engrais plus émetteurs de NH_3 .

IV. Analyse des méthodes Citepa, Clim'agri et CAP'2ER pour les calculs d'émissions nationales

La méthodologie retenue par le Citepa pour réaliser les inventaires d'émissions polluantes est limitée au périmètre de l'exploitation agricole. Il en est de même pour CLIMAGRI. En revanche, la méthode CAP'2ER reprend en partie les émissions de NH₃ importées.

4.1. INVENTAIRES DES EMISSIONS DE NH₃ : PRINCIPES METHODOLOGIQUES ET PARAMETRES DE CALCUL DES OUTILS EXISTANTS

Ce paragraphe se compose d'une partie portant sur l'analyse des méthodologies Citepa, RUMINH3 et CAP'2ER et d'une seconde partie sur les points à améliorer pour affiner les inventaires nationaux du Citepa. Cette dernière est la synthèse des 4 ateliers de travail réalisés entre le Citepa et IDELE, relatifs aux effectifs, à l'azote excrété et aux mesures d'atténuation.

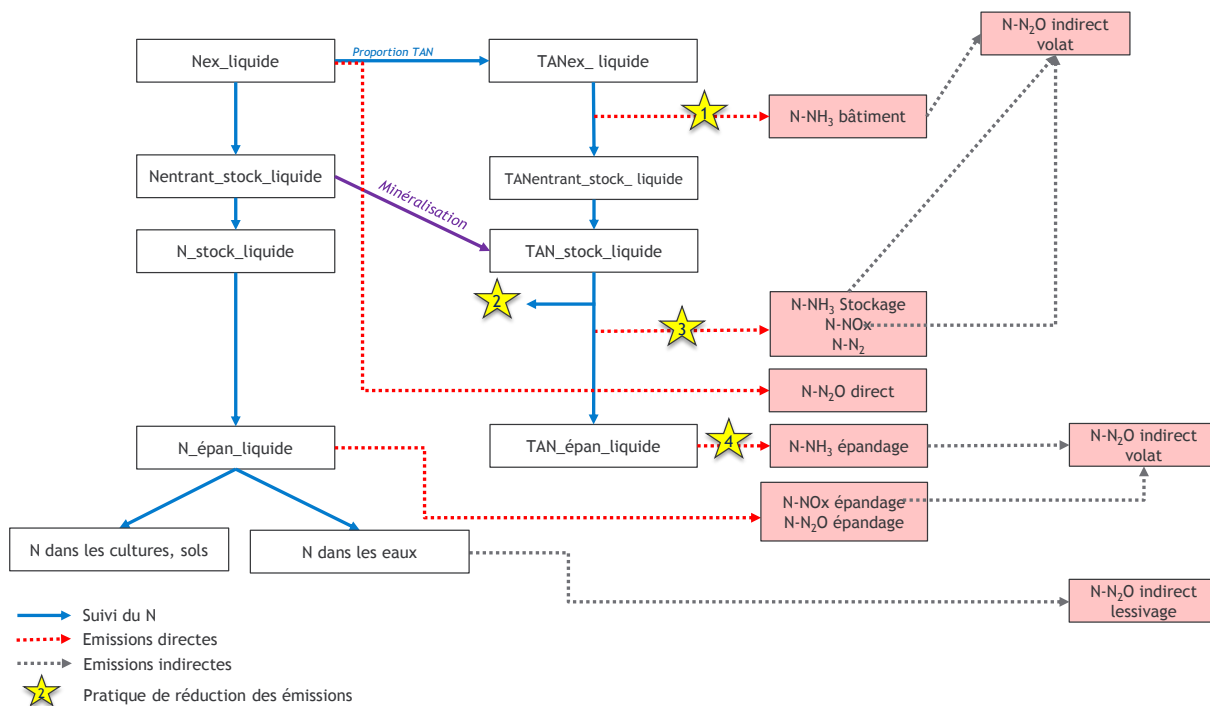
4.1.1. Méthode Citepa : inventaire des polluants à l'échelle nationale

L'ensemble des méthodologies de calculs utilisées pour établir l'inventaire des polluants au niveau national est décrit dans le document OMINEA (2021). Ce guide est mis à jour à chaque année.

Les émissions de NH₃ sont estimées au bâtiment, au stockage, à l'épandage et à la pâture, en suivant à la fois l'azote total mais aussi l'azote ammoniacal (TAN), à partir duquel sont estimées ces émissions. Les méthodologies diffèrent légèrement selon les modes de gestion des effluents. On distingue les effluents : liquides, solides, liquides méthanisés, solides méthanisés.

La figure 5 suivante présente les étapes suivies dans le cas d'un effluent liquide :

Figure 5 : Suivi de l'azote - Système liquide



Les étoiles (Figure 5) représentent les techniques de réduction des émissions de NH_3 prises en compte actuellement dans l'inventaire. Cependant, elles ne sont pas estimées pour toutes

les catégories animales. Pour les bovins, seule la dernière pratique (notée 4) correspondant aux pratiques d'épandage est estimée. Les autres pratiques (lavage d'air, station de nitrification/dénitrification, couverture de fosse) ne sont pas estimées pour les bovins actuellement (voir § 4.2.2).

Le point de départ est l'azote excrété par l'animal est estimé selon la méthodologie du Corpen (voir § 4.2.3).

Cet azote est ensuite réparti selon les différents modes de gestion des effluents (au bâtiment : liquides, solides, liquides méthanisés, solides méthanisés ; et à la pâture), à partir de données d'enquêtes et l'expertise d'Idele sur la caractérisation des effluents selon les systèmes. On obtient alors le Nex_liquide indiqué en haut à gauche de la figure 5. L'azote ammoniacal excrété au bâtiment est estimé à partir des proportions par défaut proposées dans le guide EMEP 2019 (TAN = 60 % en bovins).

POSTE BATIMENT : Les émissions de NH₃ au bâtiment sont estimées à partir du « TANex_liquide », auquel on applique les facteurs d'émission du guide EMEP 2019 (Tableau 2).

A noter : certains facteurs d'émission ont été fortement révisés entre la version EMEP 2016 (utilisée dans Clim'agri) et la version EMEP 2019 (utilisée dans l'inventaire national). Les valeurs de ces deux versions sont présentées dans les tableaux suivants pour faciliter la comparaison, mais ce sont bien les facteurs d'émission EMEP 2019 qui sont utilisés dans l'inventaire.

Tableau 2 : Facteurs d'émission de NH₃ EMEP au bâtiment

	% N-NH ₃ Bât / TAN Liquide	% N-NH ₃ Bât / TAN Solide
EMEP 2019	24	8
EMEP 2016	20	19
Variation EMEP 2019/EMEP 2016	+20	-58

POSTE STOCKAGE : L'azote volatilisé en NH₃ au bâtiment est déduit du TAN, pour donner le « TAN_entrant_stock_liquide ». Une partie de l'azote organique est alors minéralisé (à hauteur de 10 %) et vient renforcer le pool de TAN, ce qui donne le « TAN_stock_liquide », auquel on applique les facteurs d'émission du guide EMEP 2019 (Tableau 3).

Tableau 3 : Facteurs d'émission de NH₃ EMEP au stockage

	% N-NH ₃ Sto / TAN Liquide	% N-NH ₃ Sto / TAN Solide
EMEP 2019	25	32
EMEP 2016	20	27
Variation EMEP 2019/EMEP 2016	+25	+19

D'autres émissions azotées ont lieu lors du stockage : N₂, NO_x, N₂O. Les facteurs d'émission (Tableau 4) de N₂ et NO_x sont issus du guide EMEP 2019 et appliqués au « TAN_stock_liquide », tandis que les facteurs d'émissions de N₂O sont issus du GIEC 2006 et appliqués au « Nex_liquide ».

Tableau 4 : Facteurs d'émission de NO et N₂ EMEP au stockage

	Liquide	Solide
EMEP 2019 – FE N-NO/TAN	25 %	32 %
EMEP 2019 – FE N-N2/TAN	20 %	27 %

Les valeurs n'ont pas bougé entre les versions 2016 et 2019 du guide EMEP.

Les facteurs d'émission (Tableau 5) de N-N₂O proposés dans le GIEC présentent une distinction plus fine concernant les modes de gestion des effluents :

Tableau 5 : Facteurs d'émission de N₂O GIEC au bâtiment/stockage

	N-N ₂ O/kg N
Lisier sans croûte naturelle	0 %
Lisier avec croûte naturelle	0,5 %
Stockage solide	0,5 %
Litière accumulée	1 %

On comptabilise également des émissions de N₂O indirectes liées à la redéposition du NH₃ et des NOx.

POSTE EPANDAGE : L'azote volatilisé en NH₃, NOx, N₂ et N₂O au stockage est déduit du TAN, pour donner le « TAN_épan_liquide », auquel on applique les facteurs d'émission du guide EMEP 2019. Des facteurs complémentaires interviennent à cette étape afin de tenir compte des modes d'épandage (buse palette, injecteur, pendillard) et des délais d'incorporation post-épandage. Plus la surface de contact air/effluent est réduite et plus la durée du contact air/effluent est courte, moins l'azote se volatilise en NH₃. Les facteurs présentés ci-dessous sont les facteurs issus d'EMEP 2019, avant application des facteurs de réduction liés aux pratiques à l'épandage (Tableau 6).

Tableau 6 : Facteurs d'émission de NH₃ EMEP à l'épandage

	% N-NH ₃ Epan / TAN Liquide	% N-NH ₃ Epan / TAN Solide
EMEP 2019	55	68
EMEP 2016	55	79
Variation EMEP 2019/EMEP 2016	+0	-14

D'autres émissions azotées ont lieu lors de l'épandage : NOx, N₂O. On comptabilise également des émissions de N₂O indirectes liées à la redéposition du NH₃ et des Nox, et des émissions de N₂O indirectes liées au lessivage.

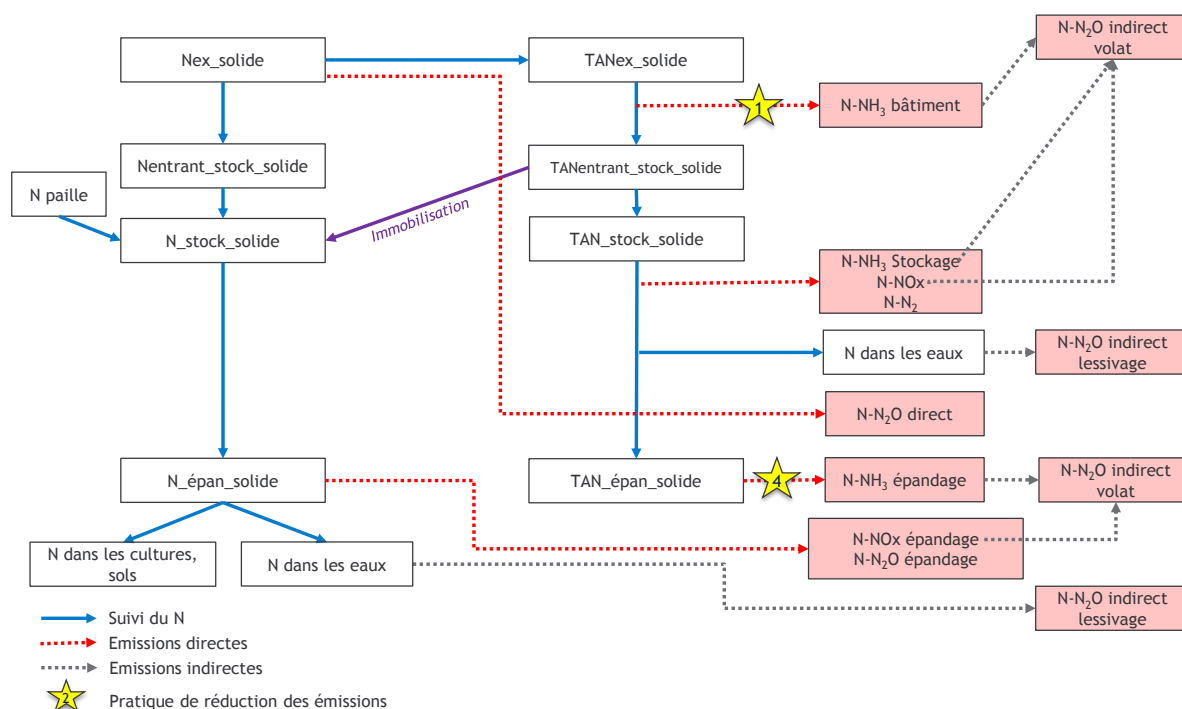
POSTE PATURE : Pour mémoire, l'azote excrété au pâturage est estimé à partir de la méthode du Corpen. Elle correspond à la part de l'azote excrété au pâturage selon des durées moyennes d'hébergement, du temps de transition et des heures de traite hors période hivernale pour les vaches laitières. Sont ensuite appliqués la part de TAN (60 %) et les facteurs d'émission du guide EMEP 2019 (Tableau 7).

Tableau 7 : Facteurs d'émission de NH₃ EMEP à la pâture

	% N-NH ₃ Pat / TAN Vaches laitières	% N-NH ₃ Pat / TAN Autres bovins
EMEP 2019	14	14
EMEP 2016	10	6
Variation EMEP 2019/EMEP 2016	+40	+133

Pour les effluents solides (Figure 6), on ne comptabilise pas de minéralisation mais, au contraire, une immobilisation d'une partie de l'azote ammoniacal par la paille. Des pertes supplémentaires ont lieu au moment du stockage, par lessivage. La valeur du guide EMEP 2019 estime ces pertes à 12 % du TAN. Le schéma (Figure 6) présente les étapes suivies dans le cas d'un effluent solide :

Figure 6 : Suivi de l'azote - Système solide

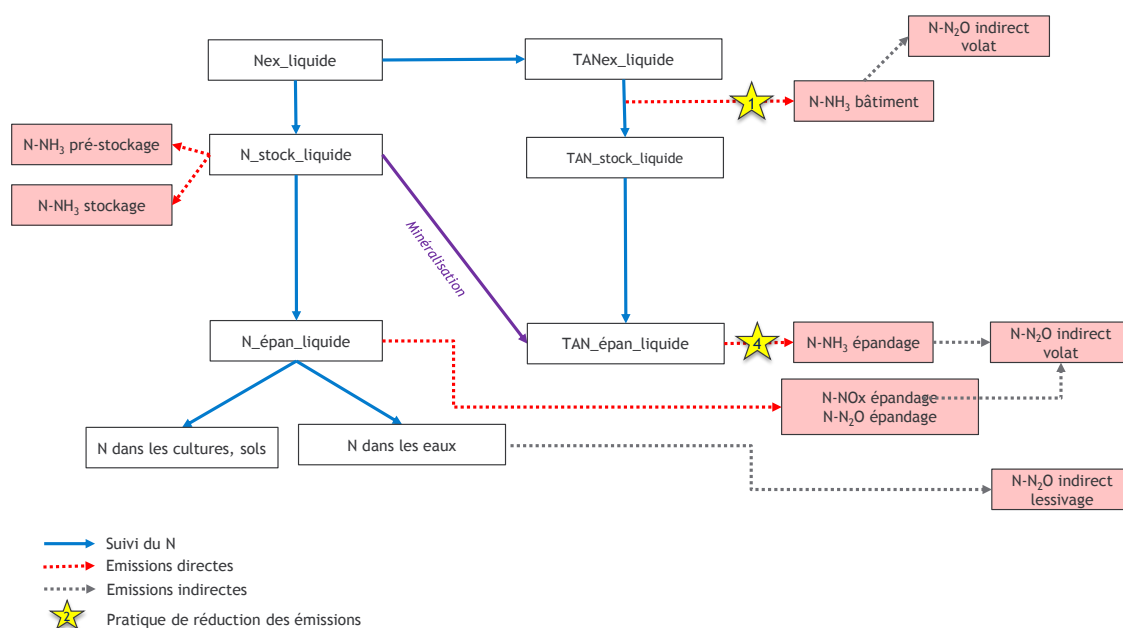


Enfin, pour les effluents méthanisés (Figures 7 et 8), les calculs diffèrent à partir de la sortie du bâtiment. On comptabilise des émissions de NH_3 liées au pré-stockage avant que l'effluent entre dans le méthaniseur, ainsi que des émissions liées au produit sortant stocké. Ces émissions sont estimées à partir de l'azote total sortant du bâtiment (azote excrété – perte en NH_3), auquel sont appliqués les FE suivants :

- FE N-NH_3 au pré-stockage : 0,0009 kg N-NH_3 / kg N
- FE N-NH_3 au stockage : 0,0266 kg N-NH_3 /kg N

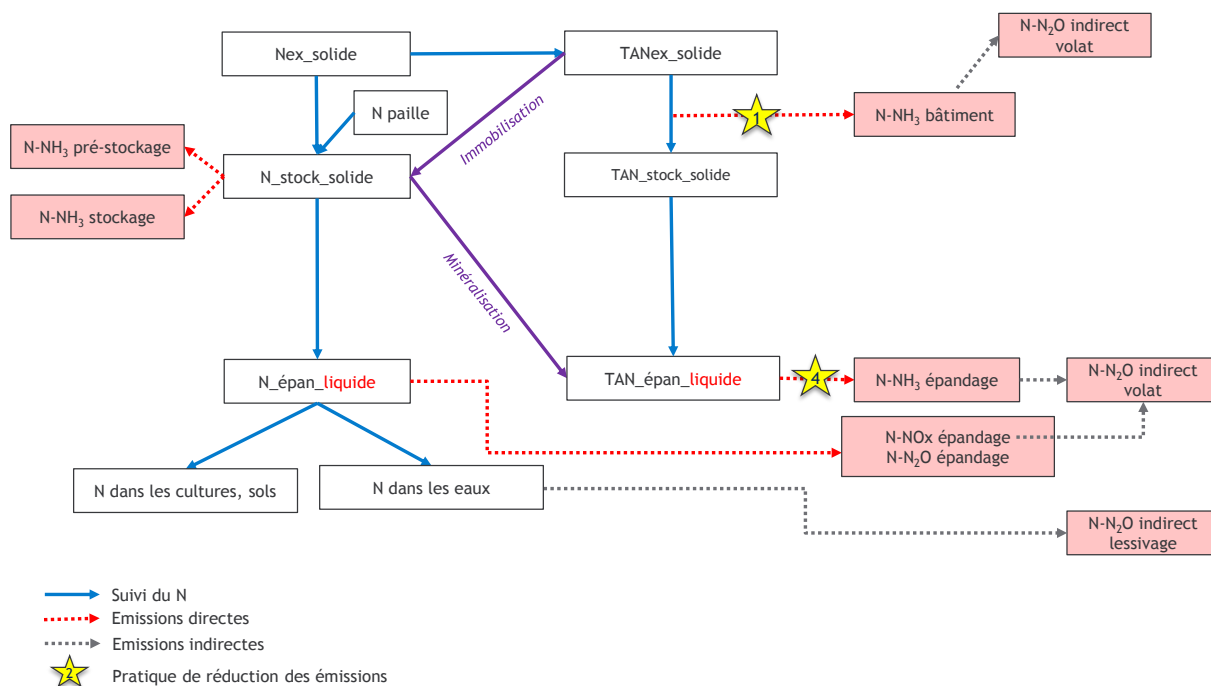
Le guide EMEP considère une minéralisation plus forte, à hauteur de 32 %.

Figure 7 : Suivi de l'azote - Système liquide méthanisé



Pour les effluents solides méthanisés (Figure 8), la particularité est qu'à partir de la sortie du méthaniseur, ils sont alors considérés comme des effluents liquides, comme indiqué sur le schéma ci-dessous :

Figure 8 : Suivi de l'azote - Système solide méthanisé

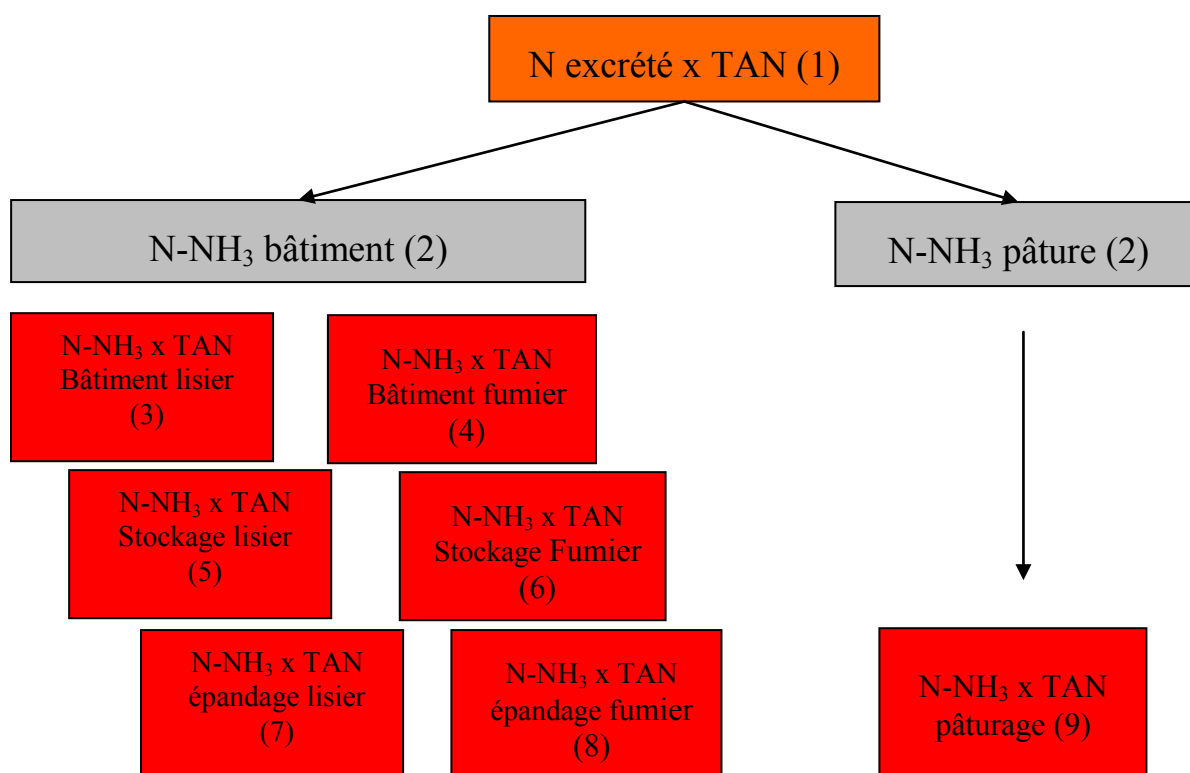


4.1.2. Méthode CLIM'AGRI : Emissions à l'échelle régionale / nationale

L'analyse de CLIM'AGRI porte uniquement sur le module AIR. Les points d'émissions de NH_3 se composent de quatre postes : Catégories animales – Bâtiments - Stockage des effluents – Epandage. Les coefficients utilisés sont issus du guide EMEP/EEA 2016

N EXCRETE PAR CATEGORIE : Le calcul de l'azote excrété par l'animal est réalisé selon la méthode CORPEN (1999). Ce rejet azoté est calculé sur la base d'une alimentation standard et représentative pour chaque catégorie animale. A cet N excrété s'applique un coefficient TAN (Total Ammoniacal Nitrogen) pour déterminer la part ammoniacale à chaque étape et selon le type de déjections (Figure 9).

Figure 9 : Schéma fonctionnel de la méthode Clim'agri



Pour toutes les catégories herbivores, la valeur TAN pour l'azote excrété (1) est de 60 % soit pour un rejet de 110 kg d'une vache laitière, on obtient 66 kg de TAN. Par ailleurs, l'azote excrété par l'animal au bâtiment est calculé à partir du rejet annuel au prorata du temps de présence en bâtiment.

POSTE BATIMENT : La répartition de l'azote ammoniacal excrété en bâtiment et au pâturage (2) est faite au prorata de la durée de présence de la catégorie animale. En fonction du type d'effluent produit un coefficient (3) (4) est appliqué à la valeur TAN d'entrée en bâtiment pour estimer la volatilisation de N-NH₃ bâtiment. Il n'y a pas de calcul de N-NO, N-N₂O et N-N₂ en bâtiment (Tableau 8).

Tableau 8 : Taux de volatilisation N-NH₃ bâtiment CLIMAGRI.

Taux de volatilisation de N-NH ₃ / bâtiment / fumier	Taux de volatilisation de N-NH ₃ / bâtiment / lisier
% N-TAN _{-Volat} BE moyen / fumier	% N-TAN _{-Volat} BE moyen / lisier
% N-TAN	% N-TAN
19 %	20 %

Ce solde de TAN migre dans la partie stockage.

POSTE STOCKAGE : Le solde de l'azote TAN (Tableau 9) par type de produit est la base sur laquelle les émissions de NH₃ sont calculées. Toutefois, à ce solde, une minéralisation du lisier est prise en compte (5) en considérant que 10 % de l'azote organique se minéralise sur la durée du stockage.

Tableau 9 : Taux de volatilisation N-NH₃ stockage CLIMAGRI

Taux de volatilisation de N-NH ₃ / stockage / fumier	Taux de volatilisation de N-NH ₃ / stockage / lisier
% N-TAN-Volat_STO moyen / fumier	% N-TAN-Volat_STO moyen / lisier
% N-TAN	% N-TAN
27,00 %	15,8 %

Pour les fumiers, une réorganisation (Tableau 10) de l'ammoniac est calculée sur la quantité de paille utilisée dans la litière. Soit pour un kg de paille consommée, ce sont 0,0067kg TAN immobilisés.

Tableau 10 : Autres émissions gazeuses azotées N-NO, N-N₂O et N-N₂ au stockage CLIMAGRI.

Taux d'émission au stockage					
N-N ₂ O fumier	N-N ₂ O lisier	N-N ₂ fumier	N-N ₂ lisier	N-NO fumier	N-NO lisier
FE _{SGDA-N₂O} fumier	FE _{SGDA-N₂O} lisier	FE _{SGDA-N₂} fumier	FE _{SGDA-N₂} lisier	FE _{SGDA-NO} fumier	FE _{SGDA-NO} lisier
% N-TAN	% N-TAN	% N-TAN	% N-TAN	% N-TAN	% N-TAN
0,32 %	0,37 %	30,00 %	0,30 %	1,00 %	0,01 %

Selon le type d'effluents produits, un taux de volatilisation est appliqué avec un calcul déduisant les autres émissions gazeuses comme N-NO, N-N₂O et N-N₂. La dénitrification en fumier est de 30 % du TAN alors que pour un lisier le taux est de 0,3 %.

A L'EPANDAGE : A ce nouveau solde TAN pour cette phase de l'épandage (Tableaux 11 et 12), on applique également une émission gazeuse de N-N₂O fixée à 1 % quel que soit l'effluent. Il s'applique sur l'azote total épandu.

Tableau 11 : Taux de volatilisation N-NH₃ épandage CLIMAGRI

Taux de volatilisation de N-NH ₃ par le N appliqué au sol	Taux de volatilisation de N-NH ₃ par le N appliqué au sol
% N-TAN _{Volat EPA} moyen / fumier	% N-TAN _{Volat EPA} moyen / lisier
% N-TAN	% N-TAN
77,58 %	52,20 %

POSTE PATURAGE : L'azote excrété par l'animal au pâturage est calculé à partir du TAN annuel au prorata du temps de présence en pâture (Tableau 12). Le taux de volatilisation est différent selon la production de lait ou de viande.

Tableau 12 : Taux de volatilisation N-NH₃ épandage CLIMAGRI

Taux de volatilisation de N-NH ₃ par le N appliqué au bovin viande	Taux de volatilisation de N-NH ₃ par le N appliqué au bovin lait
% N-TAN _{Volat EPA} moyen B viande	% N-TAN _{Volat EPA} moyen B lait
% N-TAN	% N-TAN
6 %	10 %

Points à approfondir :

- En bâtiment et au stockage le TAN Fumier = TAN Lisier
- En bâtiment aucun processus de réorganisation de l'azote n'est pris en compte
- Au stockage des fumiers, la dénitrification est de 30 % et de 0,3 % en lisier
- Au stockage des fumiers le processus de réorganisation est uniquement dû à la paille
- A l'épandage, les fumiers volatilisent plus d'ammoniac que les lisiers.
- Au pâturage, une génisse laitière émet 4 % de plus qu'une génisse allaitante

4.1.3. Méthode CAP2'ER®: Emissions à l'échelle de l'exploitation agricole

N EXCRETE PAR CATEGORIE :

Le calcul de l'azote excrété est réalisé par catégorie animale selon la méthode CORPEN (2001). Ce rejet azoté est calculé à partir des quantités d'azote ingéré et fixé.

$$N_{\text{excrété}, i} \text{ (kg N/an)} = N_{\text{ingéré}, i} \text{ (kg N/an)} - N_{\text{fixé}, i} \text{ (kg N/an)}$$

Où i = catégorie animale

L'azote ingéré se calcule à partir de la matière sèche ingérée en fourrages et en concentrés et de la teneur en MAT (Matière Azotée Totale) des différents types d'aliments renseignés dans CAP2'ER®. Le calcul se fait par catégorie animale.

$$N_{\text{ingéré}} \text{ (kg N/tête/an)} = [\sum_j (MSI_{\text{fourrage } j} \text{ (T MS/tête/an)} * \text{Teneur MAT}_{\text{fourrage } j} \text{ (g N/kg MS)}) + \sum_j (MSI_{\text{concentré } j} \text{ (kg brut/tête/an)} * \text{Teneur MAT}_{\text{concentré } j} \text{ (g N/kg brut)})] / 1000 / 6,25$$

Où :

j = type d'aliment ; Teneur MAT : Teneur en MAT de chaque type d'aliment renseignés dans CAP2'ER®

; MAT x 6,25 N.

La quantité d'azote fixé est évaluée par catégorie animale sur la base de l'azote fixé dans la viande ou dans le lait produit. Pour les vaches laitières, l'azote fixé par la production laitière est pris en compte, ainsi que l'azote fixé par le veau pendant la phase de gestation. Pour toutes les autres catégories animale, l'azote fixé par la production viande sur la période considérée est pris en compte ainsi que l'azote fixé dans le lait pour les veaux des vaches allaitantes.

$$N_{\text{fixé}, VL} \text{ (kg N/tête/an)} = [(PL_{VL} \text{ (litres bruts/VL/an)} * 1,033 * TP \text{ (g/kg)}) / (0,9*6,38)] / 1000 + N_{\text{viande}_{BL}} \text{ (kg N/kg vif)} * PV_{\text{veau}} \text{ (kg vif)}$$

Où : 1,033 : est le coefficient de conversion des litres de lait en kg de lait ; 0,9*6,38 : est le coefficient utilisé pour convertir la teneur en protéine du lait en azote total contenu le lait. ; $PV_{\text{veau}} = 50 \text{ kg vif}$ (cf partie ; $N_{\text{viande}_{BL}} = 0,024 \text{ kg N/kg vif}$

$$N_{\text{fixé}, i} \text{ (kg N/tête/an)} = N_{\text{viande}_i} \text{ (kg N/kg vif)} * PBVV_i \text{ (kg vif/tête/an)}$$

Où : i = catégorie animale ; $N_{\text{viande}_i} = 0,024 \text{ kg N/kg vif}$ pour un animal issu d'un troupeau laitier et 0,029 kg N/kg vif pour un animal issu du troupeau allaitant ; $PBVV_i$ = la production brute de viande vive pour la catégorie animale i considérée (cf partie 3.2.2)

A cet N excrété s'applique un coefficient TAN (Total Ammoniacal Nitrogen) pour déterminer la part ammoniacale à chaque étape. L'azote ammoniacal excrété au bâtiment est déterminé à partir d'un TAN = 60 % pour le lisier en bovins lait et viande (Tableau 13) et 25 % pour le fumier en bovins lait et viande (Tableau 13).

Les déjections au bâtiment, au stockage, au pâturage et à l'épandage sont sources d'émissions d'ammoniac. La nature et le niveau d'émission dépendent de la quantité d'azote excrété par les animaux, de la température et du type de système de gestion de ces déjections. La méthode d'évaluation des émissions d'ammoniac dans CAP'2ER® repose sur EMEP 2019 L'évaluation des émissions est réalisée par catégorie animale. Pour chaque catégorie animale, un type de bâtiment est défini.

POSTE BATIMENT :

Tableau 13 : Default Tier 2 NH₃-N EFS methodology for the calculation of emissions NH₃-N from manure management

Code	Livestock	Housing period ^(a) , d a ⁻¹	N _{ex} ^(b)	Proportion of TAN	Manure type	EF _{housing}	EF _{yard}	EF _{storage}	EF _{application}	EF _{grazing/outdoor}
3B1a	Dairy cattle	180	105	0.6	Slurry	0.24	0.30 (*)	0.25	0.55	0.14
					Solid	0.08	0.30 (*)	0.32	0.68	0.14
3B1a	Dairy cattle, tied housing	180	105	0.6	Slurry	0.09	0.30 (*)	0.25	0.55	0.14
					Solid	0.09	0.30 (*)	0.32	0.68	0.14
3B1b	Non-dairy cattle (all other cattle)	180	41	0.6	Slurry	0.24	0.53 (*)	0.25	0.55	0.14
					Solid	0.08	0.53 (*)	0.32	0.68	0.14

Tableau 14 : Derivation of default Tier 2 EF for direct N₂O emissions from manure management

Storage system	IPCC default EF, kg N ₂ O-N (kg N _{ex}) ⁻¹	Proportion of TAN in manure at storage ^(a)	EF, kg N ₂ O-N (kg TAN entering store) ⁻¹
Cattle slurry without natural crust	0	0.50	0
Cattle slurry with natural crust	0.005	0.50	0.01
Pig slurry without natural crust	0	0.65	0
Cattle manure heaps, and solid	0.005	0.25	0.02

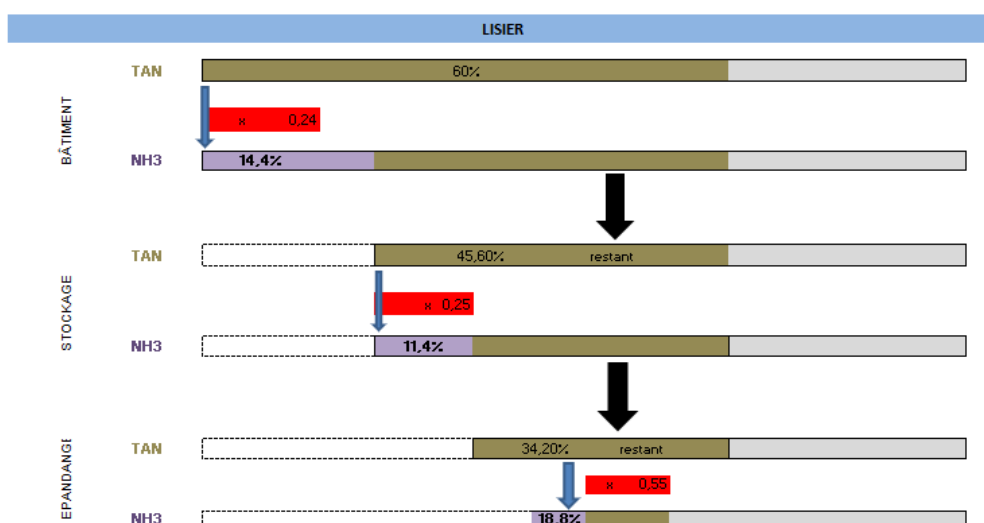
Les facteurs d'émissions sont ensuite calculés en fonction de la teneur en TAN et du taux de volatilisation à chaque poste :

Tableau 15 : Default Tier 2 NH₃-N EFS methodology for the calculation of emissions NH₃-N from manure management

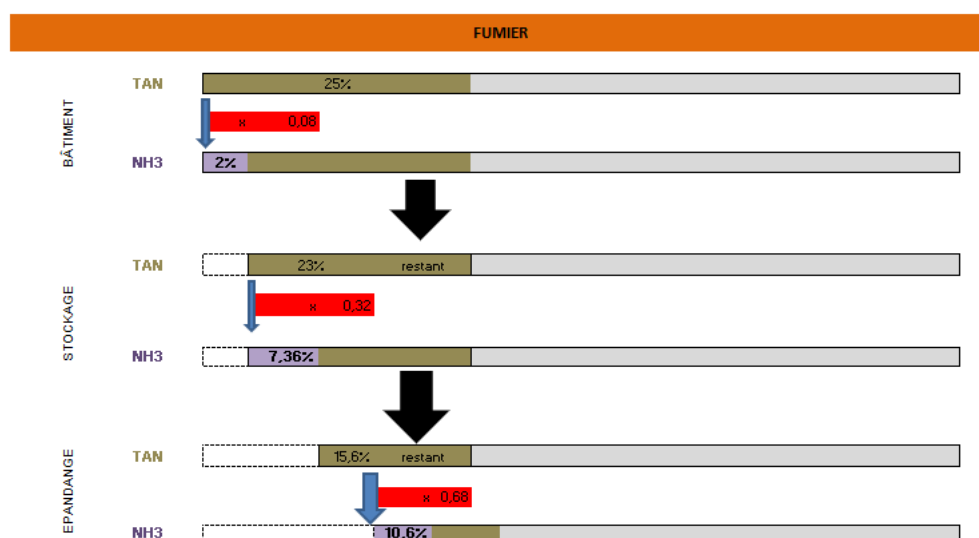
Code	Livestock	Housing period ^(a) , d a ⁻¹	N _{ex} ^(b)	Proportion of TAN	Manure type	EF _{housing}	EF _{yard}	EF _{storage}	EF _{application}	EF _{grazing/outdoor}
3B1a	Dairy cattle	180	105	0.6	Slurry	0.24	0.30 (*)	0.25	0.55	0.14
					Solid	0.08	0.30 (*)	0.32	0.68	0.14
3B1a	Dairy cattle, tied housing	180	105	0.6	Slurry	0.09	0.30 (*)	0.25	0.55	0.14
					Solid	0.09	0.30 (*)	0.32	0.68	0.14
3B1b	Non-dairy cattle (all other cattle)	180	41	0.6	Slurry	0.24	0.53 (*)	0.25	0.55	0.14
					Solid	0.08	0.53 (*)	0.32	0.68	0.14

Les émissions sont calculées selon la méthodologie suivante puis les facteurs d'émissions sont pondérés par un niveau température. Pour les trois « postes » bâtiment, stockage et épandage, 3 gammes de températures, et donc de FE associés, sont proposés : < 8°C, de 8°C à 16°C et > 16°C.

- LISIER :



- FUMIER :



Le calcul des émissions d'ammoniac est fonction de la température et donc du temps de présence en bâtiment.

Tableau 16 : Taux de volatilisation N-NH3 bâtiment CAP'2ER®.

Taux de volatilisation de N-NH ₃ / bâtiment / fumier		Taux de volatilisation de N-NH ₃ / bâtiment / lisier	
% N-TAN _{Volat} BE moyen / fumier		% N-TAN _{Volat} BE moyen / lisier	
% N-TAN		% N-TAN	
8 %		24 %	
Lisier :		0,60 x 0,24 = 14,4 % de N-NH ₃ émis par rapport au N-total en bâtiment	
Fumier :		0,25 x 0,08 = 2 % de N-NH ₃ émis par rapport au N-total en bâtiment	

Les facteurs d'émissions sont exprimés en % de l'N total des déjections (Tableau 17). Ensuite, selon la température, les facteurs d'émissions sont ensuite pondérés.

Le facteur température vient pondérer sur trois durées à savoir :

- Si <4 mois : période supposée = hiver. La moyenne des T° hivernale est calculée. Le FE correspondant est appliqué.
- Si entre 4 mois et 8 mois : période supposée = hiver + printemps ou automne La moyenne des T° hivernale est calculée. Le FE correspondant est utilisé pour 4 mois.
La moyenne des T° printemps ET automne est calculée. Le FE correspondant est utilisé pour les mois restant.
- Si >8 mois : même chose que ci-dessus + calcul de la moy. des T° estivales et FE correspondant est utilisé pour les mois restant.

Tableau 17 : Pondération des facteurs d'émissions en bâtiment selon la température (% N Bâtiment)

% N Bâtiment				
Gamme de t° en °C	Aire raclée fumier	Aire raclée Lisier	Caillebotis	Litière accumulée
< 8	2	7	11	2
8 ≤ T° < 16	3	12	16	2
≥ 16	4	18	19	3

Ces valeurs (Tableau 17) sont issues des valeurs par défaut données par EMEP 2019 qui sont de 14,4 % (24 % du TAN avec des lisiers en moyenne à 60 % de TAN) en proportion de l'azote excrété pour les effluents liquides et de 2 % pour les effluents solides (0,08 % du TAN avec des effluents solides en moyenne à 25 % de TAN).

Ces deux valeurs par défaut ont ensuite été modulées à dire d'expert à partir des publications présentes dans la bibliographie (Schrade, et al., 2012); (Mosquera, Hol, & Monteny, 2006) ; (Zhang, et al., 2005)) pour les adapter à nos systèmes français.

POSTE STOCKAGE :

Le principe utilisé est basé sur la durée de stockage.

Tableau 18 : Taux de volatilisation N-NH₃ stockage CAP'2ER®.

Taux de volatilisation de N-NH ₃ / stockage / fumier	Taux de volatilisation de N-NH ₃ / stockage / lisier
% N-TAN-Volat_STO moyen / fumier	% N-TAN-Volat_STO moyen / lisier
% N-TAN	% N-TAN
32,00 %	25 %
Lisier = 0,456 x 0,25 = 11,4 % de N-NH ₃ émis par rapport au N-total au stockage Fumier = 0,23 x 0,32 = 7,4 % de N-NH ₃ émis par rapport au N-total au stockage	

Le facteur température vient pondérer sur trois durées comme pour le poste bâtiment.

Tableau 19 : Pondération des facteurs d'émissions au stockage de fumier selon la température

Fumier (% N stocké)				
Gamme de t° en °C	Stockage en fumière (fumier issu d'Aire Raclée	Stockage au Champ de fumier de litière accumulée	Fumier composté	Méthanisation du fumier
(EMEP, 2019) modulé à dire d'expert à partir des publications (Valeur défaut Fumier = 7,4%)				
<8	7%	5%	2%	7%
8 ≤ T° < 16	15%	7%	3%	15%
≥ 16	29%	15%	5%	29%

Tableau 20 : Pondération des facteurs d'émissions au stockage de lisier selon la température

Lisier (% N stocké)					
Gamme de t° en °C	Fosse à lisier non couverte avec brassage régulier ou fosse à lisier avec une couverture sur charpente avec brassage régulier	Fosse à lisier avec présence d'une croûte naturelle	Fosse à lisier avec couverture artificielle (bâche souple, poche à lisier, ...)	Fosse caillebotis	Méthanisation du lisier
(EMEP, 2019) modulé à dire d'expert à partir des publications (Valeur défaut Lisier = 11,4 %)					
<8	6 %	3 %	1 %	6 %	6 %
8 ≤ T° < 16	11 %	6 %	3 %	11 %	11 %
≥ 16	14 %	7 %	4 %	14 %	14 %

Les valeurs se basent sur les valeurs par défaut de EMEP 2019 et ont été modulées à dire d'expert et sur l'appui des publications de la bibliographie (Tableau 18). Les valeurs par défaut sont respectivement pour les fumiers 7,4 % (32 % du TAN avec des lisiers en moyenne à 23 % de TAN) et les lisiers 11,4 % (25 % du TAN avec des lisiers en moyenne à 45,6 % de TAN) de l'azote entrant au stockage.

Pour ce qui est de l'effet de la croûte naturelle et de la couverture artificielle un abattement respectif de 50 et 75 % ont été retenus. Quant au caillebotis on a considéré qu'il s'agissait d'un stockage en fosse avec brassage régulier. Ces deux valeurs par défaut ont ensuite été modulées à dire d'expert pour les adapter à nos systèmes français.

POSTE EPANDAGE :

Lisier = $0,342 \times 0,55 = 18,8 \%$ de N-NH₃ émis par rapport au N-total au stockage

Fumier = $0,156 \times 0,68 = 10,6\%$ de N-NH₃ émis par rapport au N-total au stockage

Tout comme au bâtiment et au stockage, les émissions d'ammoniac sont dépendantes de la température. L'épandage étant principalement réalisé à l'automne ou au printemps, la température printemps/automne est considérée (Tableau 21).

Tableau 21: Pondération des facteurs d'émissions à l'épandage selon la température

% N entrée épandage (sortie stockage)			
Gamme de t° en °C	Lisier	Fumier	Compost fumier
< 8 (-20 % - à dire d'expert)	15	9	3
8 ≤ T° < 16 (EMEP, 2013)	19	11	4
≥ 16 (+ 20 % - à dire d'expert)	23	13	5

Puis, un taux d'abattement est appliqué aux émissions selon la technique d'épandage et le délai d'incorporation (Tableau 22).

L'utilisation de la buse palette et l'incorporation au-delà d'une semaine sont pris comme références, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'abattement appliqué pour ces deux pratiques.

Tableau 22: facteurs utilisés dans CAP'2ER reprenant les EF de base et modulés en fonction de la température

% N entrée épandage (sortie stockage)			
Gamme de t° en °C	Lisier	Fumier	Compost
Source Etude CITEPA 2013, Dires d'expert Idele à partir de (Martin & Mathias, 2013)			
Pendillard	40	NA	NA
Injection	80	80	80
Incorporation dans les 12h	45	50	50
Incorporation dans les 24h	30	35	35
Incorporation dans la semaine	10	5	5

4.1.4. Synthèse des 3 méthodologies

Dans leurs finalités respectives, la méthode Citepa répond à des besoins d'inventaire nationaux régis par une approche internationale, CLIMAGRI à des besoins d'inventaire territorialisé et CAP'2er à des besoins de conseil individuel aux agriculteurs (Tableau 23).

Dans l'analyse en parallèle des 3 méthodologies, le Citepa se distingue par des inventaires par secteur : le secteur animal avec un inventaire des émissions en bâtiment et au stockage et le secteur végétal avec les émissions à l'épandage de MO et d'engrais chimiques.

Pour CLIMAGRI et CAP2ER les émissions des secteurs animaux et végétaux sont sommées par type de productions et ensuite globalisées à l'échelle de l'exploitation.

Tableau 23 : Finalité des outils et des méthodologies

	Citepa	CLIMAGRI	Cap2er
Echelle d'utilisation	Territoire	Territoire	Exploitation
Approche environnementale	Multicritères	Multicritères	Multicritères
Inventaire	En valeur absolue	En valeur absolue	Indicateurs
Périmètre	Ferme France	Ferme France	ACV porte ferme
Espèces	Herbivores Granivores Cultures	Herbivores Granivores Cultures	Herbivores Granivores* Cultures*
Résultat	Sectoriel	Global	Global
Finalités	Inventaire	Inventaire-prog. d'actions	Diagnostic- Conseil

*En cours de construction inter instituts techniques 2021

Les références utilisées sont relativement proches (Tableau 24). La différence se fait dans le calcul en cascade de l'azote où quand le nouveau solde est affecté au compartiment suivant (bât>stockage>épandage). Par exemple, le Citepa estime une minéralisation des lisiers pendant la phase de stockage. Pour les fumiers une dénitrification de 30 % est estimée dans la phase de stockage pour le Citepa et CLIMAGRI.

Tableau 24 : Azote excrété, TAN et facteurs d'émissions du bâtiment à l'épandage

	CITEPA	CLIMAGRI	CAP'2ER
Calcul de l'azote excrété par animal	CORPEN 1999	CORPEN 1999	TIERS 2 GIEC
TAN animal	EMEP 2019	EMEP 2013	EMEP 2019
FE Bâtiment	EMEP 2019	EMEP 2013	EMEP 2019
FE stockage	EMEP 2019	EMEP 2013	EMEP 2019
FE Epandage	EMEP 2019	EMEP 2013	EMEP 2019
FE pâturage	EMEP 2019	EMEP 2013	EMEP 2019

Pour mieux cohabiter, les méthodes CLIMAGRI et CAP'2ER devraient s'ajuster sur une cascade de l'azote en références aux facteurs d'émissions du Citepa toujours actualisée.

4.2. AMELIORER LA QUALITE DES DONNEES D'ACTIVITES BOVINES ET LA CONNAISSANCE DES BONNES PRATIQUES POUR AJUSTER LES INVENTAIRES NH₃ REALISES PAR LE CITEPA

4.2.1. Inventaire annuel des effectifs bovins

Thèmes de l'atelier :

- Origine et analyse des jeux de données bovins utilisées par le CITEPA (sources, catégories)
- Origine, analyse des données d'effectifs bovins utilisées par IDELE et cadre de valorisation
- Discussion sur la compréhension des dynamiques d'évolution des troupeaux (*notamment tentative de modélisation de troupeau, gestion du renouvellement, ...*)

Citepa: Les principaux paramètres de calcul pour les émissions de NH₃ en élevage sont exprimés par tête et par an. Ces valeurs doivent alors être appliquées à des populations annuelles moyennes.

Dans l'inventaire national, les effectifs animaux utilisés pour effectuer les calculs sont ceux issus de la Statistique Agricole Annuelle (SAA). Ces données sont établies par le SSP du ministère de l'Agriculture. Le document méthodologique associé à ces données indique que les effectifs sont mesurés au 1^{er} novembre, même si cette date d'observation des effectifs n'est sans doute que « théorique » (l'objectif restant de mesurer les effectifs dans la période la plus proche de la fin d'année).

Pour les bovins, la SAA est désormais calée sur les effectifs suivis par la base de données nationale d'identification (BDNI). Les reproducteurs de réforme sont, pour les bovins, comptés dans leur catégorie d'origine.

Ainsi, l'une des premières difficultés rencontrées réside dans le fait de savoir si l'image des effectifs prise à un instant donné au cours d'une année reflète bien les effectifs moyens annuels que l'on cherche à estimer pour appliquer ensuite les méthodes de calcul d'inventaire.

Le calage des données sur la BDNI semble un moyen efficace pour s'assurer d'avoir une image représentative des effectifs moyens annuels. La question se pose en particulier pour les catégories animales vivant moins d'un an comme les veaux de boucheries ou les catégories exportées à l'étranger comme les broutards.

Il serait intéressant de pouvoir comparer plus en profondeur ces points afin de comprendre comment les traitements de la BDNI aboutissent aux effectifs présentés dans la SAA.

Les effectifs sont présentés selon les catégories suivantes du tableau 25.

Tableau 25 : Catégories de bovins dans l'inventaire

Catégorie agrégée	Catégories désagrégées
Vaches laitières	Vaches laitières
Autres bovins	Vaches nourrices
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans
	Mâles de type viande de plus de 2 ans
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans
	Veaux de boucherie
	Autres femelles de moins de 1 an
	Autres mâles de moins de 1 an

Dans les fichiers de téléchargement de ces données d'effectifs, il est indiqué : « en 2017, rupture méthodologique pour les postes suivants : Génisses plus de 2 ans (laitières, nourrices et de boucherie), Génisses 1 à 2 ans (laitières, nourrices et de boucherie) et bovins moins d'1 an (veaux de boucherie, autres femelles, autres mâles) ».

Cependant, cette rupture méthodologique n'est pas plus développée. Il faudrait pouvoir approfondir ce point, l'un des principes fondamentaux des inventaires nationaux étant la cohérence des données sur la série temporelle.

De nombreux questionnements se posent concernant les ratios obtenus entre les différentes catégories d'âges proposées dans la SAA, ou encore sur l'influence de la saisonnalité des naissances et de l'export sur les statistiques produites. Différents tests ont été effectués pour modéliser un troupeau moyen français, afin de s'assurer de la robustesse des effectifs utilisés dans l'inventaire, mais sans succès. Les bovins étant un poste majoritaire d'émission dans l'inventaire, il est important de garantir la fiabilité de l'estimation des populations annuelles moyennes.

IDELE GEB : Dans le cadre de ses missions de suivi de conjoncture (webzine Tendances, indicateurs économiques pour les interprofessions) et des travaux d'études pour les filières et les pouvoirs publics, le département économie de l'Institut de l'élevage a accès aux données d'identification animale bovine :

- Données SPIE-BDNI : mouvements individuels de bovins entre exploitations détentrices, informations sur l'animal (race, date de naissance, sexe, vêlage, ...)
- Données Normabev : caractéristiques à l'abattage des bovins (poids, conformation, engraissement, ...)

Ces données sont actualisées chaque début de mois et permettent notamment de produire des informations sur les cheptels présents en France en général (par région, sexe, âge, vache ou génisse, etc), leurs flux (naissances, abattages, exportations, mortalité, ...).

L'ensemble des analyses sont soumises au respect de la protection des données individuelles des éleveurs et des abatteurs : aucune donnée produite ne doit concerner moins de 3 individus, et un individu ne doit pas représenter plus de 85 % de la valeur.

Au-delà du suivi de conjoncture, le département économie valorise ces données selon les besoins principalement exprimés par les représentants des éleveurs et des filières, à la condition que les analyses servent l'intérêt général. Quelques exemples de travaux, qui la plupart du temps s'appuient également sur des enquêtes, focus groupes, etc. :

- Analyse des dynamiques des élevages allaitants en France : deux études, l'une en 2016, l'autre en 2020 (pour INTERBEV)
- Etat des lieux de la production d'animaux issue des élevages bovins biologiques (pour INTERBEV)
- Projet Casdar MODEMO : développement d'un modèle de prévision démographique du cheptel bovin et de ses productions
- Analyses de la baisse des naissances en élevage allaitant (pour la CNE)
- Etude sur les pratiques de sexage et de croisement en élevage laitier (pour INTERBEV)

IDELE-GEB pourrait proposer au CITEPA des données de comptage des effectifs bovins présents (à date ou en moyenne annuelle), pour les catégories qui les intéressent pour leurs évaluations. Nous pourrions également si besoin apporter des indicateurs répondant à leurs besoin, type taux de renouvellement, mortalité.

Chiffres clés 2020 :

http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/chiffres-cles-bovins-2020.html

Webzine Tendances : <https://www.tendances-lait-viande.fr/>

Points à approfondir :

- Utilisation d'outils de prévision de type MODENO
- Une meilleure précision des effectifs 2000 et 2010 est possible pour vérifier les écarts issus de données SCEES basées sur des enquêtes.
- Travailler sur des calculs d'effectifs moyens pondérés transparents pour disposer de la meilleure photo en bovins pour réaliser les inventaires de gaz à effet de serre et de polluants.
- Travailler avec plus de précision sur les catégories animales de plus de 2 ans, de 1 à 2 ans mais aussi les veaux en lien avec le poids d'abattage.

4.2.2. Références N excrété animal actuelles et amélioration à prévoir pour apporter de la précision dans les émissions

Thèmes de l'atelier :

- Point sur la méthode de calcul de l'N excrété pour les différentes catégories,
- Références retenues actuellement et à venir pour apporter de la précision dans les émissions
- Possibilités de limiter le N excrété en modulant le régime alimentaire des catégories bovines
- Intérêts et limites de la précision dans un cadre macro.

Citepa : Quelle que soit la catégorie bovine concernée, le paramètre à estimer pour les méthodologies d'inventaire est la **quantité d'azote excrété par animal et par an** (kg N/tête/an) méthode CORPEN, qui sera ensuite appliqué à la population annuelle moyenne issue de la statistique agricole annuelle (voir section précédente).

Les estimations sont actuellement basées sur les publications du CORPEN de 1999 pour les vaches laitières, et du CORPEN de 2001 pour les autres bovins. Ces documents permettent de moduler l'excrétion azotée en fonction de plusieurs paramètres :

- le format des animaux,
- la production laitière,
- les fourrages consommés (herbe pâturée, foin, herbe conservée, ensilage de maïs).

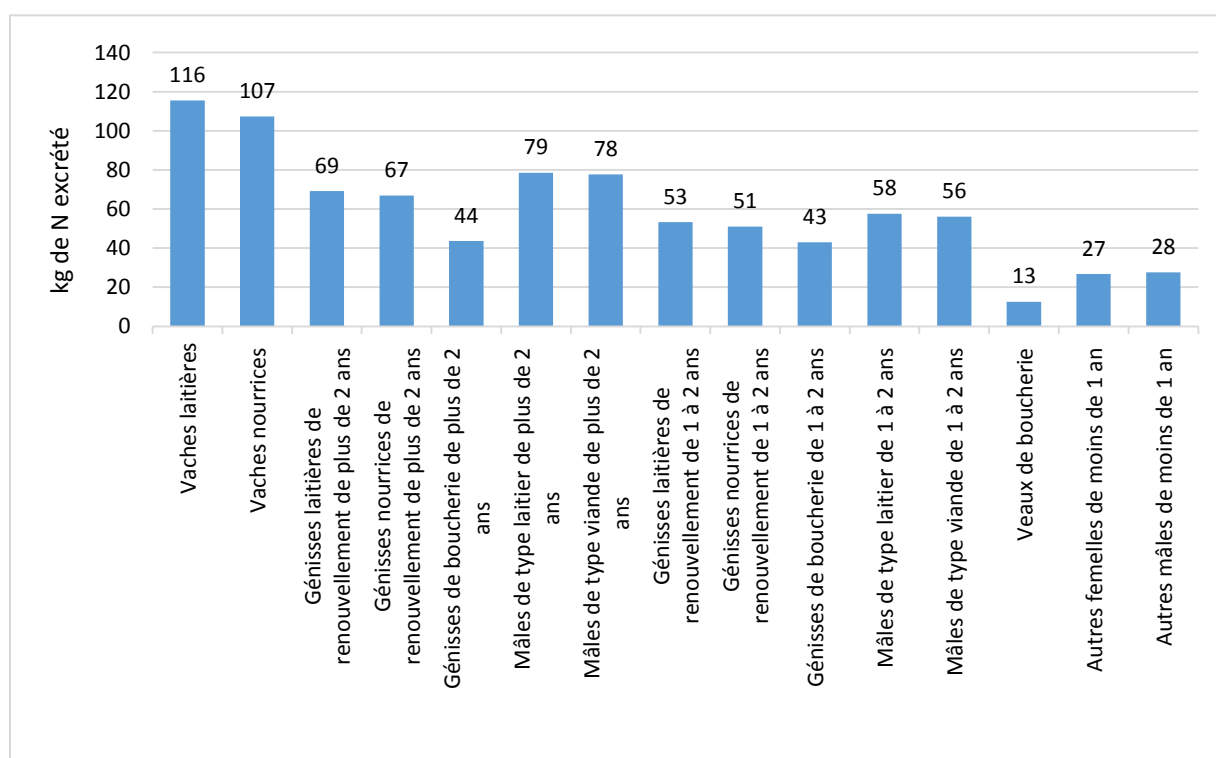
La part d'herbe pâturée est directement basée, pour tous les bovins, sur les valeurs régionales de temps passés au pâturage, données issues des enquêtes conduites par le service des statistiques du ministère de l'agriculture.

Concernant les autres fourrages (foin, herbe conservée, ensilage de maïs), leur contribution aux fourrages totaux consommés a été estimée à partir des rations moyennes différenciées selon les systèmes lait ou viande, présentées dans une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le Centre d'Information des Viandes (Figure 10). Ces données de rations sont utilisées pour l'ensemble de la période.

Pour les bovins hors vaches laitières, l'excrétion azotée par catégorie fine calculée au bâtiment est constante dans le temps, mais diffère de celle calculée à la pâture, également fixe dans le temps. L'excrétion azotée globale résultante (bâtiment + pâture), par catégorie fine, varie au cours du temps du fait des variations des proportions d'animaux gérés à la pâture.

Pour les vaches laitières, le même constat concernant les variations obtenues du fait de la gestion à la pâture s'applique. A cela vient s'ajouter une variation supplémentaire du fait de l'évolution de la production laitière, qui est un paramètre intervenant directement dans le calcul de l'excrétion azotée (+ 5 % par tranche de 1000 kg autour du niveau de base de 6000 kg lait). Les émissions de NH_3 étant estimées à partir de l'azote ammoniacal (noté TAN), un dernier paramètre est appliqué : la part de TAN dans l'azote total excrété.

Figure 10 : Valeurs kg de N excrété par tête par an en 2019 issues de l'inventaire, édition 2021



Dans l'inventaire, ce paramètre prend actuellement la valeur par défaut proposée dans EMEP (60 %). D'après les discussions conduites avec l'IDELE, il semblerait que ce paramètre puisse être très variable en bovins.

Globalement, les références utilisées sont désormais un peu anciennes, font appel à des valeurs par défaut, et ne permettent pas de refléter l'évolution des pratiques d'alimentation (hormis la pâture). Différentes pistes ont d'ores et déjà été explorées afin d'éprouver les méthodes d'estimation actuelles :

- La méthodologie proposée dans le Giec 2006 se fonde sur un bilan entre l'azote ingéré et l'azote retenu. Les excréments azotés obtenus en appliquant ce bilan diffèrent des résultats Corpen (*par exemple en 2019, - 17 % en vaches laitières, + 55 % en vaches nourrices*).
- Le Citepa a été impliqué dans le projet UREA, qui a établi des équations pour estimer l'azote ammoniacal des vaches laitières à partir de l'urée du lait. Les résultats obtenus donnent des valeurs globalement plus faibles sur l'année, mais si l'on s'intéresse à la distinction bâtiment/pâture, on note que les TAN UREA bâtiment sont plus élevés que ceux actuellement utilisés dans l'inventaire, alors que ceux calculés pour la pâture à partir des équations UREA sont plus faibles que ceux actuellement utilisés dans l'inventaire.

Au regard de l'importance des bovins dans l'inventaire des émissions de NH_3 , améliorer l'estimation de l'excrétion azotée est un enjeu majeur sur lequel il est indispensable de progresser. Il serait également intéressant d'explorer plus en profondeur la possibilité d'avoir recours à des données nationales pour estimer la part de TAN chez les bovins.

IDELE Service lait : Pour prédire les rejets azotés des vaches laitières, il a deux options principales :

- Connaître précisément l'alimentation (1)
- Utiliser un indicateur de nutrition azotée (2)

(1) Pour connaître précisément l'alimentation, il faut un observatoire à jour des rations pour vaches laitières qui couvre la diversité des situations rencontrées en France dans les différentes zones pédoclimatiques. D'autres critères doivent être disponibles pour avoir une démarche précise : valeurs MAT des fourrages et concentrés, performances laitières, taux du lait. Un observatoire remontant les constats d'alimentation des entreprises de conseil en élevage existe (FCEL, Cniel, Idele). Il a l'avantage de faire remonter des rations réelles et est mis à jour au minimum chaque mois. De plus, il couvre une large diversité de situations.

(2) Utiliser un indicateur de nutrition azotée comme le taux d'urée du lait. Pour prédire les rejets azotés, un modèle à l'échelle de l'animal a été créé dans le projet UREA. Simplifié à travers un méta-modèle, il permet de bien prédire ces rejets à l'échelle d'un troupeau à partir de la teneur en urée du lait.

Son utilisation donne un meilleur reflet de la variabilité des situations en France par rapport aux méthodes utilisées actuellement. Toutefois, il faut le coupler à une estimation de l'ingestion des vaches laitières pour être précis. En effet, le méta-modèle prédit uniquement l'azote urinaire.

A l'avenir, l'enjeu sera de parvenir à récupérer, enregistrer et valoriser les données de teneur en urée du lait de vache sur les laits collectés afin d'affiner la connaissance des rejets azotés.

L'observatoire de l'alimentation des vaches laitières (Réalim) est un outil d'intérêt pour la suite ce travail. Les travaux du projet UREA sont mobilisables pour poursuivre les échanges, en lien avec l'INRAE UMR PEGASE (Nadège Edouard).

Points à approfondir :

- Resalim : observatoire de l'alimentation des vaches laitières en France (mise à jour fréquente)
- Processus de validation du rejet en recroisant avec la base UREA (si disponible)
- Consulter Nadège EDOUARD sur le TAN >>> Nexcreté
- Déterminer une valeur des aliments et des fourrages
- Travaux sur les rejets azotés en élevage allaitant poids de la vache allaitante française, système d'alimentation (mise à jour)
- Intégrer dans l'estimation de l'azote excrété une dynamique sur les rations alimentaires.
- Explorer la possibilité d'obtenir les données d'urée du lait pour intégrer les résultats de l'étude CORTEA UREA
- Travaux à conduire pour disposer de valeurs nationales de %TAN en bovins

4.2.3. Analyse des leviers technologiques disponibles et des changements de pratiques agricoles pour limiter les émissions **en bâtiments, au stockage, à l'épandage et au pâturage**

- Point sur les mesures d'atténuation en bâtiments, au stockage, à l'épandage et au pâturage.
- Intérêts des références retenues actuellement et limites
- Analyse des leviers les plus efficaces au regard de l'état de la connaissance

Echanges autour de l'efficacité et de la faisabilité de mises en œuvre de ces mesures.

Citepa : Les principales mesures pour réduire les émissions de NH_3 d'origine agricole sont répertoriées dans le guide des bonnes pratiques publié par l'ADEME en 2019. La plupart de ces pratiques concerne les systèmes liquides (raclage en V au bâtiment, couverture de fosse, ...). Or, une forte part des bovins en France est élevée sur litière accumulée. Peu de références sont actuellement disponibles pour caractériser ce système en termes d'émission de NH_3 , et donc en termes de levier de réduction.

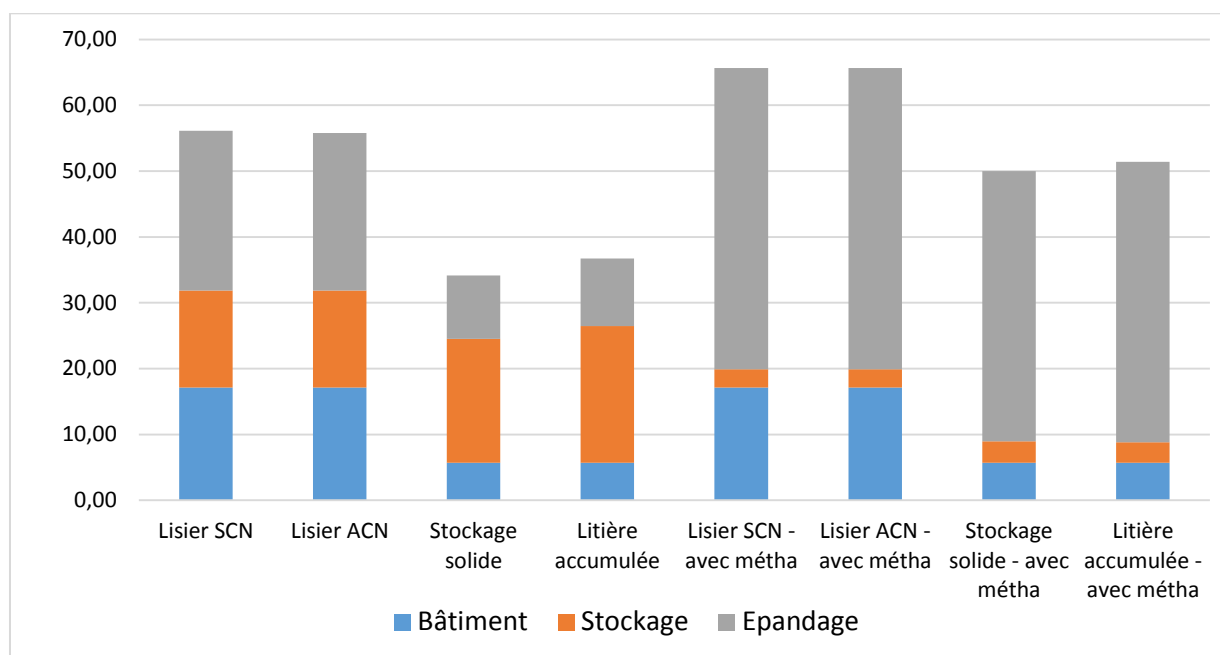
Si l'on considère les différents postes du (Tableau 26) sur lesquels il est possible d'agir, voici l'état des lieux de ce qui est pris en compte dans l'inventaire national :

Tableau 26 : Valorisation plus fine des informations disponibles

Poste	Prise en compte de pratiques de réduction dans l'inventaire ?	Commentaire
Alimentation	Non	Voir section précédente pour les pistes d'amélioration
Bâtiment	Non	Reconsidérer les résultats des enquêtes bâtiments 2015
Stockage	Non	Reconsidérer les résultats des enquêtes bâtiments 2015
Epandage	Oui	Matériel et délais connus à partir des enquêtes du service des statistiques du MAA
Pâturage	Oui	Mais les dernières données temps pâture datent de 2008

Pour analyser les leviers les plus intéressants, il est important de connaître l'importance des différents postes d'émission. La figure 11 présente les émissions de NH_3 en vache laitière, hors pâture, sans prise en compte des réductions de NH_3 à l'épandage.

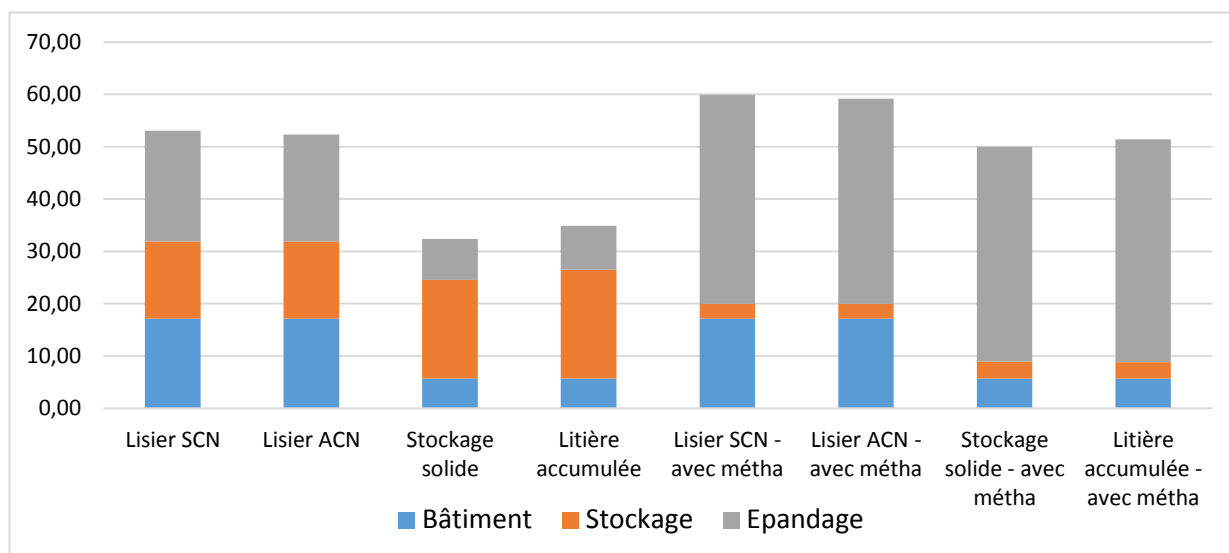
Figure 11 : Emissions de NH_3 par poste en vache laitière, sans prise en compte des pratiques de réduction



*SCN : sans croûte naturelle, ACN : avec croûte naturelle

L'importance des postes d'émission varie selon les systèmes, mais le poste épandage présente « l'avantage » d'une contribution importante, de leviers bien identifiés (que ce soit en système liquide ou solide) et d'une connaissance des pratiques grâce aux enquêtes (Figure 12).

Figure 12 : Emissions de NH_3 par poste en vache laitière, avec prise en compte des pratiques de réduction



Pour améliorer les estimations actuelles, il s'agirait de se concentrer sur les postes bâtiment et stockage avec une attention particulière pour les systèmes en litière accumulée comme mentionné plus haut.

CLIMAGRI : Pour le volet pâturage, selon les références et EMEP 2016 le taux d'émission NH_3 d'une génisse au pâturage diffère selon son origine. Or l'élevage des génisses les pratiques d'alimentation sont souvent proches (Tableau 27).

De plus, sur la base du forfait de rejet annuel pour une vache laitière et une vache allaitante, l'azote qui tombe en bâtiment et au pâturage est réparti au prorata du temps de présence Or, les rejets azotés sont différents selon la nature de l'alimentation hivernale et estivale.

Tableau 27 : Facteurs d'émissions génisses au pâturage selon le secteur de production

Catégories Animaux	Taux d'émission de N-NH ₃ par rapport au N excrété en % de N-TAN
Génisse lait	10,0
Génisse viande	6,0

Les facteurs d'émission retenus sont à 1 % identiques que l'on soit en lisier ou en litière accumulée. La litière accumulée est probablement affiliée à une référence internationale qui majore a priori les émissions pour ce type d'effluents (Tableaux 28 et 29). De plus, la litière accumulée est typiquement française mais on ne dispose d'aucune référence sur ce produit (80 % de la production d'effluent en France).

Tableau 28 : Facteurs d'émissions en bâtiment selon la nature des effluents produits

Taux de volatilisation de N-NH ₃ / bâtiment / fumier en % de N-TAN	Taux de volatilisation de N-NH ₃ / bâtiment / lisier en % de N-TAN
19	20

Tableau 29 : Facteurs d'émissions au stockage selon la nature des effluents produits

Taux de volatilisation de N-NH ₃ / stockage / f / fumier en % de N-TAN	Taux de volatilisation de N-NH ₃ / stockage / lisier/ fumier en % de N-TAN
27	10

Concernant le stockage des lisiers, la notion de croûte naturelle demande d'être mieux précisée (Tableau 30). Par ailleurs, la formation d'une croûte naturelle stable est limitée si la fosse est l'objet d'un brassage (tous les 15 jours) ; ce qui a pour effet de favoriser la sédimentation des fins en fond de fosse mais aussi un travail préalable des lisiers pour les homogénéiser pour un épandage avec pendillard.

De plus si on se réfère aux pratiques d'oxygénation en stations d'épuration, l'oxygénation, provoquera une nitrification des formes minérales de l'azote avec ensuite un stress du pool microbien qui va induire de la dénitrification. Il serait important de quantifier les effets du brassage sur les émissions globales GES inclus.

Tableau 30 : Les mesures de réduction à l'épandage

Réduction appliquée des émissions de NH ₃ selon Martin et al. 2013		Taux d'abattement NH ₃
Couverture des fosses à lisier	croûte naturelle	50 %
	autres couvertures	80 %

Les mesures proposées ne prennent pas en compte les effets directs sur d'autres gaz. En effet, il semblerait que le bâchage des tas de fumier (Tableau 31) en herbivore soit contreproductif à double titre.

D'une part, ces fumiers compacts ou très compacts une fois bâchés vont s'engager vers une voie de digestion anaérobie (même avec des bâches poreuses) ; ce qui va induire des émissions de GES. D'autre part, l'organisation de l'azote organique sous forme minéral et par conséquent ammoniacal augmente et par conséquent augmente à l'épandage. C'est le principe de la méthanisation sèche qui est induit pour ces bâchages de fumiers dont le rapport C/N est supérieur à 20 (activité biologique rapport C/N =8). Les mesures proposées ne prennent pas en compte les effets directs sur d'autres gaz.

Tableau 31 : Les mesures de réduction à l'épandage

Réduction appliquée des émissions de NH ₃ selon Martin et al. 2013		Taux d'abattement NH ₃
Incorporation du lisier	Pendillard	40 %
	Injection directe ou incorporation immédiate	90 %
	Incorporation dans les 4 heures	60 %
	Incorporation dans les 12 heures	40 %
	Incorporation dans les 24 heures	30 %
	Incorporation dans la semaine	5 %
Incorporation du fumier	Injection directe ou incorporation immédiate	90 %
	<i>Bâchage des tas de fumier</i>	60 %
	Incorporation dans les 4 heures	60 %
	Incorporation dans les 12 heures	40 %
	Incorporation dans les 24 heures	30 %
	Incorporation dans la semaine	5 %

Points à approfondir :

- Le brassage des fosses à lisier est le passage obligé pour obtenir un produit homogène (rhéologie des liquides) limité en débris végétaux pour rendre épandable avec un pendillard voire avec d'autres dispositifs de dépôt du liquide au sol ;
- Ce brassage induit de nouveau départ d'ammoniac car limite la formation du croutage naturel
- Ce brassage devrait (même s'il ne s'agit pas d'un bullage STEP) théoriquement favoriser la nitrification puis une dénitrification ! Il faut poser ce débat sur les effets du brassage.
- Travaux à conduire pour obtenir des références nationales pour les systèmes en litière accumulée
- Approfondir et mieux comprendre les données disponibles dans les enquêtes de 2015 pour les pratiques au bâtiment et au stockage en bovins.

4.3. CAHIER DES CHARGES D'AMÉLIORATION DES MÉTHODES D'INVENTAIRE

Les travaux menés en atelier dans ce projet suggèrent des axes de travaux pour améliorer les inventaires et/ou pour les futures enquêtes nationales à partir d'une prise en compte ajustée aux systèmes d'élevage en France et aux changements de pratiques. Une concertation avec le Citepa aboutirait à une meilleure prise en compte, des activités bovines, ovines et caprines et des bonnes pratiques déjà mises en place dans les élevages.

La perspective d'un paramétrage de calcul (ex : TAN : azote des déjections, ...) associé à des facteurs d'émissions communs actualisés donnerait les moyens d'analyser l'inventaire national avec les focus réalisés par les diagnostics CAP2er.

Cinq axes ont émergé des travaux dans les ateliers conduits entre IDELE et le Citepa à savoir :

Les données statistiques relatives aux effectifs et conduites d'élevage

- ✓ Améliorer la connaissance du fonctionnement par des enquêtes plus robustes,
- ✓ Améliorer la transparence des données issues des statistiques ainsi que les retraitements effectués pour s'assurer d'une utilisation correcte de ces effectifs dans les inventaires (population annuelle moyenne),
- ✓ Ajuster les effectifs bovins sur la base d'une moyenne pondérée annuelle,
- ✓ Améliorer les enquêtes relatives aux bâtiments d'élevage, à leurs fonctionnements aux moyens de stockage et aux couvertures de fosses et sur les pratiques de conditionnement des effluents en cours de stockage et au cours de la phase d'épandage.

Les références d'azote excrétées

- ✓ Justifier à partir des observatoires et autres modèles de l'azote excrété pour les catégories laitières et génisses allaitantes,
- ✓ Etendre la réflexion à l'ensemble des catégories bovines pour mettre à jour les références CORPEN.

Les facteurs d'émissions à ajuster selon les acquis scientifiques

- ✓ Réviser le TAN en système allaitant plutôt 0.5 que 0.6 à partir de la modélisation,
- ✓ Etendre la réflexion à l'ensemble des catégories bovines pour mettre à jour les références CORPEN.

Les facteurs d'émissions à revoir par expérimentation

- ✓ Revoir les facteurs d'émissions appliqués au fumier compact et très compact 70 % issu de litière accumulée de la production nationale et typicité nationale,
- ✓ Justifier la non-couverture des tas de fumier pour éviter les émissions de NH_3 en herbivores,
- ✓ Mesurer les effets du brassage régulier des fosses sur les émissions,
- ✓ Proposer un croutage végétal maîtrisé voire autres et mesurer les effets sur les émissions dans le temps.

Les atténuations à l'épandage

- ✓ Prendre en compte la température selon la saison d'épandage,
- ✓ Vérifier si les émissions sont moins importantes sur un sol enherbé versus sol nul avec incorporation post-épandage.

V. Analyse des leviers technologiques disponibles et des changements de pratiques agricoles pour limiter les émissions

Dans ce paragraphe, nous synthétisons les recettes à apporter aux éleveurs et aux conseillers à partir de l'état des lieux des bonnes pratiques environnementales (BPE) mais aussi des coûts de mise en œuvre.

5.1. GUIDE DES BONNES PRATIQUES PREPA

L'Etat français a transposé dans sa législation les objectifs de la directive UE 2016/2284 appelée plus communément NEC-2. Le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA).

L'Etat français conformément aux objectifs de la directive NEC-2 s'est doté d'un guide des bonnes pratiques agricoles pour limiter les émissions de NH₃ et de particules.

L'objectif est de diffuser des pratiques agricoles connues et pertinentes pour réduire les émissions de polluants dans l'air en évitant ce transfert de polluants vers un autre compartiment par exemple de l'air vers l'eau.

Ce guide a été rédigé par le Citepa à partir d'une large consultation de la recherche, des instituts techniques et des organisations professionnelles agricoles.

Pour résumer, le volet élevage couvre les herbivores et granivores avec des préconisations pour les postes : alimentation, bâtiment, stockage, traitement, épandage, pâturage.

- Alimentation des animaux d'élevage : réduire les apports protéiques, être au plus proche des besoins des animaux selon leur stade de production et favoriser la baisse du pH des déjections.
- Fertilisation azotée : réduire les apports azotés organiques et minéraux en introduisant des légumineuses, être au plus proche des besoins des plantes, épandre dans de bonnes conditions météorologiques, substituer les engrais azotés minéraux uréiques au profit d'autres formes moins émissives.
- Gestion des fumiers/lisiers/fientes dans les bâtiments d'élevage : évacuer rapidement et efficacement les déjections vers des ouvrages de stockage adaptés, séparer l'urine et les fèces grâce au raclage en V, gérer l'ambiance du bâtiment en piégeant l'ammoniac par des laveurs d'air ou des brumisateurs, Agir sur les paramètres physico-chimiques des déjections (température, pH, humidité).
- Stockage des effluents d'élevage : couvrir les fosses à lisier.
- Gestion du pâturage : augmenter le temps passé au pâturage par les bovins.
- Pratiques d'épandage des produits organiques et minéraux : réduire la surface et le temps de contact des effluents avec l'atmosphère au moment de l'apport en utilisant des matériels adaptés.

Dans ce guide, 14 fiches illustrent les principales mesures techniques à mettre en œuvre pour diminuer les pertes de NH₃ vers l'air.

5.2. ETAT DES TRAVAUX CONDUITS DANS LE CADRE DU GENEM

Les leviers et les points sur lesquels l'éleveur peut agir sont largement communs aux différents documents et travaux présentés ci-dessus. Ils se répartissent sur les postes suivants :

- ✓ Bâtiments : les principales techniques reposent sur le lavage de l'air et les techniques permettant une évacuation régulière des fèces et urines (raclage en V, lisier flottant etc.), limitant la formation d'urée. En élevage de ruminants, les quantités d'air à

renouveler limitent l'utilisation de cette technique. Dans les élevages de volailles, le contrôle de l'humidité est un levier privilégié.

- ✓ Déjà largement répandue en élevage porcin, l'alimentation « multiphase » permet de limiter les apports d'azote aux besoins des animaux en fonction de leur stade de croissance. Elle limite également les émissions de méthane des ruminants. Pour autant, l'augmentation du temps passé en pâturage par les bovins constitue également un levier efficace.
- ✓ Stockage : les émissions liées au stockage des effluents d'élevage liquides peuvent être significativement réduites avec la mise en place d'une couverture naturelle ou solide des fosses. D'autres techniques comme l'acidification des lisiers sont répandues dans d'autres pays de l'union européenne mais présentent des contraintes techniques fortes.
- ✓ Epandage : les émissions liées à l'épandage sont atténuables avec l'utilisation de matériel moins émissif (« pendillard ») au lieu de buses, dispositifs de contrôle précis des apports) et, lorsque les cultures le permettent, par l'enfouissement rapide des fertilisants (dès l'épandage via un matériel spécifique ou par un 2^{ème} passage). Très efficace lorsqu'il est effectué dans les heures suivant l'épandage, l'enfouissement rapide entraîne des contraintes fortes d'organisation, de matériel de traction et de main d'œuvre.

Le rapport coût/efficacité des différentes techniques est plus favorable pour des actions conduites sur l'alimentation, suivi de celles concernant l'épandage, le stockage. Enfin, le poste bâtiment oblige à des investissements lourds et souvent difficiles à mettre en œuvre sur des installations existantes.

5.3. FAISABILITE TECHNICO-ECONOMIQUE

Pour réduire les émissions d'ammoniac à l'échelle de l'exploitation, il convient d'agir sur 4 postes :

- l'alimentation des animaux
- le logement des animaux
- le stockage des effluents
- l'épandage

Toutefois il nous semble opportun de pouvoir poser une stratégie efficace afin de savoir s'il faut agir sur ces 4 postes à la fois ou si l'un des postes mérite une attention particulière pour être le plus efficace d'un point de vue technico-économique.

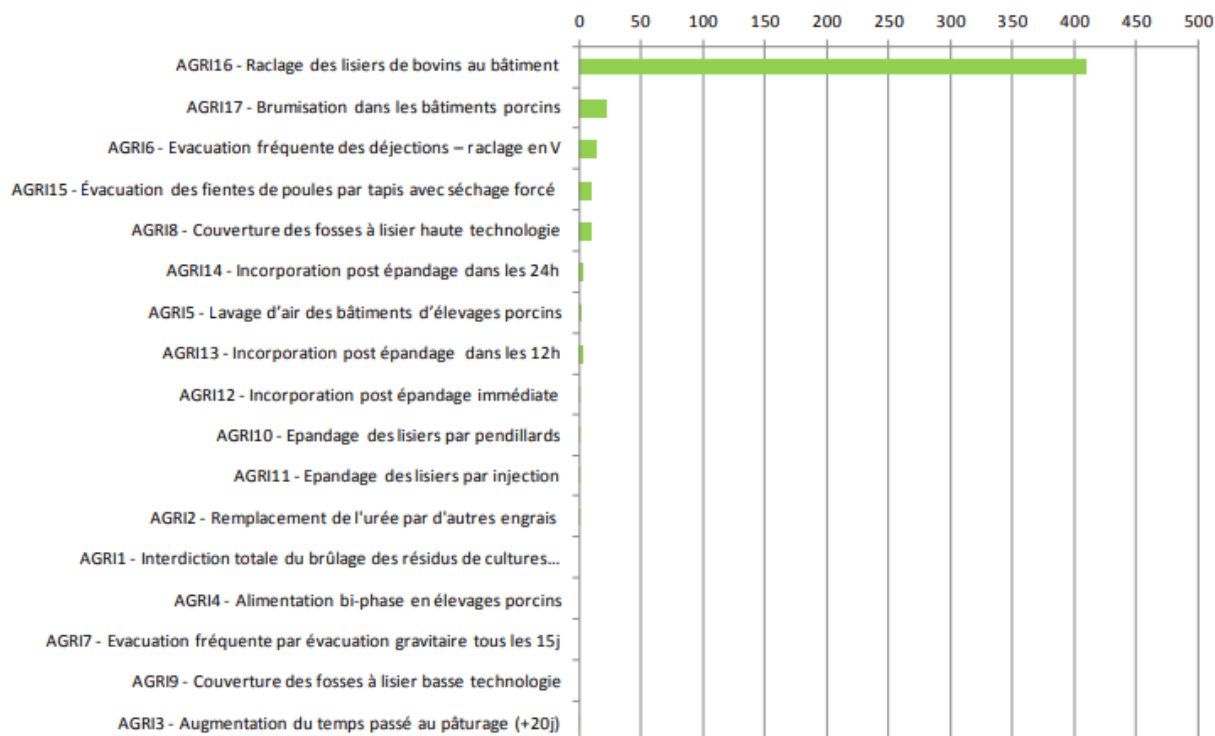
5.3.1. Principales conclusions du rapport OAD pour l'élaboration de PREPA 2016

La seconde version du rapport Principal « Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA » de juin 2016 dispose d'une approche technico-économique basée sur le rapport coût efficacité.

Les principales conclusions de ce rapport montrent que plus on essaie d'agir sur les infrastructures de l'exploitation d'élevage plus le ratio est défavorable.

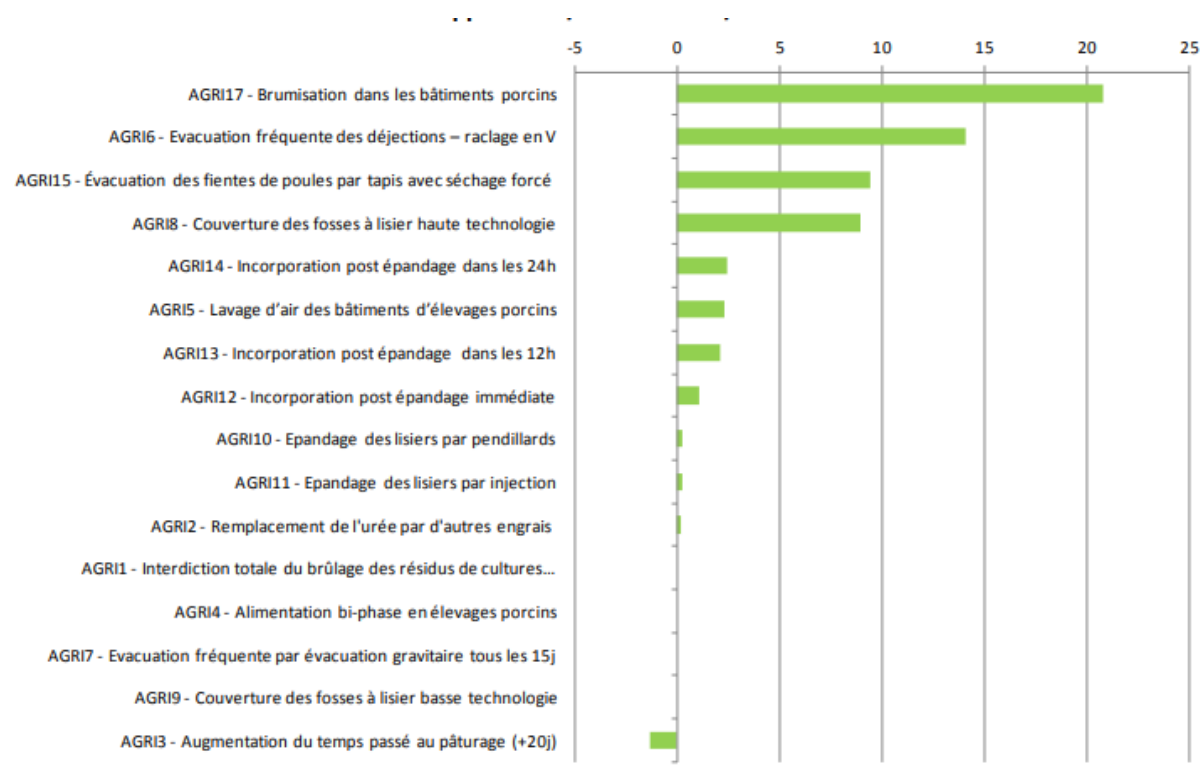
Par exemple, la mesure « AGRI16 – Raclage des lisiers de bovins au bâtiment. » vise au déploiement des fréquences de raclage des lisiers de bovins au bâtiment. Cette technique consiste à évacuer fréquemment les déjections des bovins par raclage. L'estimation indique un ratio de 400 000€ par tonne d'émissions de NH₃ évitée (Figure 13). Cette technique présente l'avantage de limiter les odeurs et les fortes concentrations en NH₃ dans le bâtiment pour les éleveurs et les animaux.

Figure 13 : rapport coût/efficacité de la réduction des émissions de NH_3 (k€/t NH_3 non émise) pour les mesures pour lesquelles NH_3 est considéré polluant principal



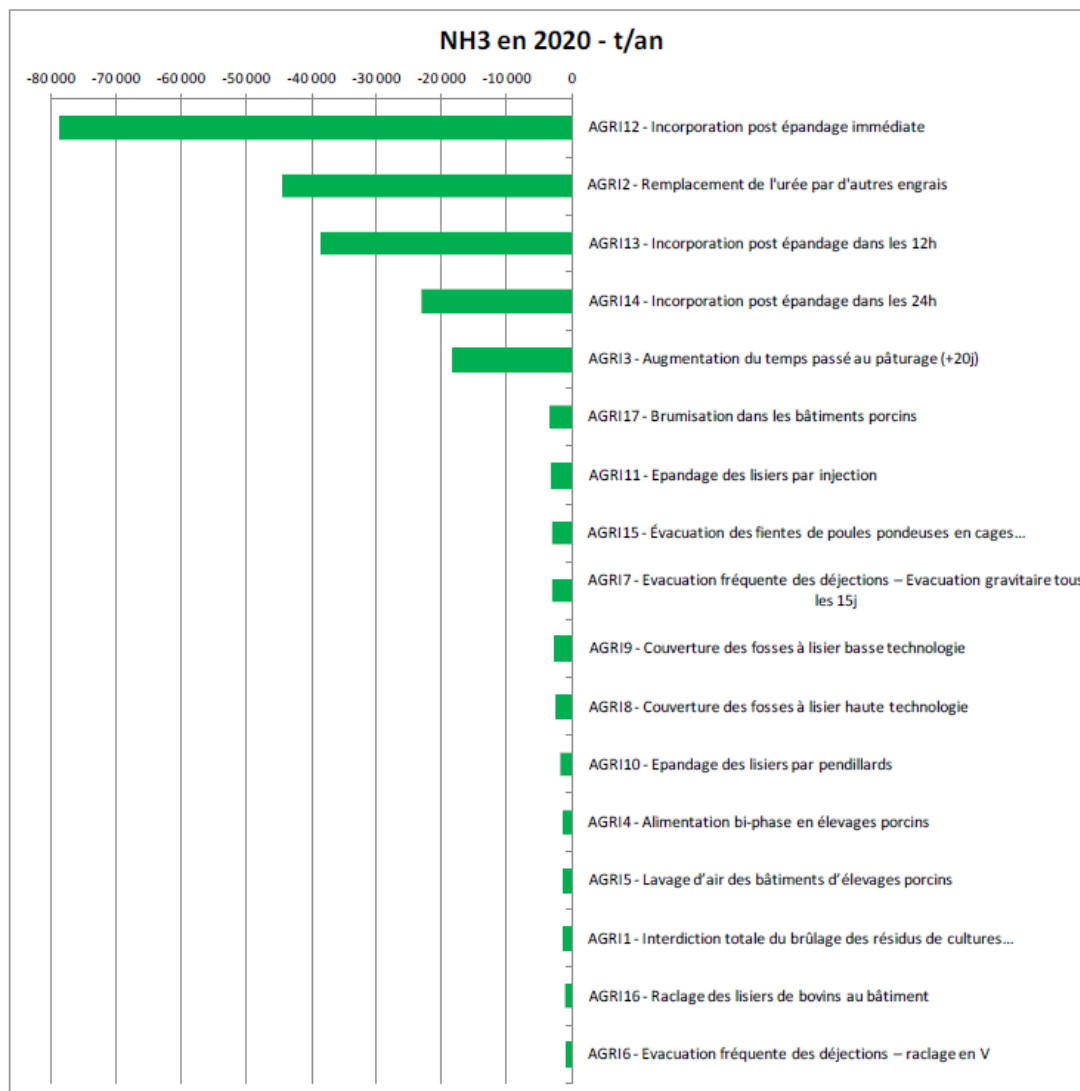
L'échelle masquant les coûts pour les autres mesures, la figure suivante donne un zoom pour pouvoir mieux visualiser les coûts de ces autres mesures (Figure 14).

Figure 14 : ZOOM, rapport coût/efficacité de la réduction des émissions de NH_3 (k€/t NH_3 non émise) pour les mesures pour lesquelles NH_3 est considéré polluant principal



Toutes les mesures relatives à des investissements en bâtiments ont des rapports coûts /efficacité élevés et par conséquent peu favorables (Figure 15). En revanche, les mesures les plus efficaces présentant des coûts estimés faibles touchent à l'épandage, au remplacement de l'urée, à l'augmentation du temps passé au pâturage, ...).

Figure 15 : Hiérarchisation des potentiels de mesures d'atténuation



Les plus gros potentiels de réduction sont liés au remplacement de l'urée (AGRI2) et à l'injection immédiate (AGRI12). Mais les incorporations à 12 et 24 heures sont significatives aussi. Les 5 premières mesures ont de gros potentiels de réduction. Les autres mesures ont des potentiels plus réduits.

5.3.2. Coût économique d'une couverture du stockage efficace

Selon le Citepa, 4 % des émissions en France sont issues des fosses à lisier. L'interface de la fosse non couverte offre un contact direct avec l'air et par conséquent favorise les émissions de NH₃ de cet effluent chargé en azote ammoniacal (45 – 55 %).

Les Meilleures Technologies Disponibles (MTD) du BREF 2017 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32017D0302>.) pour la réduction des émissions de NH₃ d'une fosse à lisier, proposent d'utiliser l'une des techniques suivantes :

- couvertures rigides
- couvertures souples

- couvertures flottantes, telles que : balles en plastique, matériaux légers en vrac, couvertures souples flottantes, plaques géométriques en plastique, couvertures gonflables, croûte naturelle, paille.

Dans la fiche n° 8 « réduire les émissions de NH₃ en couvrant la fosse à lisier », les propositions techniques pour couvrir une fosse sont de trois ordres : couverture rigide, souple et le croustage naturel.

La couverture de fosse présente l'avantage de passer la garde de 50 à 25 cm mais également de limiter la pluie sur fosse. La capacité de stockage nouvelle dégagée par la couverture est d'environ + 20 %. Le volume d'eau en moins dans la fosse représente entre - 8 et - 11 % du volume épandu sans couverture.

Selon l'indicateur « efficacité-coût par t de N valorisé agronomique » la couverture rigide serait la plus efficace (Tableau 32) avec un rapport variant de 1,2 à 3 €. La moindre perte par volatilisation s'accompagne d'une économie d'engrais substantiel de + 20 % par rapport à une couverture souple

Tableau 32 : Rapport coût efficacité par kg de NH₃ évité et valorisé au plan agronomique

Couvrir la fosse à lisier	Coût par €/m ² couvert	Coût/efficacité en € par kg	% de réduction émissions
Couverture rigide	50 à 90	1,2 et 3,0	80
Couverture souple	30 à 70	0,7 et 1,6	60
Croûte naturelle	Pas d'estimation	Pas d'estimation	40

5.3.3. Coût économique simplifié d'un épandage avec un pendillard

Si les investissements collectifs semblent être attractifs, il n'en demeure pas moins que des freins importants existent. Ces freins touchent à la biosécurité, aux distances entre les différents sièges d'exploitation dans les zones à faible densité d'exploitations agricoles d'élevage, à la disponibilité du matériel aux périodes d'épandage recommandées et à la diversité des effluents à épandre.

Selon la fiche n° 12 « réduire les émissions de NH₃ en utilisant les meilleures techniques d'épandage des produits organiques », il s'avère que les matériels d'épandage restent onéreux lorsqu'on les compare à une tonne à lisier buse à palette traditionnelle.

La FNCUMA a réalisé ces études technico-économiques et estime que :

- le surcoût d'une rampe à pendillard est d'environ 2 500 à 3 000 € par mètre d'épandage. Pour une rampe de 15 mètres, ce surcoût est évalué entre 37 000 et 45 000 €. A ce surcoût, s'ajoutent les accessoires comme des répartiteurs, du relevage hydraulique, du broyeur, etc.).
- le surcoût lié à l'achat d'un injecteur est d'environ 6 000 € par mètre d'épandage. Ainsi pour une rampe de 7 mètres, ce surcoût est évalué à hauteur de 42 000 €. De plus, l'injection exige une puissance de traction importante donc un coût supplémentaire justifié par un test par l'Union des Cuma des Pays de la Loire en 2018.

Ensuite, la FNCUMA a comparé le coût total d'épandage des différents équipements de type buses palettes, enfouisseurs et rampe à pendillard.

Ce calcul prend en compte le coût de chantier, l'investissement, le travail et les pertes économiques liées aux unités d'azote volatilisées en fonction du matériel. Cette simulation se base sur les références et les hypothèses suivantes :

- ✓ concentration d'azote : 3 kg de N par m³,
- ✓ coût d'une unité d'azote : 0,7 € par kg d'azote,
- ✓ pertes ammoniacales par équipement :
 - de 50 à 100 % pour la buse palette,
 - 25 à 50 % pour la rampe à pendillard,
 - 0 à 25 % pour l'enfouisseur.

Les résultats montrent que pour une tonne à lisier d'une capacité de 15,5 m³, la modalité « buse palette » est celle qui ressort avec le coût le plus élevé soit 3,30 €/m³ compte tenu des pertes par volatilisation.

Pour une rampe pendillard de 15 m de largeur, le coût est de 2,97 € par m³ contre 3,15 € par m³ pour l'enfouisseur à disques 4 m. Ce chiffrage va varier selon la concentration en azote du lisier, du coût de l'unité d'azote et du pourcentage de pertes par équipement. L'injection et l'enfouissement direct sont testés selon différentes modalités d'épandage pour digestat sur prairie à la ferme de DERVAL. Les premières analyses montrent un coût du chantier plus important avec enfouisseur.

En effet, cela prend plus de temps pour l'épandage avec enfouisseur à disque car la largeur de travail 3 fois plus faible qu'un pendillard. Par ailleurs, le passage des disques impacte le système racinaire et la prairie met du temps à repartir (Projet Teplis).

De plus, la mise en œuvre de ces moyens techniques s'accompagne d'une organisation des chantiers plus complexe et d'un allongement du temps de chantier. Par exemple, un dispositif d'épandage avec enfouisseur se réalise à une vitesse d'épandage plus faible que la buse palette.

Pour la technique de réalisation d'un enfouissement, l'incorporation post-épandage crée un pic de besoin de main d'œuvre d'autant plus élevé que le délai entre l'épandage et l'incorporation est court. Cette technique d'enfouissement mobilise un second tracteur et un chauffeur supplémentaire. L'incorporation dans les 4 h est une limite pour des exploitations habituées à travailler individuellement. Le manque de main d'œuvre, la disponibilité des matériels, des fenêtres météorologiques réduites, limite le recours à ces pratiques.

D'autres analyses technico-économiques à partir de l'indicateur « Coût-Efficacité » sont extraites du document d'orientation de la CEE-NU et du rapport d'aide à la décision pour l'élaboration du PREPA. Les coûts des techniques sont liés à l'investissement matériel, à la main d'œuvre supplémentaire nécessaire, au fonctionnement et à la maintenance.

Lorsque l'épandage est réalisé par des prestataires extérieurs, sur des grandes exploitations, ou lorsque l'investissement du matériel est collectif, le coût moyen des différentes techniques se trouve dans la fourchette basse. Ainsi, l'analyse croisée des deux études de coût nous précise une fourchette selon la pratique/technologie mise en œuvre :

- ✓ Utilisation d'une rampe à pendillard : Elle présente un rapport coût/efficacité estimé entre - 0,5 et + 1,5 € par kg NH₃ économisé. Dans le rapport PREPA, l'indicateur coût/efficacité lié à l'utilisation de ce matériel est estimé à environ 0,51 € par kg NH₃ évité.
- ✓ Enfouissement du lisier : il présente un rapport coût/efficacité estimé entre - 0,5 et + 1,5 € par kg de NH₃ économisé. Dans le rapport PREPA, l'indicateur coût/efficacité lié à l'utilisation de ce matériel est estimé à environ 0,27 € par kg de NH₃ évité.
- ✓ Incorporation du lisier ou du fumier dans un délai court après l'épandage : L'incorporation immédiate présente un rapport coût/efficacité estimé entre - 0,5 et 2 € par kg de NH₃ économisé. Dans le rapport PREPA, l'indicateur coût/efficacité est

estimé à environ 10 € par kg de NH_3 évité. Pour une incorporation dans les 12 h, il est estimé à environ 2 kg de NH_3 évité contre 2,5 kg de NH_3 évité pour une incorporation dans les 24 h.

Pour conclure, l'approche par le ratio « coût/efficacité » démontre que la stratégie de limiter la perte d'azote à l'épandage est bénéfique au plan économique. Le recours à l'entreprise pour des élevages de grande dimension est une voie à étudier pour amortir ces technologies et organiser des chantiers collectifs. Par analogie, aux chantiers d'ensilage d'herbe ou de maïs, les stratégies collectives ou le recours aux entreprises sont des solutions éprouvées pour abaisser les coûts et améliorer la qualité du travail par des chantiers certes lourds à mettre en place mais efficaces au demeurant. Dans la perspective à 2035 d'une augmentation importante du prix de l'azote chimique du commerce, les stratégies de limiter la perte d'azote dans les exploitations d'élevage répondront à moyen terme à des gains économiques et environnementaux.

VI. Inventaires de la contribution de l'élevage aux émissions gazeuses NH₃ de 1990 à 2035

Dans ce chapitre nous allons réaliser des évaluations sur 3 périodes écoulées à savoir 1990, 2010 et 2018. Le quatrième inventaire correspond au scénario à 2035 « tendanciel bis » extrait de l'étude GESEBOV (Annexe 1). Le but est d'observer les évolutions des émissions de NH₃ sur des périodes où le secteur agricole n'a pas engagé des moyens techniques par absence de technologies et de connaissances. Toutefois, l'évolution des effectifs et la redistribution des catégories animales nous donnerons au moins une trajectoire d'émissions.

6.1 MATERIEL ET METHODES

6.1.1. L'outil CLIMAGRI

Les évaluations de flux d'ammoniac de l'élevage bovin français sont réalisées avec l'outil CLIMAGRI développé par l'ADEME uniquement sur le module ammoniac. La mobilisation de cet outil présente l'avantage d'utiliser un cadre conceptuel centré sur les émissions en bâtiments, au stockage et à l'épandage pour l'évaluation des émissions de GES et d'ammoniac.

Les émissions des épandages d'azote minéral et organique sont affectées à l'élevage à la surface de l'atelier de bovins. Les références utilisées sont issues des données EMEP 2013, 2016 et 2019. La comparaison avec les données du Citepa ne peut être faite que si on restreint la lecture des résultats de CLIMAGRI aux émissions en bâtiments et au stockage. Pour les évaluations de NH₃ au pâturage, à l'épandage des effluents et d'azote minéral, c'est dans la catégorie sols agricoles des inventaires Citepa qu'il faut regarder.

6.1.2. Les données statistiques agricoles

Ces données relatives aux effectifs et aux logements des animaux pour les années 1990, 2010 et 2018 sont issues des données fournies par le recensement RA des années 1990 et 2010 et de l'étude bâtiments 2014. Pour 2018, les informations sont issues de trois bases de données : Le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA) fournit l'échantillon d'exploitations avec les données relatives aux surfaces et aux intrants (engrais et aliments).

Mobilisée sur les mêmes exploitations, la Base de Données Nationale de l'Identification des bovins (BDNI) précise les données d'effectifs animaux. Pour 2035, les données d'effectifs, de surface de l'atelier et autres sont issues de l'étude GESEBOV pour le scénario 1bis « évolution tendanciel et stratégie environnementale renforcée ».

6.1.3. Le scénario « Tendanciel bis » de GESEBOV

Pour l'étude RUMINH3, nous retenons le scénario 1 bis (Tbis) « Evolution tendancielle et stratégie environnementale renforcée » avec la mise en œuvre de tous les leviers disponibles pour réduire les émissions de GES (annexe 1). Ce dernier suit le scénario 1 « Evolution tendancielle » qui se base sur les projections économiques actuelles en matière d'évolution de la consommation du marché extérieur et de la production.

Ce scénario est basé sur les prévisions d'évolution de la production en lait et viande à moyen terme (travaux GEB, Commissions Européenne) et des projections à l'horizon 2035. La production s'adapte aux nouveaux contextes de marché et à la nouvelle PAC. D'un côté la production laitière saisit des opportunités de développement, de l'autre la production de viande s'ajuste en conséquence et subit des baisses de débouchés, en particulier sur l'export de brouillards vers l'Italie.

En résumé, le scénario d'évolution « Tendanciel bis » fixe une évolution pour les vaches laitières à 3,64 millions de vaches laitières et à 3,18 millions l'effectif de vaches allaitantes. (Annexe n°1 Scénarios GESEBOV SC1 « Tendanciel » et SC1 bis « tendanciel Bis »). Il sert

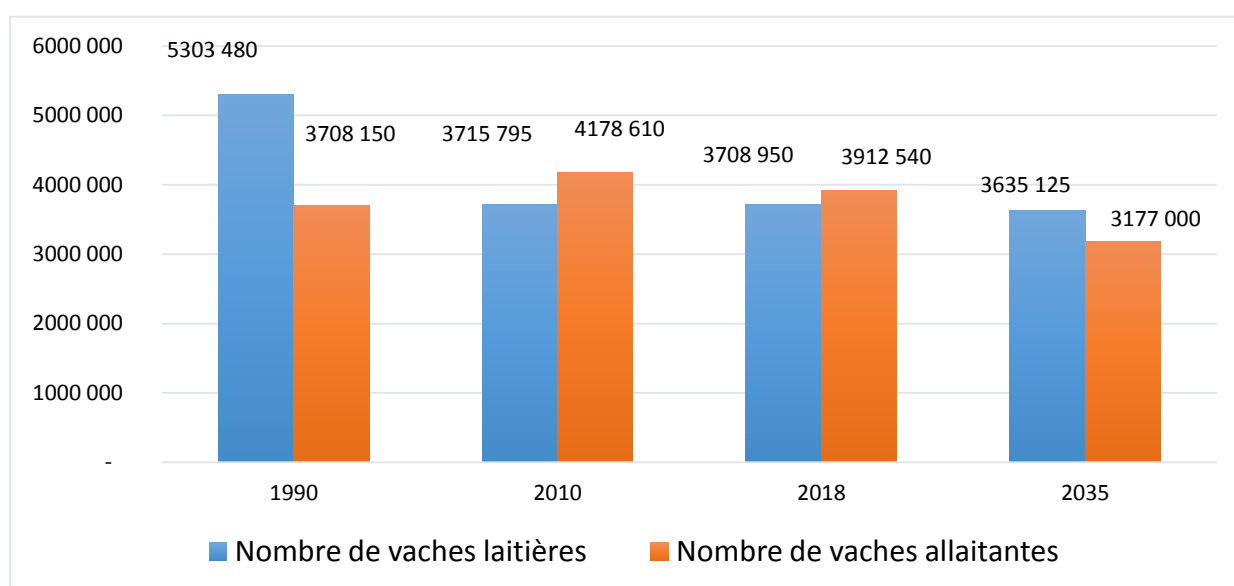
de scénario de référence pour mesurer les effets de différentes hypothèses techniques d'atténuation.

6.2 EVALUATIONS D'EMISSIONS D'AMMONIAC POUR LES ANNEES 1990, 2010, 2018 ET 2035 DE L'ELEVAGE BOVIN POUR LES PRODUCTIONS DE LAIT ET DE VIANDE

6.2.1. Références de paramétrage pour les effectifs de bovins laitiers et allaitants

Les effectifs de vaches laitières sont en forte diminution de – 32 % entre 1990 et 2018 (Figure 16). En revanche, les effectifs allaitants compensent les pertes d'UGB totaux du secteur lait avec une augmentation de + 5,5 % en vaches suivie d'une augmentation des catégories de génisses et de mâles.

Figure 16 : Evolution des effectifs de vaches



Si les UGB totaux de 2035 (Tableau 33) sont identiques à ceux de 2010 et 2018, la composition des catégories animales est différente. Le scénario GESEBOV tendanciel bis 2035 intègre -19 % de vaches allaitantes entre 2018 et 2035.

L'effectif de vaches laitières varie de - 3 % avec une augmentation de + 10 % de la production laitière. Toutefois, ce scénario intègre une augmentation de la finition des animaux avec l'engraissement de « jeunes bovins » et se traduit par une production de viande du niveau de 1990.

Tableau 33 : Répartition des UGB par secteur de production de 1990, 2010, 2018 et 2035

Nbre UGB	1 990	2 010	2 018	2 035
Bovins Lait	7 536 339	5 280 991	4 890 882	5 029 131
Bovins viande	5 699 063	6 401 180	6 657 571	6 141 088
Total	13 235 403	11 682 171	11 548 453	11 170 219
dont UGB mâles	767 154	521 462	890 077	758 387

A noter que le nombre d'UGB, de 2010 à 2035 reste toujours à environ 11 millions (Tableau 33). Toutefois, une nouvelle distribution entre les catégories animales avec l'augmentation des catégories allaitantes de génisses et de mâles engraisés en France.

6.2.2. Références de paramétrage pour les pratiques agricoles

6.2.2.1. Azote excrété des bovins

Le rejet azoté catégories bovines est des forfaits applicables à chaque catégorie animale. Ce calcul de rejet est réalisé à partir de la méthode CORPEN. Les quantités d'azote excrété sont obtenues par différence entre les quantités ingérées et les quantités fixées.

$$Q. \text{ de N ingéré} - Q. \text{ de N fixé} = Q. \text{ de N excrété}$$

Les quantités ingérées de matière sèche sont évaluées pour chaque type d'animal caractérisé par son âge, son poids, sa vitesse de croissance et son régime alimentaire. Les quantités d'azote ingéré sont calculées en multipliant les quantités ingérées de matière sèche de chaque aliment par la teneur en azote des aliments. Les quantités d'azote fixées couvrent les quantités fixées par l'organisme soit l'azote fixé par le gain de poids et la production laitière.

On retient 3 niveaux de performance par vache (Tableaux 34 et 35) pour 3 rejets d'azote excrété distincts allant de 101 kg de N pour la vache à 5000 kg de lait par an, 111 kg de N pour celle à 6000 kg et 116 kg pour celle à 8000 kg. Pour les années 1990, 2000, 2010 et 2018, ces références d'azote excrété en bovins lait reste constante ainsi que pour le scénario 2035 « Tendanciel bis ». Toutefois, le nombre de vaches laitières à plus de 8000 litres représentent 83 % des effectifs totaux en 2035 contre 17 % en 2018.

Tableau 34 : Azote excrété en kg par catégories animales en bovins lait

BOVINS LAIT	VACHES DE 5000 KG LAIT	VACHES DE 6000 KG LAIT	VACHES DE 8000 KG LAIT	JEUNES VEAUX LAIT	GENISSES 0-1 AN-LAIT	GENISSES 1-2 ANS-LAIT	GENISSES +2 ANS LAIT
1990	101	111	116	12,86	27	66	73
2010	101	111	116	12,86	27	66	73
2018	101	111	116	12,86	27	66	73
2035	101	111	116	12,86	27	66	73

Pour les effectifs allaitants, la vache est à 85 kg de N excrété et 27 kg de N pour une génisse de moins d'un an.

Tableau 35 : Azote excrété en kg des catégories animales en bovins viande

BOVINS VIANDE	VACHES ALLAIT.	JEUNES VEAUX VIANDE	GENISSE S 0-1 AN-VIANDE	GENISSES 1-2 ANS-VIANDE	GENISSES +2 ANS VIANDE	MALES 0-1 AN-VIANDE	MALES 1-2 ANS-VIANDE	MALES +2 ANS-VIANDE
1990	85	12,86	27	66	73	32	60	66
2010	85	12,86	27	66	73	32	60	66
2018	85	12,86	27	66	73	32	60	66
2035	85	12,86	27	66	73	32	60	66

Le choix d'un rejet identique pour les différentes périodes se justifie car aucune technique n'a été mise en œuvre à l'échelle de l'animal pour limiter les flux d'azote « entrée-sortie ».

6.2.2.2. Références de paramétrage pour les couvertures de fosses

Pour les systèmes bovins allaitants et selon l'enquête bâtiments de 2015, 10 à 40 % des fermes allaitantes ne disposent pas de fosse. La production de fumier compact à très compact explique cette absence, car la réglementation pour les litières accumulées autorise le dépôt au champ après deux mois de maturation sous les animaux.

85 % de la production des déjections produites en allaitant sont des fumiers issus de litière accumulée, 8 % sont des fumiers mous issus d'aire d'exercice raclée. Les 7 % restants sont des jus de constitution de fumier et du lixiviat et du lisier.

Par ailleurs, 47 % des fosses sous dalles sont issues de fumières d'étables entravées et 36 % sont déclarées non couvertes (Tableau 36).

Tableau 36 : Caractéristiques des fosses en % par type d'élevage au niveau national

TYPES D'ELEVAGES BOVINS	COUVERTURE				
	AVEC TOIT	AVEC BACHE ET MAT CENTRAL	AVEC BACHE FLOTTANTE	SOUS DALLE	NON COUVERTE
Élevages de vaches allaitantes	15 %	0 %	2 %	47 %	36 %
Élevages de vaches laitières	12 %	0 %	1 %	28 %	59 %
Élevages mixtes	12 %	0 %	1 %	32 %	55 %
Élevages d'engraissement	15 %	0 %	0 %	34 %	50 %
Élevages de veaux de boucherie	15 %	2 %	3 %	18 %	63 %
Total élevages de bovins	13 %	0 %	1 %	32 %	54 %

Source : Agreste - Enquête sur les pratiques d'élevage 2015 ; Élevages de bovins d'au moins 10 vaches allaitantes ou 50 bovins dans les 10 régions représentant au moins 95 % des effectifs

Pour les systèmes bovins lait, 59 % des fosses sont déclarées non couvertes. De plus, les fosses sous dalle issues d'étables entravées représentent 28 %.

Par ailleurs, 13 % des fosses sont déclarées couvertes par une toiture. Cette couverture a été réalisée uniquement pour éviter la pluie sur fosse. En revanche, cette protection de l'eau de pluie consiste à éviter de la dilution du lisier et aussi gagner 0,25 cm de garde en moins. Toutefois, l'efficacité sur les émissions d'ammoniac est faible voire nulle !

Enfin les rares bâches avec poteau central ne représentent que 2 % et les bâches flottantes autour de 1 %.

Tableau 37 : Taux de couverture de fosses BL2035 et coefficients de réduction des émissions de NH₃ (Martin et al. 2013)

COUVERTURE DES FOSSES A LISIER	CROUTE NATURELLE	AUTRES COUVERTURES
*Abattement de la volatilisation * - théorique	0,5	0,8
1990	25%	0%
2010	25%	0%
2018	25%	10%
2035	25%	10%

*Martin et al. 2013, Réduction des émissions de NH₃

A partir de cette analyse et pour les années 2018 et 2035, nous retenons que 25 % des fosses sont considérées avec une croute de surface (Tableau 37) ayant un réel effet de

diminution des émissions d'ammoniac. Cette couverture naturelle est aussi conditionnée par l'absence d'un brassage régulier des lisiers ; Le brassage régulier des lisiers durant le stockage homogénéise le produit par une meilleure dégradation des matières organiques.

Enfin, nous estimons également que les autres couvertures représentent environ 10 % des couvertures en 2018 et à l'horizon 2035.

6.2.2.3. Références de paramétrage pour les matériels d'épandage et les pratiques d'enfouissement

En l'absence de pratiques de brassage régulier des lisiers, l'usage des pendillard et d'autres systèmes d'injection n'est pas possible. Par conséquent, nous fixons à 5 % l'usage de cette technique d'épandage (Tableau 38).

Tableau 38 : Pratiques d'épandage du lisier et d'enfouissement post-épandage

LISIER	PENDILLARD	INJECTION OU INCORPORATION				
		DIRECTE OU IMMEDIATE	DANS LES 4 HEURES	DANS LES 12 HEURES	DANS LES 24 HEURES	DANS LA SEMAINE
*Abattement de la volatilisation - théorique	0,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,05
1990	0 %	0 %	0 %	2 %	2 %	2 %
2010	0 %	0 %	0 %	3 %	3 %	3 %
2018	5 %	0 %	0 %	4 %	4 %	6 %
2035	5 %	0 %	0 %	5 %	5 %	6 %

*Martin et al. 2013, Réduction des émissions de NH₃

La part de la prairie dans la surface annuellement amendée en matières organiques, représente environ 35 à 40 % des épandages (Manneville et al, 2007). Par conséquent, nous considérons que 16 % des fumiers sont enfouis sous la semaine (Tableau 39) en 2018.

Tableau 39 : Pratiques d'épandage fumier

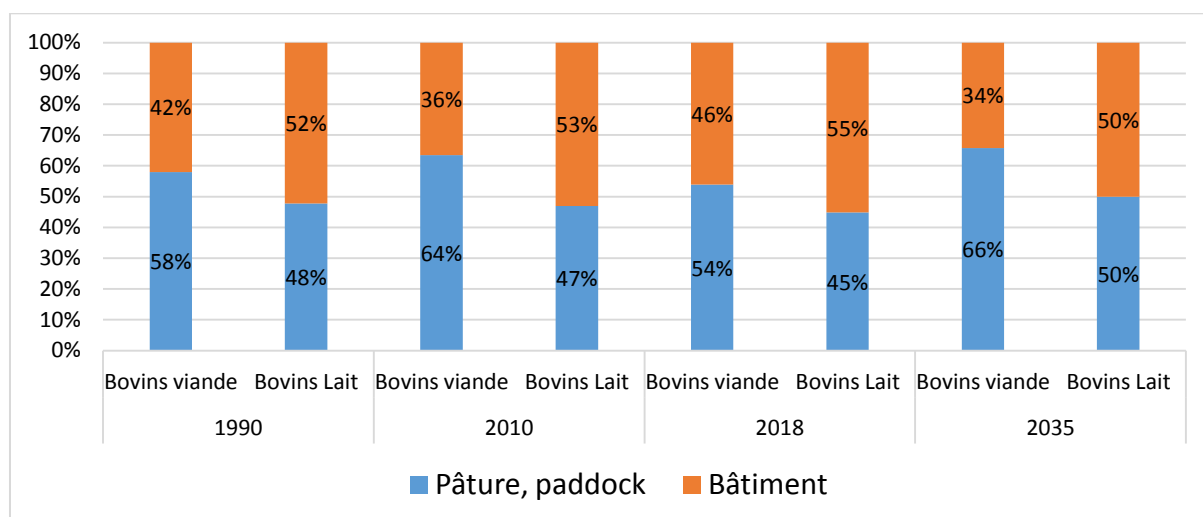
FUMIER	ENFOUISSEMENT				
	IMMEDIATE	DANS LES 4 HEURES	DANS LES 12 HEURES	DANS LES 24 HEURES	DANS LA SEMAINE
*Abattement de la volatilisation - théorique	0,9	0,6	0,4	0,3	0,05
1990	0 %	0 %	1 %	4 %	1 %
2010	0 %	0 %	1 %	4 %	3 %
2018	0 %	0 %	2 %	4 %	10 %
2035	0 %	0 %	2 %	4 %	13 %

*Martin et al. 2013, Réduction des émissions de NH₃

6.2.2.4. Références de paramétrage pour les durées de présence des animaux au pâturage et type d'effluents produits

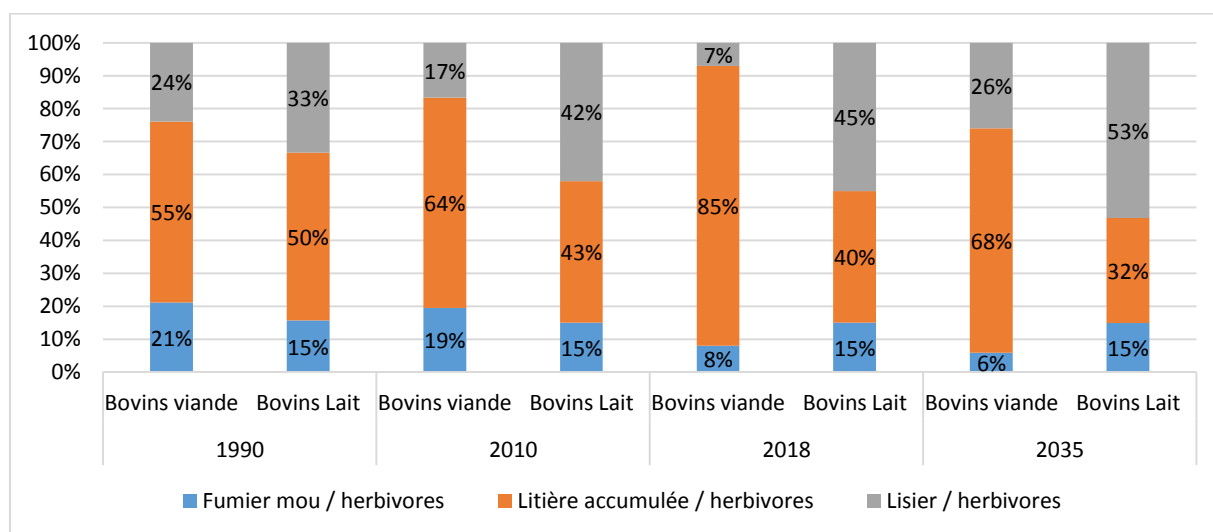
Si en 2018, les bovins lait séjournèrent 55 % de l'année en bâtiments en 2035, ce séjour passe à 50 % (Figure 17). Pour les allaitants, la priorité au pâturage est donnée en 2035 avec 66 % du temps annuels au pâturage contre 45 en 2018. Attention, ces temps de pâturage des vaches sont pondérés avec les autres catégories laitières tout comme les temps en bovins allaitants.

Figure 17 : Fréquence de présence des animaux en pâture et en bâtiment



Les effluents liquides issus des bâtiments augmentent significativement en bovins allaitants pour passer de 7 % de lisier en 2018 à 26 % en 2035. Cette tendance à la production de lisier est aussi marquée en bovins lait avec une augmentation de 8 % en 2035 par rapport à 2018 (Figure 18).

Figure 18 : Répartition en % des effluents produits



6.2.3. Résultats des inventaires d'ammoniac globaux selon CLIMAGRI 1990, 2010, 2018 et 2035

L'analyse entre 2018 et 2035 montre une baisse de 34 000 tonnes de NH_3 ¹ dont l'essentiel est dû à la diminution drastique du nombre de vaches allaitantes compensée par une augmentation des catégories de femelles finies (Tableau 40).

Une UGB en 2010 rejette 23 kg de N-NH_3 par an contre 19 en 2035. De 1990 à 2018, l'émission moyenne par UGB diminue de 2 kg (de N-NH_3 tableau 40).

¹ Attention les résultats sont exprimés en NH_3 et non en N-NH_3 ; Pour passer de N-NH_3 à NH_3 , il faut utiliser le coefficient de conversion de 17/14 soit $\text{NH}_3 = \text{N-NH}_3 \times 1.21$

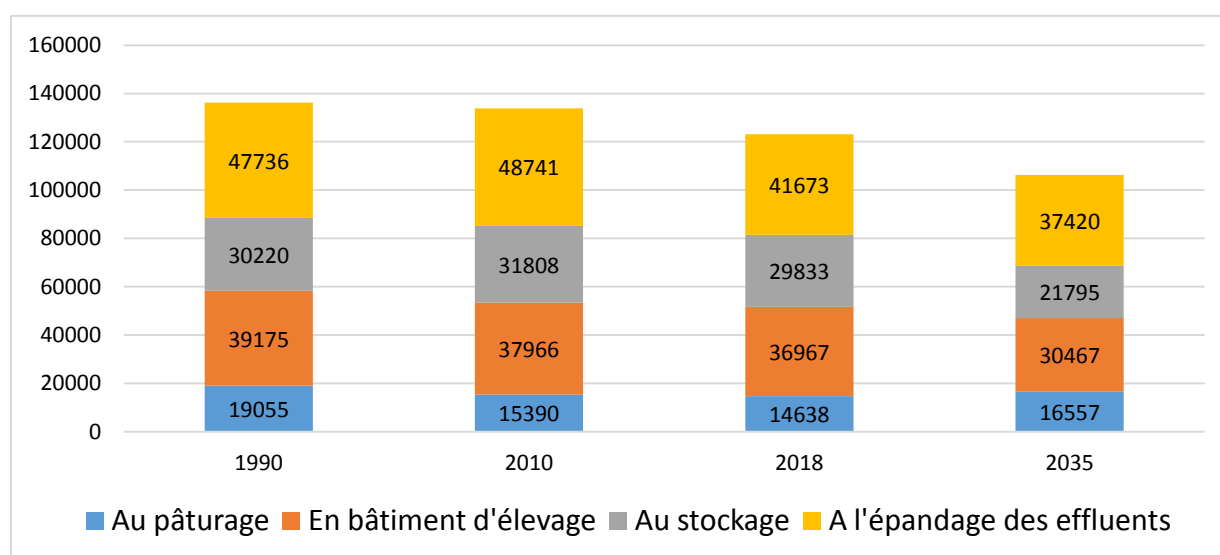
En revanche pour 2035, les hypothèses de plus de pâturage, avec un engagement sensible sur de la couverture de fosse efficace, l'enfouissement rapide après l'épandage et l'utilisation de pendillard font passer l'émission à l'UGB en dessous de la barre de 20 kg de N-NH₃ par an.

Tableau 40 : Emissions en t N-NH₃ par an et par UGB

	N-NH ₃ en t	Nbre d'UGB	t de N-NH ₃ UGB ⁻¹
1990	272 374	13 235 403	0,0206
2010	267 808	11 682 171	0,0229
2018	246 221	11 548 453	0,0213
2035	212 477	11 170 219	0,0190

Cette reconfiguration des catégories animales à laquelle s'ajoute l'augmentation du temps de pâturage (Figure 19) font fluctuer de 9 % le rapport des émissions totales par UGB (Tableau 40). Emissions en tonne de N par poste d'émission en bovins

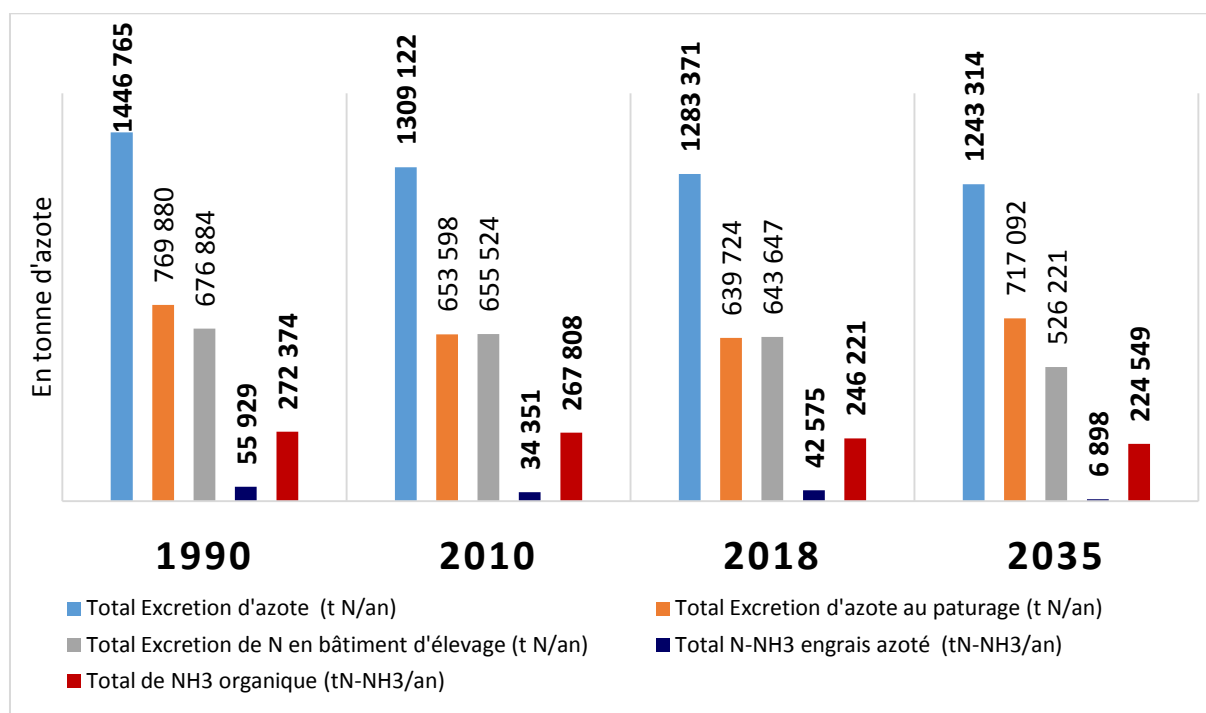
Figure 19 : Emissions en tonne de N par poste d'émission en bovins



L'évaluation de l'azote excrété (Figure 20) varie de - 168 t de N entre 1990 et 2018. La baisse des effectifs de vaches associées au changement de composition des catégories animales (plus de génisses de renouvellement en allaitant) explique cette évolution.

Par ailleurs, de 1990 à 2018, les valeurs d'émission sont constantes car il n'y a pas eu un changement significatif des pratiques car aucune mesure ni aucun programme d'envergure n'ont permis ce changement.

Figure 20: Inventaire CLIMAGRI de l'azote excrété aux émissions globales d'ammoniac.



Globalement sur 1990 à 2018, 50 % de l'azote excrété tombent dans les bâtiments bovins et les autres 50 % au pâturage (Tableau 41).

La quantité d'ammoniac émise au pâturage représente 5 % de l'azote excrété sur de la prairie. En revanche, 35 % de l'azote excrété en bâtiments sont volatilisés sur la chaîne bâtiment – stockage – épandage.

Tableau 41 : Répartition en % de N excrété et N volatilisé.

	1990	2010	2018	2035
% N total excrété au pâturage / N total excrété	53	50	50	58
% N-NH ₃ pâturage/N excrété pâture	5	5	5	5
%N total excrété bâtiment-stockage épandage / N total excrété	47	50	50	42
% N-NH ₃ Bâtiment-stockage-épandage/N excrété Bâtiment	35	36	34	36
% N-NH ₃ total émis/N total excrété	19	20	19	18

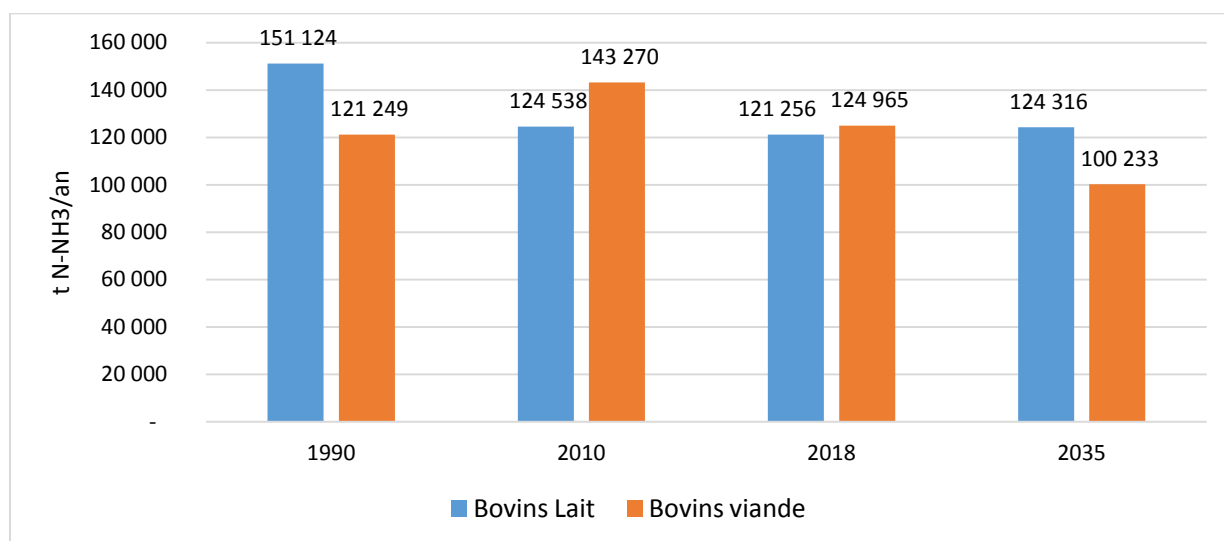
La présence des animaux en bâtiments augmente d'un facteur 7 les émissions N-NH₃ si on compare avec le taux d'émission au pâturage.

Enfin, la part de l'azote volatilisé globalement en bovins est autour de 19 % jusqu'en 2018.

6.2.4. Résultats de flux par secteur de production

L'évolution des émissions par secteur de production (Figure 21) nous indique une relative stabilité en bovins lait avec une sensible augmentation sur 2035 de moins de 2 %. Celle-ci s'explique par une augmentation de la part des lisiers en bovins lait.

Figure 21: Volatilisation en t N-NH₃ par an lait et viande



La contribution des émissions en bovins lait par rapport au total émis en bovins représente 49 % en 2018 pour passer à 56 % en 2035 (Tableau 42). La production par vache en 2035 augmente grâce à un gain de productivité. En effet, les vaches à plus de 8000 kg de lait représentent 83 % de l'effectif total contre 17 % en 2018. Cette augmentation de la productivité augmente aussi l'azote excrété pour cette catégorie.

En bovins viande, la diminution entre 2018 et 2035 de 700 000 vaches, associée à une priorité au pâturage explique cette inversion de contribution en 2035 pour le bovin lait (Tableau 42).

Tableau 42 : Contribution en valeur absolue des émissions par type de production et en kg de N-NH₃ par UGB

En t N-NH ₃ par an	1990	2010	2018	2035
N-NH ₃ Bovins Lait	186 823	141 554	142 543	129 343
N-NH ₃ Bovins Viande	141 479	160 605	146 252	102 104
% N-NH ₃ Bovins Lait du total émis	57	47	49	56
% N-NH ₃ Bovins Viande du total émis	43	53	51	44
En kg de N-NH ₃ par UGB Bovins Lait	24,8	26,8	29,1	25,7
En kg de N-NH ₃ par UGB Bovins Viande	24,8	25,1	22,0	16,6

6.2.5. Résultats de flux par poste d'émissions par secteur de production

L'analyse est réalisée par poste d'émissions, du pâturage au bâtiment, du stockage à l'épandage. De plus, le poids est exprimé en % N-NH₃ volatilisé du total de chaque secteur de production bovins ou bovins viande.

6.2.5.1. Emissions pâturage

Le pâturage représente environ 12 % des émissions totales en bovin lait (Tableau 43).

Tableau 43 : Emissions d'ammoniac pâturage en t de N-NH₃ par poste en bovin lait

Bovins Lait en t N-NH ₃ par an au pâturage	1990	2010	2018	2035
N-NH ₃ volatilisé	23 011	16 128	15 616	16 166
% N-NH ₃ volatilisé du total bovin lait	12	11	11	12

En bovins viande, avant 2035, la volatilisation au pâturage ne représentait globalement que 10 % (Tableau 44). En 2035, l'augmentation du temps de pâturage augmente significativement ce poste. En revanche, on a un effet de diminution différé aux postes bâtiments, stockage et épandage. L'augmentation des durées de pâturage de 2 mois a pour conséquence une diminution de 5 % des émissions totales du secteur bovins viande.

Tableau 44 : Emissions d'ammoniac pâturage en t de N-NH₃ par poste pour les bovins viande

Bovins viande en t N-NH ₃ par an au pâturage	1990	2010	2018	2035
N-NH ₃ volatilisé	15 099	14 653	13 660	17 078
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins viande	11	9	9	17

6.2.5.2. Emissions bâtiment et stockage des effluents

Les émissions sont liées à la durée de présence dans les bâtiments. Elles pèsent pour globalement 45 % du total émis en bovin lait et bovin viande en 2018 (Tableaux 45 et 46). Les émissions en bâtiment restent le premier poste.

Tableau 45 : Emissions d'ammoniac en bâtiment et stockage en t de N-NH₃ par poste pour les bovins lait

Bovins Lait en t N-NH ₃ par an	1990	2010	2018	2035
N-NH ₃ volatilisé /bâtiment	44 477	35 412	36 808	34 429
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins lait	24	25	26	27
N-NH ₃ volatilisé / stockage	32 265	26 752	27 222	24 721
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins lait	17	19	19	19

Toutefois, les marges de manœuvres en bâtiments sont faibles surtout si on conserve le même parc de bâtiments entre 2018 et 2035.

Tableau 46 : Emissions d'ammoniac en bâtiment et stockage en t de N-NH₃ par poste pour les bovins viande

Bovins viande en t N-NH ₃ par an	1990	2010	2018	2035
N-NH ₃ volatilisé / bâtiment	33 874	40 520	37 125	26 859
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins viande	24	25	25	26
N-NH ₃ volatilisé / stockage	28 175	36 864	32 444	22 150
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins viande	20	23	22	22

6.2.5.3. Emissions d'épandage azote organique et minéral

En bovins lait, l'épandage de N organique est le poste le plus important dans la contribution totale avec 38 % en 2035 (Tableau 47).

Comme les gammes de solutions d'atténuation sont plus variées, l'appui de technologie de type pendillard ou enfouisseur complété par de l'enfouissement quelques heures après l'épandage, ce poste épandage révèle être un levier d'atténuation très efficient.

Tableau 47 : Emissions d'ammoniac en t de N-NH₃ par poste en bovin lait

Bovins Lait en t N-NH ₃ par an	1990	2010	2018	2035
N-NH ₃ à l'épandage des effluents	51 371	46 247	41 610	49 000
% N-NH ₃ volatilisé du total bovin lait	27	33	29	38
N-NH ₃ engrais azoté	35 699	17 016	21 287	5 027

% N-NH ₃ volatilisé du total bovin lait	19	12	15	4
--	----	----	----	---

En bovins viande, l'épandage est également important avec un tiers des émissions (Tableau 48). Toutefois, les solutions dans les systèmes très herbagers sont limitées. En effet, la part importante de l'herbe dans ces systèmes limite l'enfouissement des fumiers. De plus des contraintes de pente et de nature de sol peuvent être plus importantes sur les bassins d'élevage allaitants.

Les seuls leviers pour les systèmes polycultures sont le délai d'enfouissement pour des produits solides dont la valeur ammoniacale est faible soit 10 à 15 % de l'azote total.

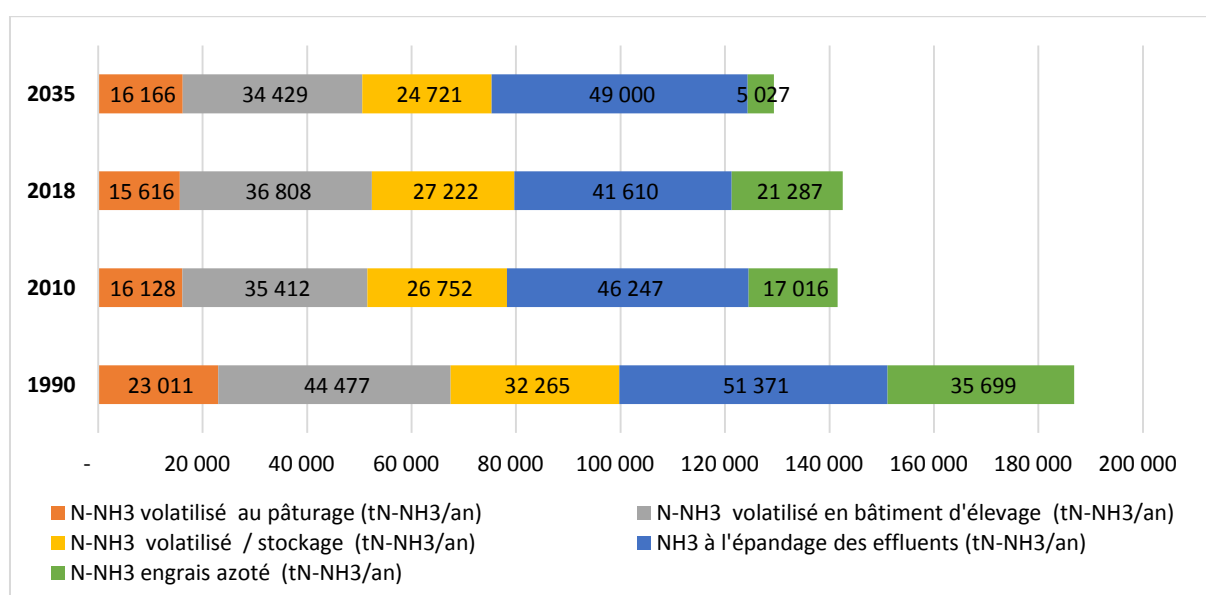
Tableau 48 : Emissions d'ammoniac en t de N-NH₃ par poste pour les bovins viande

Bovins viande en t N-NH ₃ par an	1990	2010	2018	2035
NH ₃ à l'épandage des effluents	44 102	51 234	41 736	34 146
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins viande	31	32	29	33
N-NH ₃ engrais azoté	20 230	17 335	21 287	1 871
% N-NH ₃ volatilisé du total bovins viande	14	11	15	2

6.2.6. Synthèse des résultats

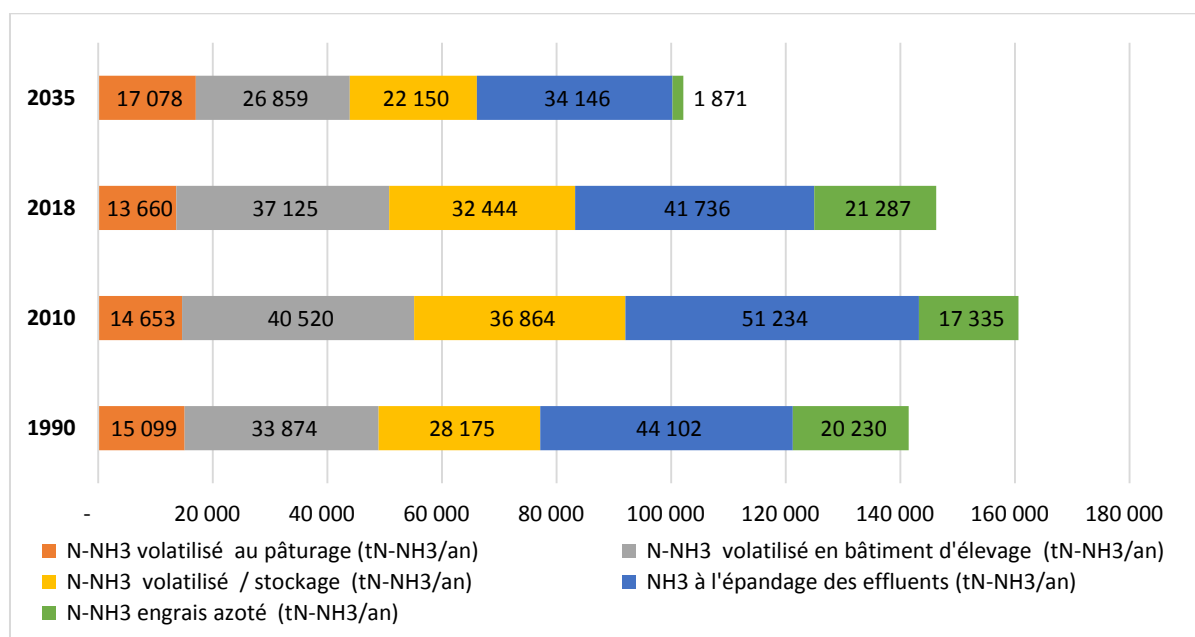
Plus globalement, l'analyse de 1990 à 2018 en bovins lait met en relief que les émissions de NH₃ ont été plus sensibles à la reconfiguration des effectifs plutôt qu'à des mises en place de mesures techniques voire de pratiques (Figure 22).

Figure 22 : Emissions d'ammoniac en t de N-NH₃ par poste en bovin lait



En bovins viande, on constate les mêmes relations quant aux évolutions des effectifs et l'augmentation de la finition pour des catégories jeunes bovins et génisses. La situation en 2035 signe d'importants changements comme un allongement du temps de pâturage de + 8 % (Figure 23).

Figure 23 : Emissions d'ammoniac en t de N-NH₃ par poste pour les bovins viande



A 2035, le scénario TBIS de GESEBOV intègre d'une meilleure valorisation des engrais organiques avec une augmentation de cultures de légumineuses. Ces changements de pratiques font chuter drastiquement l'usage d'engrais chimique (Figures 22 et 23).

VII. Inventaires des émissions d'ammoniac en 2035 de l'élevage bovin en fonction des stratégies d'atténuations retenues

Dans cette partie, nous évaluons plusieurs actions possibles de réduction des émissions d'ammoniac, hors modifications d'effectifs animaux. Ce sont des hypothèses d'optimisation simples, allant de l'action sur l'alimentation en vaches laitières aux couvertures des stockages pour les lisiers pour finir à des mesures d'épandage et d'enfouissement à l'épandage et post épandage dans un délai court.

L'inventaire NH₃ de la projection GESEBOV à 2035 sert de scénario de références. Chaque action conduite en élevage est comparée à la situation de référence. L'objectif consiste à identifier les actions les plus efficaces en termes d'atténuation des émissions pour les secteurs bovins lait et bovins viande.

7.1 AGIR SUR L'ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES (AGIR 1)

Cette mesure consiste à diminuer de 10 % MAT des rations sans modifier les temps de pâturage. Selon les nutritionnistes, cette diminution est réaliste et ne diminuerait pas la production par vache.

Pour mémoire la vache de 2035 est à plus de 8 000 kg de lait par an. Sur le plan technique, il s'agit de bien ajuster les concentrés et mieux piloter les besoins azotés de la vache sur la durée de la lactation. On accepte une réduction du rejet azoté malgré une hausse des productions laitières par vache.

Agir sur une diminution de MAT de – 10 % implique un rejet estimé selon le niveau de vache laitière respectivement à 97, 106 et 111 kg de N rejeté (Tableau 49). A noter que la maîtrise de la MAT dans la ration ne peut se faire que sur la période où la vache est alimentée en bâtiment et sur stock.

Tableau 49 : Rejet de la vache laitière à 2035 avec - 10 % de MAT

Vaches laitières	Bovins Lait 2035-base	Bovins lait 2035 -10 % MAT
5000 kg lait	101	97
6000 kg lait	111	106
>8000 kg lait	116	111

Les émissions sont atténuées de 5 300 t N-NH₃ par an. La mesure sur le rejet azoté de la vache laitière va avoir un effet sur la cascade de l'azote et des postes d'émission (Tableau 50). Pour le secteur bovin lait, le gain d'émission de N-NH₃ est de – 4 % par rapport aux émissions de 2035 base.

Tableau 50 : Bovins lait 2035 base et 2035 - 10 % de MAT

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins Lait 2035-base	Bovins lait 2035 -10 % MAT	Emissions
Au pâturage	16 166	15 708	0 %
En bâtiment d'élevage	34 429	33 190	- 1 %
Au stockage	24 721	23 646	- 1 %
A l'épandage des effluents	49 000	46 434	- 2 %
A l'épandage d'engrais azoté	5 027	5 027	
Total	129 343	124 005	- 4 %

Avec 231 447 t de N-NH₃ émis en 2035 pour les secteurs bovins lait et bovins viande, la mesure sur l'azote ingéré en vaches laitières limiterait les émissions à 226 108 t de N-NH₃ en 2035. Cela fait varier les émissions totales en bovin lait et viande de – 2,3 % sur le total des émissions du secteur bovins.

7.2 AGIR SUR LES COUVERTURES DES FOSSES A LISIER (AGIR 2)

Dans la ligne 2035-base, un quart des fosses sont considérées comme ayant des croutes à effet barrière en l'absence de brassage des fosses (Enquêtes bâtiment 2015). L'analyse de l'étude bâtiments de 2015 nous a permis d'extrapoler les couvertures de fosse et l'épandage associé. Climagri (Tableau 51) compte une réduction de 50 % de volatilisation NH₃ au stockage grâce à la formation d'une croute naturelle pour les fosses à lisier de bovins.

Tableau 51 : Taux de couverture selon les scénarios (SC2h1 et SC2h2)

COUVERTURE DES FOSSES A LISIER	CROUTE NATURELLE	AUTRES COUVERTURES
*Abattement de la volatilisation * - théorique	0,5	0,8
2035	25	10
2035 SC2H1	25	20
2035 SC2H2	25	70

*Martin et al. 2013, Réduction des émissions de NH₃

Toutefois dans les inventaires nationaux, le Citepa ne compte aucun effet des croutes naturelles car des éléments de la bibliographie se contredisent (effet éponge, fissure des croutes, réalimentation des fosses par le haut, ...).

Dans l'attente de publication scientifique à venir, nous n'avons pas opté pour simuler un quelconque effet barrière non garanti à ce jour. De plus, pour des raisons agronomiques

et faciliter la reprise par pompage du lisier, il est recommandé d'homogénéiser le volume durant le stockage dans le but d'avoir un produit épandable par pendillard. Cette agitation de la fosse présente l'avantage d'obtenir un lisier à concentration d'éléments fertilisants constante.

7.2.1. Hypothèse H1 : + 10 % de couvertures de fosse efficaces en 2035

En bovins lait, les émissions sont atténuées de - 1 217 t N-NH₃ par an. La mesure sur couverture efficace de + 10 % réduit les émissions de N-NH₃ de – 0,9 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 52).

Tableau 52 : Bovins lait 2035 base et 2035 + 10 % de couvertures de fosses efficaces

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins Lait 2035-base	Bovins lait SC2h1	Gain
Au pâturage	16166	16166	0,0 %
En bâtiment d'élevage	34429	34429	0,0 %
Au stockage	24721	23380	- 1,0 %
A l'épandage des effluents	49000	49123	0,1 %
A l'épandage d'engrais azoté	5027	5027	
Total	129 343	128 126	- 0,9 %

En bovins viande, les émissions sont atténuées de - 420 t N-NH₃ par an. La mesure d'une couverture efficace de + 20 % soit un doublement des couvertures par rapport à 2035 « base » réduit les émissions de N-NH₃ de – 0,3 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 53).

Tableau 53 : Bovins viande 2035-base et 2035 + 10 % de couvertures de fosses efficaces

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins viande 2035-base	Bovins viande SC2h1	Gain
Au pâturage	17078	17078	0,0 %
En bâtiment d'élevage	26859	26859	0,0 %
Au stockage	22150	21689	- 0,4 %
A l'épandage des effluents	34146	34187	0,0 %
A l'épandage d'engrais azoté	1871	1871	0,0 %
Total	102 104	101 684	- 0,3 %

Avec 231 447 t de N-NH₃ émis en 2035 pour les secteurs bovins lait et bovins viande, la mesure de couvrir 20 % soit un facteur 2 par rapport à 2035 « base » de fosses efficaces limiterait à 229 810 t de N-NH₃ en 2035 soit – 1 637 t N-NH₃ par an.

Cela fait varier les émissions totales en bovins lait et viande de – 0,7 % sur le total des émissions du secteur bovins.

7.2.2. Hypothèse H2 : 70 % de fosses couvertes et 20 % couverture en croute naturelle en 2035

En bovins lait, les émissions sont atténuées de - 4 557 t N-NH₃ par an. La mesure d'une couverture efficace à 70 % soit un facteur 7 par rapport à 2035 « base » limite les émissions de N-NH₃ de – 3,5 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 54).

Tableau 54 : Bovins lait 2035-base et 2035 +70 % de couvertures de fosses efficaces et 20 % de croute naturelle

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins Lait 2035 base	Bovins lait SC2h2	Gain
Au pâturage	16 166	16 166	0,0 %
En bâtiment d'élevage	34 429	34 429	0,0 %
Au stockage	24 721	16 679	- 6,2 %
A l'épandage des effluents	49 000	52 484	2,7 %
A l'épandage d'engrais azoté	5 027	5 027	
Total	129 343	124 786	- 3,5 %

En bovins viande, les émissions sont atténuées de - 961 t N-NH₃ par an. La mesure d'une couverture efficace à 70 % soit un facteur 7 par rapport à 2035 « base » limite les émissions de N-NH₃ de - 0,7 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 55).

Tableau 55 : Bovins viande 2035-base et 2035 + 70 % de couvertures de fosses efficaces et 20 % de croute naturelle

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins viande 2035 base	Bovins viande SC2h2	Gain
Au pâturage	17 078	17 078	0,0 %
En bâtiment d'élevage	26 859	26 859	0,0 %
Au stockage	22 150	20 536	- 1,2 %
A l'épandage des effluents	34 146	34 799	0,5 %
A l'épandage d'engrais azoté	1 871	1 871	
Total	102 104	101 143	- 0,7 %

Avec 231 447 t de N-NH₃ émis en 2035 pour les secteurs bovins lait et bovins viande, la mesure de couvrir + 70 % de fosses efficaces limiterait les émissions à 225 929 t de N-NH₃ en 2035 soit - 5 518 t N-NH₃ par an. Cela fait varier les émissions totales en bovins lait et viande de - 2,4 % sur le total des émissions du secteur bovins.

7.3 AGIR SUR LES PRATIQUES D'EPANDAGE (AGIR 3)

Les pratiques d'épandage sont affiliées aux types d'occupation des sols mais aussi aux systèmes d'exploitation. En effet, les systèmes herbagers ont une SFP majoritairement composée de prairies permanentes et temporaires. Ces caractéristiques limitent fortement la surface épandable pour les options d'épandage en injection et en enfouissement tant pour les lisiers que pour les fumiers.

Tableau 56 : Jeux de données pour alimenter les scénarios H1 et H2 pour les filières de déjections fumier

FUMIER	ENFOUISSEMENT				
	IMMEDIATE	DANS LES 4 HEURES	DANS LES 12 HEURES	DANS LES 24 HEURES	DANS LA SEMAINE
*Abattement de la volatilisation - théorique	0,9	0,6	0,4	0,3	0,05
2035	0 %	0 %	2 %	4 %	13 %
SC3H1	14 %/4 %	14 %/3 %	0/0	0/0	0/0
SC3H1H2	14 %/4 %	14 %/3 %	0/0	0/0	0/0

*Martin et al. 2013, Réduction des émissions de NH₃

(BL %/BV %)

Dans le scénario SC3H1, la diminution du temps d'enfouissement varie entre bovin lait et bovin viande (Tableau 56) car la ferme laitière est plus polycultures et moins prairiales que la ferme allaitante. De plus, le parc à matériel en systèmes de polycultures élevage est souvent plus conséquent et la part des cultures annuelles dans la SAU occupe plus de place.

Dans le scénario SC3H2, la fin de l'utilisation des buses est prévue en 2035. Par conséquent, 80 % des épandages (Tableau 57) seraient réalisés avec un pendillard. De plus, en élevage d'herbivores, cette option pendillard est adaptée aux couverts pluriannuels de type prairies permanentes et temporaires. Cette option pendillard plutôt qu'injection s'inscrit dans l'esprit du scénario 2035 « tendanciel bis » ; les systèmes d'enfouissement consomment plus d'énergie pour la traction de l'équipement.

Par ailleurs, ils sont inadaptés en sols lourds, caillouteux et en relief prononcé. Pour les 20 % du lisier restant, nous considérons qu'il n'y a pas de réponses technologiques pour épandre des lisiers trop pailleux, à consistance visqueuse. Il bénéficie d'une dérogation pour l'usage de buse-palette à l'épandage.

Tableau 57 : Jeux de données pour alimenter les scénarios H1 et H2 pour les filières de déjections lisier

LISIER	PENDILLARD	INJECTION OU INCORPORATION				
		DIRECTE OU IMMEDIATE	DANS LES 4 HEURES	DANS LES 12 HEURES	DANS LES 24 HEURES	DANS LA SEMAINE
*Abattement de la volatilisation - théorique	0,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,05
2035 Base	5 %	0 %	0 %	5 %	5 %	6 %
SC3H1	5 %/5 %	14 %/4 %	14 %/3 %	0/0	0/0	0/0
SC3H1H2	80 %/80 %	14 %/4 %	14 %/3 %	0/0	0/0	0/0

*Martin et al. 2013, Réduction des émissions de NH₃

(BL %/BV %)

7.3.1. H1 fumier et lisier épandus sur cultures sont enfouis immédiatement ou dans les 4H après l'application, sans changer le matériel d'épandage

En bovins lait, les émissions sont atténuées de - 8 421 t N-NH₃ par an. La mesure d'un enfouissement dans les 4 H par rapport à 2035 « base » limite les émissions de N-NH₃ de - 6,5 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 58).

Tableau 58 : Bovins lait 2035-base et 2035 enfouissements délai court

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins Lait 2035-base	Bovins lait SC3 H1	Gain
Au pâturage	16 166	16 166	0,0 %
En bâtiment d'élevage	34 429	34 429	0,0 %
Au stockage	24 721	24 702	0,0 %
A l'épandage des effluents	49 000	40 598	- 6,5 %
A l'épandage d'engrais azoté	5 027	5 027	0,0 %
Total	129 343	120 922	- 6,5 %

En bovins viande, les émissions sont atténuées de - 1 664 t N-NH₃ par an. La mesure d'un enfouissement dans les 4 H par rapport à 2035 « base » limite les émissions de N-NH₃ de -1,3 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 59).

Tableau 59 : Bovins viande 2035-base et 2035 enfouissements délai court

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins viande 2035-base	Bovins viande SC3 H1	Gain
Au pâturage	17 078	17 078	0,0 %
En bâtiment d'élevage	26 859	26 859	0,0 %
Au stockage	22 150	22 150	0,0 %
A l'épandage des effluents	34 146	32 482	- 1,3 %
A l'épandage d'engrais azoté	1 871	1 871	0,0 %
Total	102 104	100 439	- 1,3 %

Avec 231 447 t de N-NH₃ émis en 2035 pour les secteurs bovins lait et bovins viande, les mesures enfouissement et pendillard limiteraient à 221 362 t de N-NH₃ en 2035 soit – 10 085 t N-NH₃ par an. Cela fait varier les émissions totales en bovins lait et viande de – 4,4 % sur le total des émissions du secteur bovins.

7.3.2. H2 délais d'enfouissement court et H1 et pendillard pour 80 % du lisier

En bovins lait, les émissions sont atténuées de -19 929 t de N-NH₃ par an. Les mesures enfouissement temps court et de pendillard limiteraient les émissions de N-NH₃ de - 15,4 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 60).

Tableau 60 : Bovins lait 2035-base et 2035 enfouissements délai à – de 4 h et 80 % pendillard

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins Lait 2035-base	Bovins lait SC3H1H2	Gain
Au pâturage	16166	16166	0,0 %
En bâtiment d'élevage	34429	34429	0,0 %
Au stockage	24721	24721	0,0 %
A l'épandage des effluents	49000	29071	- 15,4 %
A l'épandage d'engrais azoté	5027	5027	0,0 %
Total	129 343	109 414	- 15,4 %

En bovins viande, les émissions sont atténuées de -5 634 t N-NH₃ par an. Les mesures enfouissement court et de pendillard par rapport à 2035 « base » limitent les émissions de N-NH₃ de – 4,4 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 61).

Tableau 61 : Bovins viande 2035-base et 2035 enfouissements délai à – de 4 h et 80 % pendillard

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins viande 2035-base	Bovins viande SC3H1H2	Gain
Au pâturage	17078	17078	0,0 %
En bâtiment d'élevage	26859	26859	0,0 %
Au stockage	22150	22150	0,0 %
A l'épandage des effluents	34146	28512	- 4,4 %
A l'épandage d'engrais azoté	1871	1871	0,0 %
Total	102 104	96 469	- 4,4 %

Avec 231 447 t de N-NH₃ émis en 2035 pour les secteurs bovins lait et bovins viande, les mesures enfouissement et pendillard limiteraient à 205 884 t de N-NH₃ en 2035 soit – 25 563 t N-NH₃ par an. Cela fait varier les émissions totales en bovins lait et viande de - 11 % sur le total des émissions du secteur bovin.

7.4 AGIR SIMULTANEMENT AVEC TOUS LES LEVIERS

Ce scénario est la combinaison de pratiques (AGIR 1, 2 et 3) sur tous les postes entraine des effets sur la cascade de l'azote.

En bovins lait, les émissions totales sont atténuées de -29 670 t N-NH₃ par an. La somme des mesures AGIR1, 2 et 3 limiterait les émissions de N-NH₃ de – 22,9 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 62).

Tableau 62: Bovins lait 2035-base et 2035 SC123

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins Lait	Bovins lait SC123	Gain
Au pâturage	16 166	15 708	- 0,4 %
En bâtiment d'élevage	34 429	33 190	- 1,0 %
Au stockage	24 721	15 918	- 6,8 %
A l'épandage des effluents	49 000	29 830	- 14,8 %
A l'épandage d'engrais azoté	5 027	5 027	0,0 %
Total	129 343	99 673	- 22,9 %

En bovins viande, les émissions sont atténuées de -6 693 t N-NH₃ par an. La somme des mesures AGIR1, 2 et 3 limiterait les émissions de N-NH₃ de – 5,2 % par rapport aux émissions de 2035 base (Tableau 63).

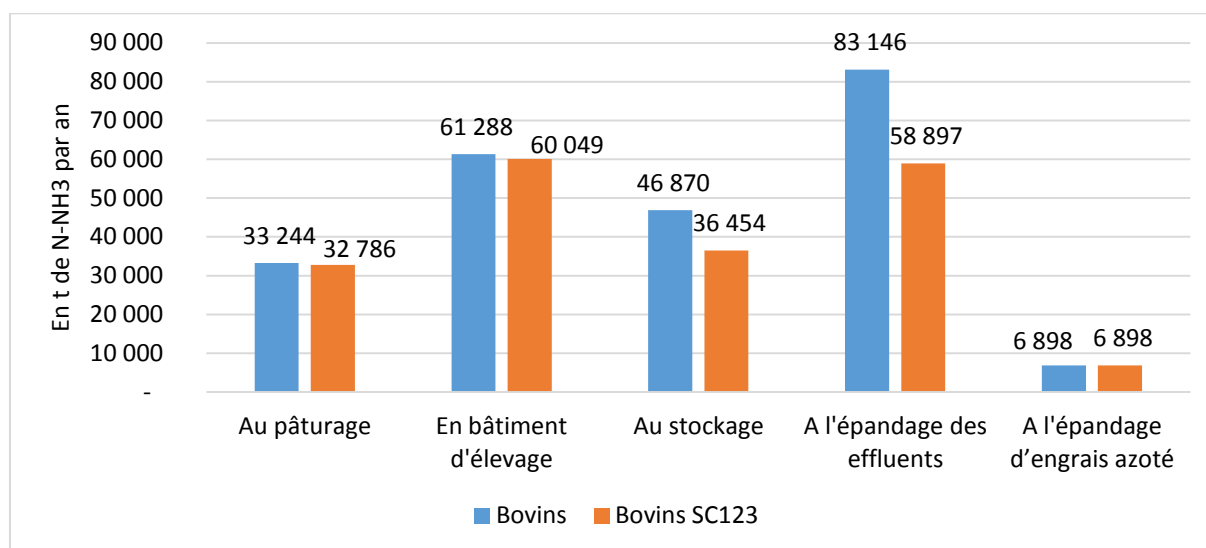
Tableau 63 : Bovins viande 2035-base et 2035 SC123

Volatilisation en t N-NH ₃ par an	Bovins viande	Bovins viande SC123	Gain
Au pâturage	17 078	17 078	0,0 %
En bâtiment d'élevage	26 859	26 859	0,0 %
Au stockage	22 150	20 536	- 1,2 %
A l'épandage des effluents	34 146	29 067	- 3,9 %
A l'épandage d'engrais azoté	1 871	1 871	0,0 %
Total	102 104	95 411	- 5,2 %

Avec 231 447 t de N-NH₃ émis en 2035 pour les secteurs bovins lait et bovins viande, les mesures enfouissement et pendillard limiteraient à 195 084 t de N-NH₃ en 2035 soit - 36 363 t N-NH₃ par an. Cela fait varier les émissions totales de - 15,7 % sur le total des émissions du secteur bovins.

Il n'y a pas eu de simulation sur le temps de présence en bâtiments car nous avons strictement respecté le scénario 2035 tendanciel Bis. L'écart très faible observé (Figure 24) sur ce poste est lié au SC 1 – 10 % de MAT en vaches laitières. En effet, CLIMAGRI ne présente pas l'option de moduler car on est sur la base d'un forfait par catégorie animale.

Figure 24 : Ecart entre 2035-Base et 2035 Scénarii 1 2 et 3 cumulés



Une hiérarchisation des actions testées pour les différents postes montre qu'en premier lieu agir sur l'épandage serait plus efficace que d'agir sur le stockage.

De plus, en bovins lait, la scénarisation simultanée des hypothèses AGIR123 obtient des gains d'émissions de 14,8 % alors qu'elles ne sont que de 3,9 % en bovins viande. Les bovins lait seraient le secteur le plus efficace pour obtenir des gains d'émissions significatifs. En effet, la production de lisier, la durée de présence en bâtiment sont les facteurs explicatifs de cette hypothèse de marge.

A noter, qu'un allongement du temps de présence des animaux au pâturage à partir de situation 2035-SC123 de + 4 % du temps de pâturage (70 % temps de présence à l'herbe) pour les vaches et les génisses en systèmes allaitants diminuerait les émissions de 5,3 % les émissions de ce secteur.

En revanche, une augmentation de 10 % du pâturage (52 % temps de présence à l'herbe) en vaches laitières entrainerait une diminution des émissions de ce secteur de 7 %.

Par conséquent en bovins allaitants une augmentation du temps de pâturage des vaches et des génisses serait plus efficace. En effet, 90 % de la production d'effluents sont des fumiers qui n'offrent pas forcément de solution dans les systèmes encore très herbagers de l'élevage allaitants. Aussi, les fumiers ne sont pas les plus émetteurs car la part de l'azote ammoniacal qu'ils contiennent, est faible par rapport au lisier.

Enfin les techniques d'atténuation ne sont pas probantes si l'on retient le bâchage de tas de fumier. En effet, une approche des impacts plus systémiques laisse apparaître que la couverture des tas de fumier provoquerait d'une part une augmentation des émissions de GES. De plus, l'anaérobiose aurait un effet similaire à celui d'un fumier mis dans un digesteur à savoir une forte augmentation de l'azote ammoniacal. A l'épandage, les effets seraient plus conséquents en termes d'émissions par rapport au fumier initial.

VIII. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

L'agriculture est responsable de 94 % des émissions de NH_3 en France. Au sein de ces émissions agricoles, les activités d'élevage représentent environ 73 % des émissions, parmi lesquelles 68 % sont à attribuer à l'élevage bovins. Dans la perspective d'une évolution de la réglementation, l'arrêté PREPA de 2017 préconise un plan d'actions pour le secteur agricole dans le but d'amorcer des mesures à mettre en œuvre pour la prochaine échéance du protocole de Göteborg à 2030.

Pour contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air, ces actions poussent à agir sur le cycle de l'azote en évitant de booster la volatilisation de l'ammoniac. Par ailleurs, les pratiques proposées visent une réduction des émissions de NH_3 , avec des cobénéfices au niveau du cycle de production, de la qualité de l'air et pour la préservation des ressources en eau.

Le cadre des méthodologies utilisées pour réaliser des inventaires NH_3 aux échelles nationales, régionales et en fermes, le cadre des méthodologies diverge et les facteurs d'émissions ne sont pas toujours actualisés voire sont pondérés par des conditions de milieux.

Aussi, une harmonisation du cadre méthodologique présenterait l'avantage de pouvoir agréger les données issues des fermes d'élevage dans le cadre d'un programme pour quantifier les actions conduites. Par ailleurs, cela aurait pour but de maintenir une connaissance actualisée des pratiques agricoles, sur l'alimentation animale, sur les types de logements, les ouvrages de stockage et ses effluents produits. Enfin, un inventaire précis de l'utilisation des matériels d'épandage et des techniques les moins émissives seraient une information importante pour qualifier les actions entreprises.

Des travaux de recherche appliquée doivent être engagés pour confirmer ou infirmer les choix de facteurs d'émissions pris par défaut. En effet, certains facteurs d'émissions issus de la bibliographie internationale sont utilisés ainsi ; Par exemple, les fumiers issus de litières accumulées sont une typicité française. Or le facteur d'émission utilisé est issu d'une publication internationale pour des fumiers mous ou proche d'un lisier pailleux. Par conséquent, le facteur d'émission est très proche du lisier alors que la teneur en azote ammoniacal est de 50 – 60 % de N total pour les lisiers contre 5 – 10 % pour les fumiers compacts. Ce recours par défaut entraîne une surestimation des émissions. Aussi, ces fumiers compacts représentent tout de même 90 % des volumes produits en bovins viande et 50 % en bovins lait.

D'un point de vue technico économique, il apparaît que toutes les mesures qui demandent un investissement dans les infrastructures de l'exploitation sont identifiées sur un rapport coût efficacité comme élevées à très élevées. En revanche les mesures qui présentent les meilleurs coûts touchent aux pratiques d'épandage et d'alimentation. Néanmoins des verrous technologiques existent quant à l'utilisation unilatérale de la rampe à pendillards. En effet dans les zones de montagne, cette solution n'est pas applicable lorsque les pentes sont escarpées. Toutefois, il est envisageable de recourir à des investissements en CUMA pour disposer d'un épandeur plus précis et ayant la capacité à épandre des volumes autour de 5 m³ par ha.

Ces faibles doses d'apport ouvriraient des fenêtres d'épandage sur prairie en automne et en sortie d'hiver dès lors que les conditions de sols se justifient. Les bonnes périodes d'épandage pour limiter les émissions d'ammoniac sont sur des plages de températures basses or les périodes interdites dans le cadre de la directive nitrates aussi. Il est possible de trouver un compromis à la croisée des bonnes pratiques NO_3 et NH_3 .

Ainsi, à la gestion du pâturage devrait s'ajouter l'hébergement d'animaux sur des grandes parcelles de plein air estival aménagées de haies et d'alignement d'arbres fonctionnels dont le rôle serait d'abaisser la chaleur ressentie des animaux plutôt que de les rentrer en bâtiment.

Augmenter le temps de pâturage est un levier important pour limiter l'effet en cascade de l'ammoniac pour les effluents qui sont rejetés en bâtiments et les autres postes d'émissions. En effet, l'aménagement de parcelles suffisamment importantes pourrait être une voie à explorer pour limiter les entrées des animaux en bâtiments en période estivale. Les alimenter en plein air estival est une voie d'intérêt avec un pilotage agronomique de l'azote qui va tomber sur cette parcelle.

Par exemple, si la configuration du parcellaire le permet, les parcelles de plein air estival doivent avoir au préalable été fauchées au printemps ; En effet l'exportation d'azote par la récolte de fourrages va sécuriser le risque d'un surplus d'azote dans le sol. Un pilotage avec l'indicateur Journée de Présence au Pâturage serait pertinent pour éviter les pertes d'azote vers l'eau. L'augmentation de la durée de présence au pâturage pourrait obtenir des gains de plus de 8 %.

La réduction des apports azotés pour être au plus proche des besoins des vaches laitières en l'occurrence est une action phare à conduire. Cette réduction de la consommation concourt également à limiter le risque d'une dépendance trop importante sur des matières azotées très spéculées. La quantification des émissions évitées pour – 10 % de MAT pour les vaches à plus de 8 000 kg de lait/an s'élève à - 5300 t de N-NH₃ soit – 2,3 % des émissions totales bovines.

En bâtiments, l'évacuation rapide et efficace des lisiers vers des ouvrages de stockage adaptés, la séparation des urines et les fèces dans les bâtiments de demain, le piégeage de l'ammoniac par des laveurs d'air ou des brumisateurs, agir sur les paramètres physico-chimiques des déjections sont des techniques à tester en herbivores. L'augmentation de la fréquence de raclage serait également une voie à explorer. Aucune simulation n'a été réalisée car CLIMAGRI n'intègre pas cette possibilité. Enfin, le gain d'émissions au seul aspect du bâtiment n'a pas fait l'objet de mesures ou d'expérimentation. Toutefois selon les experts ce gain pourrait être autour de 20 %.

Au stockage des effluents d'élevage, la couverture des fosses à lisier avec une couverture souple ou rigide réduirait respectivement de 60 et 80 %, les émissions. Le croutage naturel d'une fosse semble être également une option qui selon les experts réduirait l'émission de 50 %. Cette hypothèse demande d'être vérifiée car il semble que de nombreuses contradictions existent à ce sujet. Par ailleurs, l'épandage sur fosse de résidus flottants en surface, paille hachée, par exemple mériterait d'être étudié. Le scénario AGIR 2 avec l'hypothèse de couvrir le maximum de fosse montre un gain de 3,5 % d'émissions en moins pour le secteur bovins lait pour une réduction totale pour le secteur bovins de 2,3 %.

Pour les pratiques d'épandage des produits organiques, le levier technologique de réduction porte sur la surface du lisier à l'aspersion et la durée de contact de la forme ammoniacale avec l'atmosphère. Si les tonnes équipées de buses palettes sont dans le viseur des techniques à proscrire, il n'en demeure pas moins qu'elles sont en zone de montagne la seule solution pour des épandages en relief escarpés. D'autres technologies sont expérimentées mais les coûts d'utilisation associés ne sont pas amortissables pour une ferme d'élevage moyenne.

Le scénario AGIR 3 à savoir l'enfouissement à moins de 4 heures et le pendillard pour 80 % des lisiers produits constitue le poste le plus efficace avec une réduction de 15,4 % des émissions en bovins lait et de 11 % des émissions du secteur bovins. D'autres voies méritent d'être explorées pour sortir d'une solution uniquement basée sur de la technologie. En effet, une meilleure prise en compte des conditions de température et d'hygrométrie à l'épandage diminuerait les pertes azotées par volatilisation avec le cobénéfice d'une meilleure valorisation agronomique.

Pour les épandages azotés minéraux du commerce, l'introduction de légumineuses dans la rotation ouvre des perspectives intéressantes dans les systèmes de polycultures élevage. Dans le scénario 2035 « Tendanciel Bis de GESEBOV » la diminution des engrais chimiques

a été intégrée avec une augmentation des surfaces en légumineuse. Pour autant, la diminution des émissions entre 2018 et 2035 s'élève à - 16 000 de t de N-NH₃.

Enfin, d'autres formes d'engrais moins émissives pourraient être privilégiées de façon à limiter les engrais azotés minéraux de type urée ainsi que les solutions azotée liquides.

Pour conclure, les réductions d'émissions de NH₃ dans le protocole de Göteborg à l'horizon 2030 et selon les scénarios AGIR 1, 2 et 3 et des actions cumulatives sur les postes d'émissions sont atteignables. Toutefois, de nombreuses techniques au stockage et à l'épandage doivent être testées de manière rigoureuse afin d'en promouvoir l'effet. L'étude RUMINH3 montre qu'il faut agir de concert entre IDELE, le Citepa et l'INRAé pour répondre à l'amélioration des inventaires mais aussi stabiliser les méthodes entre outils de diagnostic.

Les actions AGIR1, 2 et 3 cumulatives montrent que le gain maximum de réduction se situe autour de 16 % pour le secteur bovin. Toutefois, on remarque que l'action sur l'alimentation de VL est autant efficace que d'agir sur la couverture de fosse en bovins.

Aussi, le gain de réduction sur les pratiques d'épandage, un enfouissement à moins de 4 heures est 1,8 fois plus efficace que l'action sur l'alimentation.

Lorsque le scénario intègre l'enfouissement sur un délai court associé à 80 % des lisiers épandus avec un pendillard, le gain de réduction d'émissions est 4,6 fois plus important que d'agir sur l'alimentation des VL et 2,5 fois plus important que d'agir sur le stockage.

Enfin le secteur bovin lait est le plus concerné car le lisier représente entre 30 et 40 % des déjections produites et les UGB lait ont une volatilisation de 1,5 fois plus qu'une UGB Bovin viande.

IX. Illustrations référencées

Figure 1 : Sources des principaux polluants de l'air réglementés en France (Source : Citepa avril 2018 / format SECTEN.)	7
Figure 2: Les flux d'azote dans exploitation de polycultures élevage	8
Figure 3 : SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE LA CASCADE DE L'AZOTE mettant en évidence la fabrication d'azote réactif (procédé Haber-Bosch), les principales formes d'azote réactif utilisées ou produites dans l'environnement et les impacts environnementaux. Les flèches bleues représentent les flux intentionnels et celles d'autres couleurs, les flux non intentionnels (Source : Expertise scientifique collective INRA 2012)	9
Figure 4 : Principaux postes d'émissions NH_3 (source guide bonnes pratiques PREPA figure partielle/initiale)	10
Figure 5 : Suivi de l'azote - Système liquide	15
Figure 6 : Suivi de l'azote - Système solide	18
Figure 7 : Suivi de l'azote - Système liquide méthanisé	18
Figure 8 : Suivi de l'azote - Système solide méthanisé	19
Figure 9 : Schéma fonctionnel de la méthode Clim'agri	20
Figure 10 : Valeurs kg de N excrété par tête par an en 2019 issues de l'inventaire, édition 2021	31
Figure 11 : Emissions de NH_3 par poste en vache laitière, sans prise en compte des pratiques de réduction	34
Figure 12 : Emissions de NH_3 par poste en vache laitière, avec prise en compte des pratiques de réduction	34
Figure 13 : rapport coût/efficacité de la réduction des émissions de NH_3 (k€/t NH_3 non émise) pour les mesures pour lesquelles NH_3 est considéré polluant principal	40
Figure 14 : ZOOM, rapport coût/efficacité de la réduction des émissions de NH_3 (k€/t NH_3 non émise) pour les mesures pour lesquelles NH_3 est considéré polluant principal	40
Figure 15 : Hiérarchisation des potentiels de mesures d'atténuation	41
Figure 16 : Evolution des effectifs de vaches	46
Figure 17 : Fréquence de présence des animaux en pâture et en bâtiment	50
Figure 18 : Répartition en % des effluents produits	50
Figure 19 : Emissions en tonne de N par poste d'émission en bovins	51
Figure 20: Inventaire CLIMAGRI de l'azote excrété aux émissions globales d'ammoniac.	52
Figure 21: Volatilisation en t N- NH_3 par an lait et viande	53
Figure 22 : Emissions d'ammoniac en t de N- NH_3 par poste en bovin lait	55
Figure 23 : Emissions d'ammoniac en t de N- NH_3 par poste pour les bovins viande	56
Figure 24 : Ecart entre 2035-Base et 2035 Scénarii 1 2 et 3 cumulés	63

X. TABLEAUX REFERENCES

Tableau 1: Estimation du nombre de décès prématurés et des années de vie perdues liés à la pollution aux PM2,5, NO2 et O3	11
Tableau 2 : Facteurs d'émission de NH ₃ EMEP au bâtiment	16
Tableau 3 : Facteurs d'émission de NH ₃ EMEP au stockage	16
Tableau 4 : Facteurs d'émission de NO et N ₂ EMEP au stockage	16
Tableau 5 : Facteurs d'émission de N ₂ O GIEC au bâtiment/stockage	17
Tableau 6 : Facteurs d'émission de NH ₃ EMEP à l'épandage	17
Tableau 7 : Facteurs d'émission de NH ₃ EMEP à la pâture	17
Tableau 8 : Taux de volatilisation N-NH ₃ bâtiment CLIMAGRI.	20
Tableau 9 : Taux de volatilisation N-NH ₃ stockage CLIMAGRI	21
Tableau 10 : Autres émissions gazeuses azotées N-NO, N-N ₂ O et N-N ₂ au stockage CLIMAGRI.	21
Tableau 11 : Taux de volatilisation N-NH ₃ épandage CLIMAGRI	21
Tableau 12 : Taux de volatilisation N-NH ₃ épandage CLIMAGRI	21
Tableau 13 : Default Tier 2 NH3-N EFS methodology for the calculation of emissions NH3-N from manure management	23
Tableau 14 : Derivation of default Tier 2 EF for direct N ₂ O emissions from manure management	23
Tableau 15 : Default Tier 2 NH3-N EFS methodology for the calculation of emissions NH3-N from manure management	23
Tableau 16 : Taux de volatilisation N-NH ₃ bâtiment CAP'2ER®.	24
Tableau 17 : Pondération des facteurs d'émissions en bâtiment selon la température (% N Bâtiment)	25
Tableau 18 : Taux de volatilisation N-NH ₃ stockage CAP'2ER®.	25
Tableau 19 : Pondération des facteurs d'émissions au stockage de fumier selon la température	26
Tableau 20 : Pondération des facteurs d'émissions au stockage de lisier selon la température	26
Tableau 21 : Pondération des facteurs d'émissions à l'épandage selon la température	27
Tableau 22 : facteurs utilisés dans CAP'2ER reprenant les EF de base et modulés en fonction de la température	27
Tableau 23 : Finalité des outils et des méthodologies	27
Tableau 24 : Azote excrété, TAN et facteurs d'émissions du bâtiment à l'épandage	28
Tableau 25 : Catégories de bovins dans l'inventaire	29
Tableau 26 : Valorisation plus fine des informations disponibles	33
Tableau 27 : Facteurs d'émissions génisses au pâturage selon le secteur de production	35
Tableau 28 : Facteurs d'émissions en bâtiment selon la nature des effluents produits	35
Tableau 29 : Facteurs d'émissions au stockage selon la nature des effluents produits	35
Tableau 30 : Les mesures de réduction à l'épandage	35
Tableau 31 : Les mesures de réduction à l'épandage	36
Tableau 32 : Rapport coût efficacité par kg de NH ₃ évité et valorisé au plan agronomique	42
Tableau 33 : Répartition des UGB par secteur de production de 1990, 2010, 2018 et 2035	46
Tableau 34 : Azote excrété en kg par catégories animales en bovins lait	47
Tableau 35 : Azote excrété en kg des catégories animales en bovins viande	47
Tableau 36 : Caractéristiques des fosses en % par type d'élevage au niveau national	48
Tableau 37 : Taux de couverture de fosses BL2035 et coefficients de réduction des émissions de NH ₃ (Martin et al. 2013)	48
Tableau 38 : Pratiques d'épandage du lisier et d'enfouissement post-épandage	49
Tableau 39 : Pratiques d'épandage fumier	49
Tableau 40 : Emissions en t N-NH ₃ par an et par UGB	51
Tableau 41 : Répartition en % de N excrété et N volatilisé.	52
Tableau 42 : Contribution en valeur absolue des émissions par type de production et en kg de N-NH ₃ par UGB	53
Tableau 43 : Emissions d'ammoniac pâturage en t de N-NH ₃ par poste en bovin lait	53
Tableau 44 : Emissions d'ammoniac pâturage en t de N-NH ₃ par poste pour les bovins viande	54
Tableau 45 : Emissions d'ammoniac en bâtiment et stockage en t de N-NH ₃ par poste pour les bovins lait	54
Tableau 46 : Emissions d'ammoniac en bâtiment et stockage en t de N-NH ₃ par poste pour les bovins viande	54
Tableau 47 : Emissions d'ammoniac en t de N-NH ₃ par poste en bovin lait	54
Tableau 48 : Emissions d'ammoniac en t de N-NH ₃ par poste pour les bovins viande	55
Tableau 49 : Rejet de la vache laitière à 2035 avec - 10 % de MAT	57
Tableau 50 : Bovins lait 2035 base et 2035 - 10 % de MAT	57
Tableau 51 : Taux de couverture selon les scénarios (SC2h1 et SC2h2)	57

Tableau 52 : Bovins lait 2035 base et 2035 + 10 % de couvertures de fosses efficaces _____	58
Tableau 53 : Bovins viande 2035-base et 2035 + 10 % de couvertures de fosses efficaces _____	58
Tableau 54 : Bovins lait 2035-base et 2035 +70 % de couvertures de fosses efficaces et 20 % de croute naturelle _____	59
Tableau 55 : Bovins viande 2035-base et 2035 + 70 % de couvertures de fosses efficaces et 20 % de croute naturelle _____	59
Tableau 56 : Jeux de données pour alimenter les scénarios H1 et H2 pour les filières de déjections fumier _____	59
Tableau 57 : Jeux de données pour alimenter les scénarios H1 et H2 pour les filières de déjections lisier _____	60
Tableau 58 : Bovins lait 2035-base et 2035 enfouissements délai court _____	60
Tableau 59 : Bovins viande 2035-base et 2035 enfouissements délai court _____	61
Tableau 60 : Bovins lait 2035-base et 2035 enfouissements délai à – de 4 h et 80 % pendillard _____	61
Tableau 61 : Bovins viande 2035-base et 2035 enfouissements délai à – de 4 h et 80 % pendillard _____	61
Tableau 62: Bovins lait 2035-base et 2035 SC123 _____	62
Tableau 63 : Bovins viande 2035-base et 2035 SC123 _____	62

XI. Annexes

ANNEXE 1 : SCENARIO 1 : EVOLUTION TENDANCIELLE ET SCENARIO 1 BIS : EVOLUTION TENDANCIELLE ET STRATEGIE ENVIRONNEMENTALE RENFORCEE

Scénario 1 : Evolution tendancielle

L'ESPRIT DE CE SCENARIO 1 : Ce scénario est basé sur les prévisions d'évolution de la production en lait et viande à moyen terme (travaux GEB, Commissions Européenne) et des projections à l'horizon 2035. La production s'adapte aux nouveaux contextes de marché et à la nouvelle PAC. D'un côté la production laitière saisit des opportunités de développement, de l'autre la production de viande s'ajuste en conséquence et subit des baisses de débouchés, en particulier l'export de brouards vers l'Italie.

LES MOTEURS SC1 : la fin des quotas, la réforme de la PAC, la demande mondiale en lait

Contexte économique (prix, demande et attentes sociétales, structuration des filières) : Croissance économique faible en Europe. En France, le chômage se maintient à un niveau assez élevé, les emplois sont peu abondants notamment en milieu rural, en l'absence de toute réindustrialisation. L'agriculture et les IAA gardent une place très importante dans certains bassins d'emplois ruraux. Le développement de l'économie des services passe par l'intensification des échanges entre métropoles régionales/européennes et irrigue très peu le milieu rural (Métropolisation, DATAR 2040). Les citoyens restent attachés à l'agriculture, aux modèles familiaux et rejette « l'élevage industriel ». La poursuite de **la crise économique en Europe impacte la demande en bovins viande français** mais les marchés lointains continuent à **tirer la demande en produits laitiers ainsi qu'en viande**. La déconsommation de viande bovine tant en France qu'en Italie (- 16 % depuis 2010) perturbe l'écoulement traditionnel de l'offre française (viande pour le marché intérieur, brouards exportés) et les débouchés alternatifs restent limités. Le prix du lait est en moyenne de 350 €/t mais sa volatilité, certaine, est importante (plage de variation d'au moins 100 €/t). Le prix de la viande bovine reste à la moyenne des années 2010 – 2011.

Politiques publiques : Favorable aux aides à l'installation et maintien/évolution du contrôle des structures (pour limiter l'accès des investisseurs extérieurs au marché foncier agricole notamment). Réforme de la PAC

Evolution des effectifs, structures d'exploitations et surfaces : Le cheptel de vaches laitières est en légère hausse (3,8 M) avec une production laitière en nette hausse (+ 15 % ou + 4 Mt) jusqu'en 2020. La hausse de la production laitière est plus modérée entre 2020-2035 (+ 10 %) entraînant un léger repli du cheptel VL (poursuite de la hausse du rendement par VL, + 1,6 %/an en moyenne). La diversité structurelle reste forte. 90 VL en moyenne = de 30 VL à 300 VL. Le nombre de vaches allaitantes est en baisse (- 500 000 par rapport à 2010, retour à 1990). Face aux difficultés de transmission liées à la faible rentabilité, un scénario à l'anglaise l'emporte (démographie vieillissante ; blocage foncier ; extensification ; investissements en baisse). Les croissances en cheptel sont très ralenties pour les exploitations pérennes (+ 1,5 VA/an 1990) ; (+ 1 VA/an 2000) ; (+ 0,4 VA entre 2010 et 2013). Des arbitrages en faveur des cultures et/ou de l'extensification s'opèrent suivant les régions. La production de viande est en position de concurrence défavorable sur PT/TL face aux céréales ou à la production laitière. Néanmoins, face au recul du débouché en brouards exportés, l'engraissement en France se redéveloppe en parallèle dans une partie des exploitations (naisseur-engraisseur et ateliers d'engraissement collectif). La production de jeunes bovins de race à viande dépasse 900 000 têtes (+ 22 % /2010). La production de viande bovine (gros bovins + veaux) retrouve son niveau de la fin des années 1990.

Evolution des systèmes et des pratiques agricoles : Les exploitations laitières, en moyenne de 90 VL en plaine (grâce au maintien d'un nombre élevé d'installations) conservent la possibilité de mettre en œuvre des systèmes d'alimentation basés sur l'herbe (pâturage) pour une petite part, le maïs et quelques légumineuses fourragères/prairies

d'association. Le prix élevé des protéines végétales (dirigé par le soja) conforte ces évolutions. La Normandie poursuit son recul. La production laitière herbagère en plaine (sans maïs) se réduit encore mais la part du bio dans ces systèmes monte à 75 %. En dehors du fer à cheval laitier et de quelques îlots de résistance de production laitière en zones intermédiaires, les exploitations de plaine évoluent soit en très grandes fermes (300 - 500 VL), soit les plus petites valorisent elles-mêmes leurs productions (périurbain, zones touristiques). La production laitière poursuit sa concentration dans la moitié Nord de la France. La destination des veaux du cheptel allaitant connaît quelques changements : le poids relatif des broutards exportés diminue légèrement, tandis que l'engraissement progresse. Les changements sont plus importants dans le secteur laitier : poursuite de l'allongement de l'IVV réduisant les naissances, développement du sexage avec un sexe ratio de 56 % de femelles, forte baisse du nombre de veaux mâles laitiers nés, avec poursuite de la réduction du nombre de veaux de boucherie ou de taurillons laitiers et stabilisation des bœufs – remplacement des vaches allaitantes, faible valeur du veau de 8 j.

Scénario 1 bis : Evolution tendancielle et stratégie environnementale renforcée

L'ESPRIT DE CE SCENARIO 1 Bis : Ce scénario intègre les mêmes hypothèses que le scénario 2 mais intègre de manière marquée des évolutions de pratiques et techniques d'atténuation des GES (sans changement majeur des systèmes).

LES MOTEURS SC1 Bis : A la fois l'économie mondiale, les politiques européennes et nationales (agricoles et climatiques).

Contexte économique (prix, demande et attentes sociétales, structuration des filières) : Les contraintes environnementales exercées également chez nos voisins par les politiques européennes sont un des éléments d'explication d'une baisse de production dans la plaine du Pô (et donc une baisse des exports de broutards vers l'Italie).

Politiques publiques : Les politiques publiques se caractérisent par une politique environnementale et climatique **incitative** (MAE, crédit C, prime au stockage de C) et l'instauration de droits environnementaux à produire (plafonds d'émissions de GES, NH₃, NO₃ et P, taxe C sur l'énergie fossile). La réglementation renforce les **interdictions** (épandage par buse palette, ...) et **obligations** (maintien de prairies, par des objectifs individuels, des pénalités en cas de retournement et l'obligation de remise en herbe, ...). Le **soutien aux énergies renouvelables** est renforcé (bâtiments à énergie positive, méthanisation, photovoltaïque, ...).

Evolution des effectifs, structures d'exploitations et surfaces : + Ajustement des surfaces aux pratiques retenues (dont augmentation des surfaces en légumineuses).

Evolution des systèmes et des pratiques agricoles : Les bilans environnementaux des élevages s'améliorent significativement. Une meilleure efficacité s'observe au sein des exploitations. Au-delà de l'amélioration tendancielle des systèmes d'élevage, les éleveurs sont performants sur tous les plans (techniques, génétiques, agronomiques, etc.), grâce à un système de formation, de conseil et de développement efficace. La prairie se maintient principalement dans les exploitations les plus extensives, en particulier allaitantes. Les innovations technologiques sont très importantes et très présentes en élevage (robot, bâtiments, additifs, génétique, ...). Des techniques d'atténuation des GES sont intégrées dans les élevages (fertilisation, gestion des déjections, alimentation, ...), en particulier celles qui ont une incidence économique positive pour l'éleveur ou qui sont soutenues politiquement. Le principal levier est la baisse de l'azote, avec l'introduction de légumineuses dans les prairies avec pâturage. Les énergies renouvelables se développent.

ANNEXE 2 : CLIMAGRI ABATTEMENT AU STOCKAGE ET A L'EPANDAGE 1990, 2000, 2018 ET 2035.

Réduction appliquée des émissions de NH3 selon Martin et al. 2013		Taux d'abattement NH3	Taux d'application en 1990	Taux d'application en 2010	Taux d'application en 2018	Taux d'application en 2035 « Tendanciel bis »
Couverture des fosses à lisier	croûte naturelle	50%	26%	26%	26%	26%
	autres couvertures	80%	0%	10%	10%	10%
Incorporation du lisier	Pendillard	40%	0%	5%	5%	5%
	Injection directe ou incorporation immédiate	90%	0%	0%	0%	0%
	Incorporation dans les 4 heures	60%	0%	0%	0%	0%
	Incorporation dans les 12 heures	40%	1%	4%	4%	9%
	Incorporation dans les 24 heures	30%	1%	4%	4%	9%
	Incorporation dans la semaine	5%	1%	6%	6%	10%
Incorporation du fumier	Injection directe ou incorporation immédiate	90%	0%	0%	0%	0%
	Incorporation dans les 4 heures	60%	0%	0%	0%	0%
	Incorporation dans les 12 heures	40%	1%	1%	1%	3%
	Incorporation dans les 24 heures	30%	1%	3%	3%	6%
	Incorporation dans la semaine	5%	1%	10%	10%	19%

ANNEXE 3 : CLIMAGRI ABATTEMENT AU STOCKAGE ET A L'EPANDAGE 2035 SC1, 2 ET 3.

Réduction appliquée des émissions de NH3 selon Martin et al. 2013		Taux d'abattement NH3	Taux d'application en 2035 SCTbis	Taux d'application en 2035 SC1_MAT	Taux d'application en 2035 SC2_h1+h2	Taux d'application en 2035 SC3 h1+h1
Couverture des fosses à lisier	croûte naturelle	50%	26%	26%	26%	26%
	autres couvertures	80%	10%	10%	10%	10%
Incorporation du lisier	Pendillard	40%	5%	5%	5%	80%
	Injection directe ou incorporation immédiate	90%	0%	0%	14%	14%
	Incorporation dans les 4 heures	60%	0%	0%	14%	14%
	Incorporation dans les 12 heures	40%	9%	9%	0%	0%
	Incorporation dans les 24 heures	30%	9%	9%	0%	0%
	Incorporation dans la semaine	5%	10%	10%	0%	0%
Incorporation du fumier	Injection directe ou incorporation immédiate	90%	0%	0%	14%	14%
	Incorporation dans les 4 heures	60%	0%	0%	14%	14%
	Incorporation dans les 12 heures	40%	3%	3%	0%	0%
	Incorporation dans les 24 heures	30%	6%	6%	0%	0%
	Incorporation dans la semaine	5%	19%	19%	0%	0%

XII. Bibliographie

COUR DES COMPTES 07/2020 LES POLITIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR. Enquête demandée par la Commission des finances du Sénat, Juillet 2020.

PLAN MATERIELS D'EPANDAGE MOINS EMISSIFS-DIAGNOSTIC, Septembre 2020.

GUIDE DES BONNES PRATIQUES AGRICOLES pour l'amélioration de la qualité de l'air, Août 2020.

RAPPORT PRINCIPAL « AIDE A LA DECISION POUR L'ELABORATION DU PREPA » Livrable n°2 faisant suite à la consultation des Parties prenantes, juin 2016.

RAPPORT D'ETUDE « Guide des bonnes pratiques agricoles pour la qualité de l'air », Juin 2019.

J-L. Peyraud et al. 2012. Les flux d'azote liés aux élevages : réduire les pertes, rétablir les équilibres, Expertise collective 2012.

V. Manneville et al. 2008. Evaluation du programme de maîtrise des pollutions agricole. Coll. Résultats.