



Rapport **OMINEA** | Agriculture Ed. 2025

Organisation et méthodes des
inventaires nationaux des émissions
atmosphériques en France

Rapport **OMINEA** | Agriculture Ed. 2025

Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France

Avril 2025

Rédaction	
Contributeurs	Anaïs DURAND, Jonathan HERCULE, Etienne MATHIAS.

Coordination, Vérification et Approbation finale		
Coordination et Vérification	Jean-Pierre CHANG, Directeur adjoint Étienne MATHIAS, Responsable de département Vincent MAZIN, Ingénieur d'études	27/02//2025
Approbation finale	Jérôme BOUTANG, Directeur général Nadine ALLEMAND, Directrice adjointe	27/02/2025

Pour citer ce document :

Citepa, 2025. Rapport OMINEA | Agriculture – 22^{ème} édition

© Citepa 2025

Ce Rapport a été réalisé avec la participation financière du Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche (MTBFMT).

Cette édition annule et remplace toutes les éditions antérieures relatives au même format d'inventaire.

Rapport n°2590omi/ 2025 | 3. Agriculture.docm

Ce rapport national d'inventaire est disponible sur le site Internet du Citepa, à la page suivante :

<https://www.citepa.org/methodologie-de-linventaire-omine/>

@ Citepa

42, rue de Paradis – 75010 PARIS – Tel. 01 44 83 68 83 – Fax 01 40 22 04 83

www.citepa.org | contact@citepa.org



Sommaire

Sommaire	3
Liste des figures	4
Liste des tableaux.....	6
Préambule	9
Agriculture Introduction	10
Fermentation entérique	66
Gestion des déjections animales	79
Rizières	107
Sols agricoles	111
Brûlage des résidus de cultures	131
Épandage d’amendements basiques et d’engrais contenant du carbone.....	136
Epandage de l’urée.....	139
Références utilisées	141
Agriculture Annexes	148
Crédit des illustrations	215

Liste des figures

Figure 1 : Postes d'émission et polluants associés en agriculture	11
Figure 2 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA)	13
Figure 3 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE	18
Figure 4 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE	19
Figure 5 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE	20
Figure 6 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE	21
Figure 7 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE	21
Figure 8 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE	22
Figure 9 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE)	24
Figure 10 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)	25
Figure 11 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)	26
Figure 12 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)	27
Figure 13 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France	28
Figure 14. Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME... ..	29
Figure 15. Estimation des rations moyennes des méthaniseurs agricoles par ancienne région (avant réforme 2016) pour l'année la plus récente – Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME.....	30
Figure 16 : Evolution des places méthanisées en bovins et porcins	32
Figure 17 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)	34
Figure 18 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE).....	35
Figure 19 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture	37
Figure 20. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France	57
Figure 21. Estimation de la répartition de la fertilisation minérale azotée en 2023. Source : Citepa d'après enquêtes pratiques culturales 2021, SAA	60
Figure 22 : Evolution des apports moyens en azote minéral sur blé tendre au niveau métropole (incluant les parcelles non fertilisées)	63
Figure 23 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France métropolitaine – Source : Agreste - SAA	63
Figure 24 : Évolution des superficies fourragères en France métropolitaine – Source : Agreste – SAA.....	64
Figure 25 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du CH ₄ entérique par la méthode MONDFERENT II	70
Figure 26 : Suivi de l'azote en gestion liquide.....	89
Figure 27 : Suivi de l'azote en gestion solide	90
Figure 28 : Suivi de l'azote en gestion liquide avec méthanisation	90
Figure 29: Suivi de l'azote en gestion solide avec méthanisation	90
Figure 30 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épandus en Métropole (1 000 tN).....	112
Figure 31 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épandues en Outre-mer (tN).....	114
Figure 32 : Estimations des quantités de substances actives utilisées en France	117
Figure 33 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins	158
Figure 34 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins	159
Figure 35 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins	159
Figure 36 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins	160
Figure 37 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage	161
Figure 38 : Exemple – Evolution des besoins journaliers en UFL par semaine d'une primipare mise bas septembre sur l'année, avec un rendement laitier d'environ 6000 kg lait/an.	173

Figure 39 : Composition de la ration moyenne vache laitière France sur l'année	173
Figure 40 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012).....	178
Figure 41 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2019 (rouge) 180	
Figure 42 : Illustration fictive du retraitement des données de traitement de l'air en bâtiments porcins effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage.....	182
Figure 43. Epandages de TAN selon le matériel d'épandage et le type d'effluents pour les pendillards	189
Figure 44. Répartition des élevages selon le type d'équipement des salles de traite – source : [980]	194
Figure 45. Fonction de voyage pour une tonne à lisier d'une capacité inférieure à 12000 litres	196
Figure 46. Fonction de survie ajustée aux données Cuma	197
Figure 47. Estimation de la répartition des volumes d'effluents liquides épandus par type de matériel pour l'année 2021	198
Figure 48. Volume d'effluents liquides épandus en 2021, selon la propriété du matériel – source : Citepa d'après FNCUMA, ETA et étude du gisement	199
Figure 49. Etapes de calcul pour estimer les modes d'épandages des effluents organiques liquides dans l'inventaire Citepa à partir de l'année 2021.	201

Liste des tableaux

Tableau 1 : Correspondances entre anciennes et nouvelles régions	12
Tableau 2 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcins	15
Tableau 3 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement)	15
Tableau 4 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire.....	16
Tableau 5 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre UE sur la période d'inventaire	17
Tableau 6 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre UE sur la période 1990-2021	17
Tableau 7 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre UE)	24
Tableau 8 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)	25
Tableau 9 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)	25
Tableau 10 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)	26
Tableau 11 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés	28
Tableau 12. Teneur en azote retenue pour les effluents d'élevage de l'inventaire	31
Tableau 13 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)	33
Tableau 14 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)	35
Tableau 15 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés	36
Tableau 16 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture	37
Tableau 17 : Récapitulatif des sources de pondération et retraitements effectués pour estimer l'azote excrété des volailles	41
Tableau 18 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée	46
Tableau 19 : Evolution des Fex en métropole par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an)	48
Tableau 20 : Evolution des Fex au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an)	49
Tableau 21 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des équins	53
Tableau 22 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des volailles	53
Tableau 23 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV	55
Tableau 24. Répartition des surfaces en hectares selon la zone climatique en Métropole	57
Tableau 25 : Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Métropole	58
Tableau 26. Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Outre-Mer	59
Tableau 27. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021	61
Tableau 28. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 et en 2017 pour les prairies	62
Tableau 29 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du CH ₄ entérique	67
Tableau 30 : Récapitulatif des facteurs d'émission CH ₄ entérique et paramètres associés	72
Tableau 31 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH ₄ entérique des bovins avec la méthode Giec 2019 ...	74
Tableau 32 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH ₄ entérique des ovins et caprins avec la méthode Giec 2019.....	75
Tableau 33 : Comparaison des facteurs d'émission (FE) CH ₄ entérique – MONDFERENT I et II / Giec 2019	76
Tableau 34 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2019.....	76
Tableau 35 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019	77
Tableau 36 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019	77
Tableau 37 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire	81
Tableau 38 : Correspondances FCM et systèmes de gestion	81
Tableau 39 : Valeurs de FCM retenues selon les climats	82
Tableau 40 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion	84
Tableau 41 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion	85
Tableau 42 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion	88
Tableau 43 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale	92

Tableau 44 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ au bâtiment.....	93
Tableau 45 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ au stockage	95
Tableau 46 : Facteurs d'ajustement (FA _{i,m}) liés aux pratiques d'épandage	98
Tableau 47 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ à l'épandage.....	99
Tableau 48 : Facteurs d'émission de N-NH ₃ à la pâture.....	101
Tableau 49 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion	101
Tableau 50 : Facteurs d'émission PM utilisés	102
Tableau 51 : Comparaison des SV – MONDFERENT I et II / Giec 2019	104
Tableau 52 : Comparaison des Fex – MONDFERENT I et II / Giec 2019	105
Tableau 53. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz*	109
Tableau 54. Surfaces de riziculture pour la métropole, la Guyane et Mayotte	109
Tableau 55. Fertilisation azotée par culture en Outre-Mer.....	113
Tableau 56. Facteur d'émission des émissions de N ₂ O (kgN-N ₂ O/kgN) pour 2023	119
Tableau 57. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-N ₂ O/ha/an - source : IPCC (2013) [1193]	120
Tableau 58 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de NH ₃ et de NO _x , utilisées dans le calcul des émissions de N ₂ O des sols – périmètre UE.....	121
Tableau 59: Azote apporté aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote).....	123
Tableau 60: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (tonnes d'azote).....	124
Tableau 61: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d'Outre-mer non inclus dans l'UE (tonnes d'azote) ..	124
Tableau 62 : Facteurs d'émission de NH ₃ pour les engrais minéraux	128
Tableau 63 : Facteurs d'émission de particules pour les sols agricoles	129
Tableau 64 : Teneurs maximales en HCB pour les produits phytosanitaires	130
Tableau 65 : Facteurs d'émissions utilisés selon le type de résidu	133
Tableau 66 : Facteurs d'émissions métaux lourds	133
Tableau 67 : Répartition des amendements carbonés	137
Tableau 68 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA	148
Tableau 69 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies	149
Tableau 70 : Correspondances entre les capacités des enquêtes bâtiment et les libellés des pratiques d'élevage	149
Tableau 71 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches laitières	151
Tableau 72 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins.....	152
Tableau 73 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc	153
Tableau 74 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins.....	155
Tableau 75 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 (et recensement agricole 2020) - Bovins.....	156
Tableau 76 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcins.....	157
Tableau 77 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période	162
Tableau 78 : Traitement des données sur les temps d'hébergement sur la période	164
Tableau 79 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Bovins	164
Tableau 80 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins.....	167
Tableau 81 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins.....	168
Tableau 82 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins	168
Tableau 83 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins	168
Tableau 84 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins	168
Tableau 85 : Attribution des rations Cniel par anciennes régions.....	174
Tableau 86 : Teneurs moyennes retenues des aliments composant les rations	174
Tableau 87 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine	177
Tableau 88 : Caractéristiques retenues par grande catégorie d'aliment	178

Tableau 89 : Pourcentages recalculés des effectifs porcins élevés en bâtiment avec traitement de l'air par grande région productrice et solde national	182
Tableau 90 : Attribution des taux d'application de traitement de l'air sur la période	182
Tableau 91 : Résumé des modes d'estimation du nombre de stations de traitement par nitrification-dénitrification sur la période.....	183
Tableau 92 : Résumé des modes d'estimation de l'azote résorbé par nitrification-dénitrification sur la période	184
Tableau 93 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les bovins, porcins, caprins et ovins en métropole pour 2015 et 2020	185
Tableau 94 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période	185
Tableau 95 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturelles 2011, 2017 et 2021	186
Tableau 96. Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période	188
Tableau 97. Estimation de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en matière sèche (%MS)	191
Tableau 98. Hypothèses de répartition des UGB bovins selon le mode de gestion, temps pâture et volumes de lisier récupérable.....	192
Tableau 99. Tonnages d'intrants en méthanisation en 2021 (hors fraction lisier) et de digestats liquides sortants	193
Tableau 100. Estimation des volumes d'eaux vertes et blanches par vache laitière (VL) par an (en litres / VL / an) en fonction du type de salle de traite et de la taille de l'exploitation. Source : Estimations Citepa d'après [980], [1325] et [1326].....	193
Tableau 101. Estimation du gisement de produits résiduels organiques liquides épandables par tonne en 2021	195
Tableau 102. Nombre de voyages moyen facturés par an selon la capacité de la tonne et l'année d'achat – source : FNCUMA d'après Guide des prix de revient	196
Tableau 103. Parc de tonnes à lisier dans les ETA en 2022 et volumes épandus – source : étude [1330]	197
Tableau 104. Parc matériel par groupe d'épandage et catégorie de matériel en 2021 : n (g, e)	199
Tableau 105. Caractéristiques du parc de tonnes à lisier en Cuma en 2021. Source : FNCUMA	202
Tableau 106. Équations mobilisées pour le calcul des quantités azotées des résidus de récolte	209
Tableau 107 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) – Métropole	211
Tableau 108 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) – Métropole	211

Préambule

Le rapport OMINEA comprend une description détaillée, par secteur émetteur, des méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques (approche utilisée, données sources, hypothèses, facteurs d'émissions, etc.).

Le présent document s'attache à décrire les méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques du secteur **Agriculture**.

En parallèle, les méthodologies détaillées des autres secteurs sont disponibles sur le site internet du Citepa et sont déclinées comme suit :

- OMINEA. Parties générales
- OMINEA. Énergie. Éléments généraux
- OMINEA. Industrie de l'énergie
- OMINEA. Industrie manufacturière
- OMINEA. Transports
- OMINEA. Autres secteurs
- OMINEA. Non spécifiés
- OMINEA. Émissions fugitives des combustibles
- OMINEA. Produits minéraux
- OMINEA. Chimie
- OMINEA. Métallurgie
- OMINEA. Produits non énergétiques des carburants et de l'utilisation de solvants
- OMINEA. Industrie électronique
- OMINEA. Consommation d'halocarbures et SF6
- OMINEA. Autres usages et fabrication de produits
- OMINEA. Autres procédés
- OMINEA. Déchets
- OMINEA. UTCATF
- OMINEA. Autres
- OMINEA. Références & Annexes

Toutes les références et annexes citées dans le présent document font référence au document OMINEA. Références & Annexes évoqué ci-dessus. **Il est conseillé de télécharger ce document en parallèle dans le cadre d'une consultation du présent guide méthodologique.**



Agriculture | Introduction

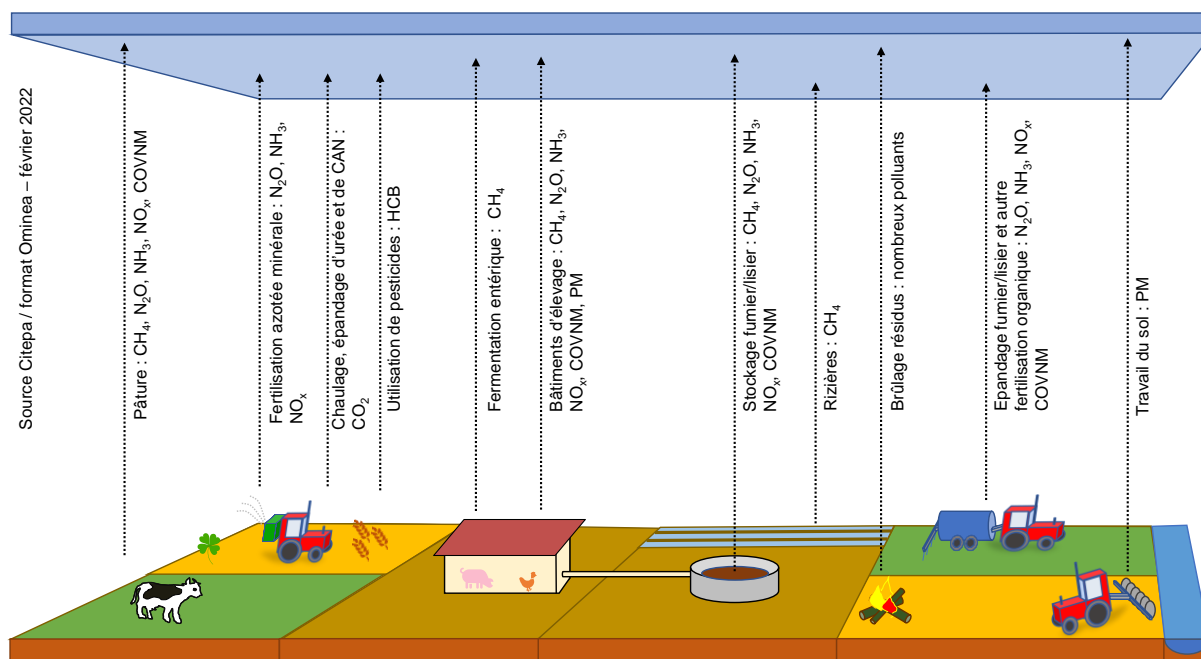
Cette section concerne une grande partie des émissions liées aux activités agricoles. Elle couvre les émissions liées à l'élevage (CH_4 , N_2O , NH_3 , NOx , COVNM, PM), les émissions liées à la fertilisation azotée (N_2O , NH_3 , NOx), les émissions liées à l'utilisation de pesticides (HCB), les émissions liées aux rizières (CH_4), les émissions liées au travail du sol (PM) et les émissions liées au brûlage des résidus agricoles (nombreux polluants). Elle comprend également les émissions de CO_2 liées à l'épandage d'engrais sous forme d'urée ou contenant du carbone (calcium ammonium nitrate) et d'amendements basiques sur les sols agricoles.

Les différents postes d'émission du secteur agricole décrits dans cette partie sont listés ci-dessous et présentés sur le schéma suivant :

- Emissions liées à l'élevage :
 - Fermentation entérique : CH_4
 - Bâtiments d'élevage : CH_4 , N_2O , NH_3 , NOx , COVNM, PM
 - Stockage fumier/lisier : CH_4 , N_2O , NH_3 , NOx , COVNM
 - Epandage fumier/lisier : N_2O , NH_3 , NOx , COVNM
 - Pâture : CH_4 , N_2O , NH_3 , NOx , COVNM
- Emissions liées à la fertilisation (autre que l'épandage des fumiers/lisiers précité) :
 - Fertilisation azotée minérale : N_2O , NH_3 , NOx
 - Autre fertilisation organique comprenant les boues, les composts, les digestats et les déjections importées : N_2O , NH_3 , NOx
- Emissions liées à l'utilisation de pesticides : HCB
- Emissions liées aux rizières : CH_4
- Emissions liées au travail du sol : PM
- Emissions liées au brûlage des résidus de récolte : nombreux polluants
- Emissions de CO_2 liées à l'épandage d'urée, d'engrais contenant du carbone (calcium ammonium nitrate, notés CAN) et d'amendements basiques (chaulage).

NB : le calcul des émissions de CH_4 et de N_2O liées à la gestion des déjections selon les lignes directrices du Giec 2019 regroupe les postes bâtiment et stockage. Ils sont présentés séparément sur le schéma ci-dessous mais les calculs sont effectués en regroupant ces deux postes (voir section « Gestion des déjections animales - 3.B »).

Figure 1 : Postes d'émission et polluants associés en agriculture



Cette section exclut :

- les questions relatives au carbone (des sols et de la biomasse) qui sont traitées dans le secteur UTCATF,
- les émissions liées à l'utilisation d'énergie du secteur agricole, qui sont prises en compte dans le secteur énergie.

Pour un maximum de clarté, cette section présente une partie commune détaillée sur la caractérisation de l'élevage et des cultures car ces données impactent différentes sources d'émission traitées séparément dans les inventaires.

Rédaction : **Anaïs DURAND**, **Jonathan HERCULE**, **Étienne MATHIAS**

Caractéristiques de la catégorie (communes au NID et à l'IIR) :

Système PACRETE pour l'élevage

L'estimation précise des émissions liées à l'élevage est un travail complexe qui nécessite notamment de compiler beaucoup d'informations issues de sources différentes. Un système a donc été mis en place au niveau des inventaires français pour gérer au mieux ces calculs : le système PACRETE (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions aTmosphériques de l'Elevage). Le système PACRETE permet de rassembler des données régionales, issues de différentes sources, sur les effectifs animaux, l'alimentation, les types de bâtiments d'élevage, les pratiques d'épandage des effluents, le temps passé au pâturage, etc. Il permet ensuite de calculer, au niveau régional et de manière cohérente, l'ensemble des émissions liées à l'élevage en métropole. Les explications suivantes font partie intégrante de ce système.

A noter : le système PACRETE est utilisé uniquement pour la France métropolitaine. Pour l'Outre-mer, les méthodes appliquées sont les mêmes mais les calculs sont effectués directement sous Excel.

La réforme des régions françaises

En 2015, la division territoriale de la France a été réformée, prenant effet à compter du 1er janvier 2016. Le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13 (dont la Corse). Le tableau ci-dessous présente les correspondances entre anciennes et nouvelles régions.

Tableau 1 : Correspondances entre anciennes et nouvelles régions

Nouveaux noms		Anciens noms	
11	Ile-de-France	11	Ile-de-France
24	Centre-Val de Loire	24	Centre
27	Bourgogne-Franche-Comté	43	Franche-Comté
		26	Bourgogne
28	Normandie	23	Haute-Normandie
		25	Basse-Normandie
32	Hauts-De-France	22	Picardie
		31	Nord-Pas-de-Calais
44	Grand-Est	21	Champagne-Ardenne
		42	Alsace
		41	Lorraine
52	Pays de la Loire	52	Pays de la Loire
53	Bretagne	53	Bretagne
75	Nouvelle-Aquitaine	54	Poitou-Charentes
		72	Aquitaine
		74	Limousin
76	Occitanie	91	Languedoc-Roussillon
		73	Midi-Pyrénées
84	Auvergne-Rhône-Alpes	82	Rhône-Alpes
		83	Auvergne
93	Provence-Alpes-Côte d'Azur	93	Provence-Alpes-Côte d'Azur
94	Corse	94	Corse

Les calculs d'inventaire dans le système PACRETE sont effectués au niveau des anciennes régions, présentant des périmètres plus petits ce qui permet d'avoir des données à une échelle plus fine. En revanche, cela implique parfois de

retraiter les données d'activité qui, pour certaines d'entre elles, sont désormais disponibles uniquement au périmètre agrégé des nouvelles régions.

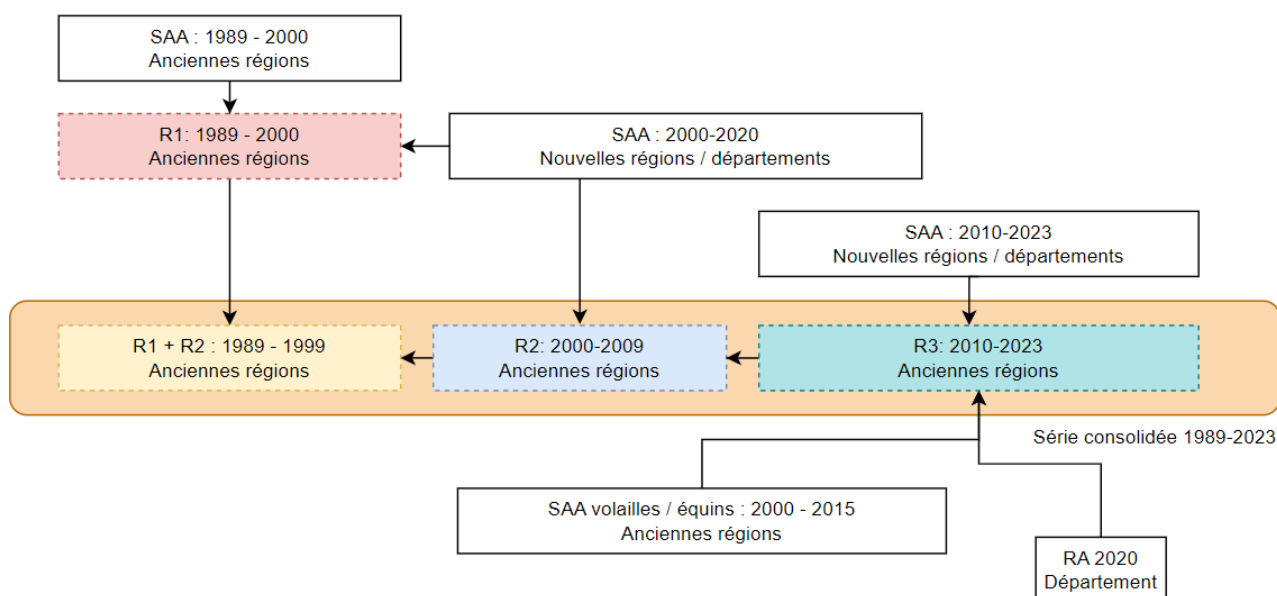
Cheptels

Les données de cheptels utilisées dans le cadre de l'inventaire national proviennent de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410], service statistique du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA). Cette statistique est établie chaque année grâce à des sondages aléatoires sur un échantillon représentatif, et complétée grâce aux informations fournies par les recensements agricoles qui ont lieu sur un pas de temps plus long, tous les 10 ans en France, le dernier ayant eu lieu en 2020. Des sources de données additionnelles sont disponibles pour l'Outre-mer [400, 401, 1037 à 1047, 1139]. Il est important de préciser que, à l'instar de beaucoup de statistiques, le système statistique agricole a évolué au cours du temps. Un travail de mise en cohérence a été effectué, de manière à garantir une catégorisation stable depuis 1980, comme requis par les exigences de rapportage.

Traitement des données

Le schéma ci-dessous représente les différents traitements effectués sur les données de la statistique agricole pour obtenir des séries cohérentes sur la période :

Figure 2 : Récapitulatif des méthodes d'ajustement de la statistique agricole annuelle (SAA)



Les données d'effectifs animaux sont disponibles sous la forme de trois séries : de 1989 à 2000 (jeu « historique 1 »), de 2000 à 2020 (« jeu historique 2 ») et de 2010 à 2023 (jeu « récent »).

Les trois jeux de données sont liés entre eux selon l'année de recouvrement correspondant à une année de recensement agricole (2000, 2010, 2020). Plusieurs types de retraitements peuvent être effectués afin de reconstituer des séries statistiques cohérentes sans rupture de série, de périmètre géographique ou de catégorie animale.

R1 : Mise en cohérence des catégories animales

Un premier retraitement a été effectué dans les cas où les catégorisations animales n'étaient pas identiques entre les deux séries 1989-2000 et 2000-2020, correspondant au « Retraitement R1 » sur le schéma ci-dessus. Si une catégorie animale plus détaillée est disponible dans le jeu de données le plus proche (par exemple, pour les bovins autres que les vaches laitières et les vaches nourrices, la série historique ne donne qu'une valeur "ensemble espèce bovine", tandis que le jeu

2000-2020 fournit 13 catégories bovines différentes hors vaches laitières et nourrices), la répartition des différentes catégories animales de l'année 2000 est appliquée à la valeur agrégée disponible de 1989 à 1999.

R2 : Mise en cohérence des séries temporelles

Un second retraitement, nommé « retraitement R2 » a été effectué pour s'assurer de la cohérence des séries sur la période. Pour une même catégorie animale, à chaque année pivot (2000,2010) si le décalage entre l'ancienne et la nouvelle série est supérieur à 10% le jeu de donnée le plus ancien est corrigé sur la base de l'écart observé l'année pivot. Si l'écart entre l'ancienne et la nouvelle série est inférieur à 10% aucun retraitement n'est effectué et la série historique est conservée.

R3 : Mise en cohérence territoriale

Depuis 2016, le nombre de régions métropolitaines est passé de 22 à 13. Des nouvelles séries statistiques ont été publiées suite à cette modification, couvrant la période de l'année 2000 à l'année en cours. Les catégorisations proposées et les données d'effectifs dans ces nouvelles séries sont identiques à celles de la période 2000-2015. En revanche, le périmètre géographique change.

Les données pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont disponibles par département (échelle territoriale en dessous de celle de la région), ce qui permet de reconstituer les anciennes régions, en agrégeant les départements pertinents. En revanche, pour les équins, volailles et lapins, les données ne sont disponibles qu'au niveau des nouvelles régions. Pour ces catégories, un retraitement, nommé « Retraitement R3 » sur le schéma ci-dessus, a été effectué sur la base des données des anciennes séries SAA (année 2015) ainsi que des données du recensement agricole de 2020. La répartition du cheptel selon les anciennes régions évolue entre 2015 et 2020 pour tendre vers la répartition du recensement agricole puis reste stable entre 2020 et 2023. A noter que certaines régions sont restées stables suite à la réforme territoriale, notamment la Bretagne et les Pays de la Loire, ce dernier retraitement a donc un impact relativement limité sur les calculs d'émission qui suivent.

Cas particulier des porcins :

Pour les porcins, cinq catégories sont distinguées dans la SAA : porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus, truies de 50kg et plus, et verrats de 50kg et plus. Un travail de vérification de la cohérence entre effectifs et productions a été effectué, en comparant la chaîne d'effectifs « porcelets – jeunes porcs de 20 à moins de 50kg – porcs à l'engrais de 50kg et plus » avec les données de productions fournies par la SAA.

Suite à cette analyse, il est apparu que la catégorie « porcelets » proposée dans la SAA pouvait être surestimée, car la statistique est évaluée à un moment précis de l'année, moment durant lequel une catégorie peut être plus représentée qu'une autre du fait des durées différentes passées par stade d'élevage. Le retraitement suivant a été effectué pour refléter au mieux la situation réelle de l'élevage porcin :

La catégorisation proposée par la SAA (porcelets, jeunes porcs de 20 à moins de 50kg, porcs à l'engrais de 50kg et plus) a été abandonnée au profit de la suivante, jugée plus pertinente pour l'application, par la suite, des méthodes d'estimation des émissions : porcelets non sevrés (<8kg), porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg), porcs à l'engrais supérieur à 30kg.

Les données d'effectifs des trois anciennes catégories de la SAA ont été sommées, puis réparties au prorata du temps passé par stade, méthode jugée plus fiable pour répartir les effectifs selon les nouvelles catégories définies. Ces temps passés par stade sont évalués à partir d'un outil développé par l'Institut du porc (IFIP) [759] permettant d'obtenir des courbes de croissance selon les poids d'entrée, de sortie et le gain moyen quotidien. Ces trois paramètres, qui varient depuis 1990, sont tirés des documents de Gestion Technico-économiques qui étaient publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Des valeurs approchées pour 2020 à 2023 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020.

A noter : la part du temps passé par stade ne varie pas fortement au cours du temps. Le temps passé au stade porcelets non sevrés (<8kg) sur la période varie entre 13,2% et 15,2%, celui passé au stade porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg) varie entre 25,5% et 29%, et celui passé au stade porcs à l'engrais supérieur à 30kg varie entre 56,0% et 61,3%.

Tableau 2 : Correspondances entre les catégories SAA et les catégories de l'inventaire pour les porcins

		Catégorisation choisie pour les inventaires*				
		Porcelets non sevrés (<8kg)	Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg)	Porcs à l'engrais supérieur à 30kg	Truies de 50kg et plus	Verrats de 50kg et plus
Catégorisation disponible dans la SAA	Porcelets	13,5%	25,9%	60,6%		
	Jeunes porcs de 20 à moins de 50kg					
	Porcs à l'engrais de 50kg et plus					
	Truies de 50kg et plus				100%	
	Verrats de 50kg et plus					100%

*Les pourcentages d'allocation varient légèrement en fonction de l'année, ici sont présentés les % de 2023

Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_Ominea_3.xls/Repart_Porcins

Tableau 3 : Evolution du cheptel porcin détaillée par catégories fines (Métropole uniquement)

	Porcelets non sevrés (<8kg)	Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg)	Porcs à l'engrais supérieur à 30kg	Truies de 50kg et plus	Verrats de 50kg et plus
1990	1 656 368	3 165 714	6 155 534	1 211 482	64 977
1991	1 685 303	3 203 027	6 220 565	1 250 484	63 419
1992	1 726 208	3 381 927	6 546 366	1 318 557	61 993
1993	1 788 933	3 484 464	6 788 428	1 330 958	58 102
1994	1 850 500	3 486 505	6 995 987	1 353 282	56 618
1995	1 877 752	3 528 967	7 028 417	1 377 027	51 373
1996	1 884 547	3 657 137	7 342 192	1 422 397	48 626
1997	1 928 494	3 670 947	7 480 553	1 461 480	46 149
1998	1 956 664	3 670 524	7 672 421	1 445 856	45 451
1999	1 969 124	3 737 367	7 607 528	1 416 732	41 242
2000	2 001 455	3 792 497	7 699 389	1 416 393	41 070
2001	2 033 048	3 853 244	8 061 568	1 377 798	37 269
2002	2 028 444	3 771 033	8 126 937	1 347 839	34 407
2003	1 998 738	3 723 174	8 062 692	1 303 733	30 850
2004	1 970 532	3 735 046	7 971 266	1 266 606	28 557
2005	1 947 515	3 640 946	7 974 444	1 243 800	26 435
2006	1 908 341	3 612 018	7 944 803	1 228 652	22 492
2007	1 860 148	3 627 126	7 985 985	1 197 926	21 158
2008	1 860 920	3 635 164	7 927 273	1 170 533	21 693
2009	1 841 642	3 513 052	7 836 906	1 148 992	20 135
2010	1 822 851	3 515 122	7 721 556	1 105 064	19 257
2011	1 785 145	3 441 114	7 576 797	1 091 287	18 089
2012	1 773 533	3 377 961	7 493 490	1 059 195	17 562
2013	1 731 858	3 279 945	7 404 291	1 029 961	16 724
2014	1 709 691	3 234 647	7 343 007	1 022 297	15 926
2015	1 634 759	3 169 759	7 390 641	1 003 739	15 486
2016	1 569 098	3 035 191	7 110 702	971 492	14 501
2017	1 607 328	3 105 320	7 321 063	980 181	14 405
2018	1 652 443	3 188 590	7 564 792	999 538	14 142
2019	1 635 379	3 151 856	7 524 604	960 290	13 138
2020	1 634 563	3 146 517	7 558 836	952 435	13 199
2021	1 588 766	3 063 858	7 295 927	919 580	12 111
2022	1 526 669	2 941 384	6 874 630	869 502	11 994

	Porcelets non sevrés (<8kg)	Porcelets post sevrés (entre 8 et 30kg)	Porcs à l'engrais supérieur à 30kg	Truies de 50kg et plus	Verrats de 50kg et plus
2023	1 480 680	2 852 778	6 667 540	856 491	10 953

Ainsi, les différents retraitements effectués permettent de garantir une catégorisation stable depuis 1990, détaillée en 42 catégories, qui sont généralement agrégées par grandes catégories :

Tableau 4 : Catégories et sous-catégories de l'inventaire

Catégories et sous-catégories de l'inventaire	
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
Truies de 50 kg et plus	
Autres porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)
	Verrats de 50 kg et plus
	Porcs à l'engrais (>30kg)
Caprins	Chevrettes
	Chèvres (femelles ayant mis bas)
	Autres caprins (y compris boucs)
Ovins	Agnelles
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)
	Brebis mères laitières (y c. réforme)
	Autres ovins (y compris béliers)
Chevaux	Chevaux de selle, sport, loisirs et course
	Chevaux lourds
Mules et ânes	Anes, mulets, bardots
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir
	Poules pondeuses d'œufs de consommation
	Poulettes
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)
	Canards à gaver
	Canards à rôtir
	Dindes et dindons (au 1er octobre)
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)
	Pintades
	Cailles d'élevage
Autres	Lapines reproductrices
	Cervidés d'élevage (uniquement en Nouvelle-Calédonie)

Il faut noter que cette catégorisation, à partir de laquelle les calculs sont effectués au sein de PACRETE, est plus fine que les catégories CRT/NFR. Cela pourra être à l'origine de variations des facteurs d'émission agrégés d'une année sur l'autre au niveau des catégories CRT/NFR, car les proportions des effectifs des catégories fines peuvent varier au sein d'une catégorie agrégée CRT/NFR.

Tableau 5 : Cheptels bovins, porcins, ovins et caprins au périmètre UE sur la période d'inventaire

	Vaches laitières	Autres bovins	Truies	Autres porcins	Ovins	Caprins
1990	5 309 879	16 392 078	1 233 586	11 205 908	11 384 979	1 348 132
1991	5 030 532	16 363 884	1 270 961	11 332 781	11 017 582	1 335 258
1992	4 762 044	16 171 161	1 340 987	11 870 591	10 733 663	1 301 735
1993	4 639 292	16 083 874	1 351 460	12 265 978	10 466 951	1 275 286
1994	4 611 989	16 119 571	1 371 354	12 526 258	10 383 982	1 258 585
1995	4 521 433	16 300 374	1 392 962	12 610 299	10 265 394	1 297 953
1996	4 431 081	16 375 980	1 438 057	13 056 574	10 145 029	1 313 402
1997	4 322 610	16 180 842	1 476 260	13 242 930	9 961 033	1 301 912
1998	4 263 985	16 083 477	1 460 011	13 462 441	9 847 474	1 302 584
1999	4 222 968	16 128 007	1 430 352	13 473 300	9 705 361	1 298 311
2000	4 329 724	17 248 248	1 435 287	13 649 195	9 556 533	1 301 506
2001	4 344 205	17 121 177	1 396 369	14 100 071	9 430 831	1 324 695
2002	4 272 449	16 472 076	1 365 207	14 078 858	9 337 786	1 331 165
2003	4 123 155	15 888 784	1 321 096	13 940 435	9 293 082	1 334 257
2004	4 040 611	15 709 651	1 282 721	13 831 265	9 190 433	1 328 786
2005	3 979 348	15 671 953	1 258 950	13 700 373	9 111 179	1 339 985
2006	3 888 099	15 877 914	1 242 824	13 590 369	8 864 245	1 354 031
2007	3 876 334	16 091 593	1 211 984	13 599 355	8 564 694	1 352 703
2008	3 856 380	16 301 467	1 184 525	13 551 057	8 162 759	1 363 423
2009	3 747 898	16 226 642	1 162 782	13 318 012	8 062 526	1 419 347
2010	3 718 892	15 853 082	1 116 766	13 170 354	7 958 553	1 449 110
2011	3 666 660	15 437 741	1 103 066	12 912 391	7 652 960	1 398 474
2012	3 645 708	15 379 588	1 070 750	12 753 285	7 466 003	1 329 700
2013	3 699 742	15 415 972	1 041 248	12 520 513	7 260 746	1 308 534
2014	3 700 961	15 567 846	1 033 742	12 393 251	7 215 663	1 303 508
2015	3 663 695	15 743 282	1 014 981	12 299 066	7 111 295	1 283 370
2016	3 636 812	15 736 642	983 378	11 823 096	7 102 837	1 269 650
2017	3 596 600	15 356 926	991 884	12 140 651	6 970 278	1 293 321
2018	3 554 390	15 072 036	1 010 794	12 509 845	7 104 917	1 324 384
2019	3 490 506	14 682 137	971 747	12 418 025	7 029 488	1 325 675
2020	3 405 444	14 409 343	964 632	12 442 808	6 968 945	1 415 580
2021	3 324 720	14 002 647	931 950	12 050 813	6 920 199	1 393 663
2022	3 233 724	13 758 289	881 070	11 442 993	6 665 875	1 378 366
2023	3 164 773	13 619 744	867 982	11 098 112	6 623 502	1 343 626

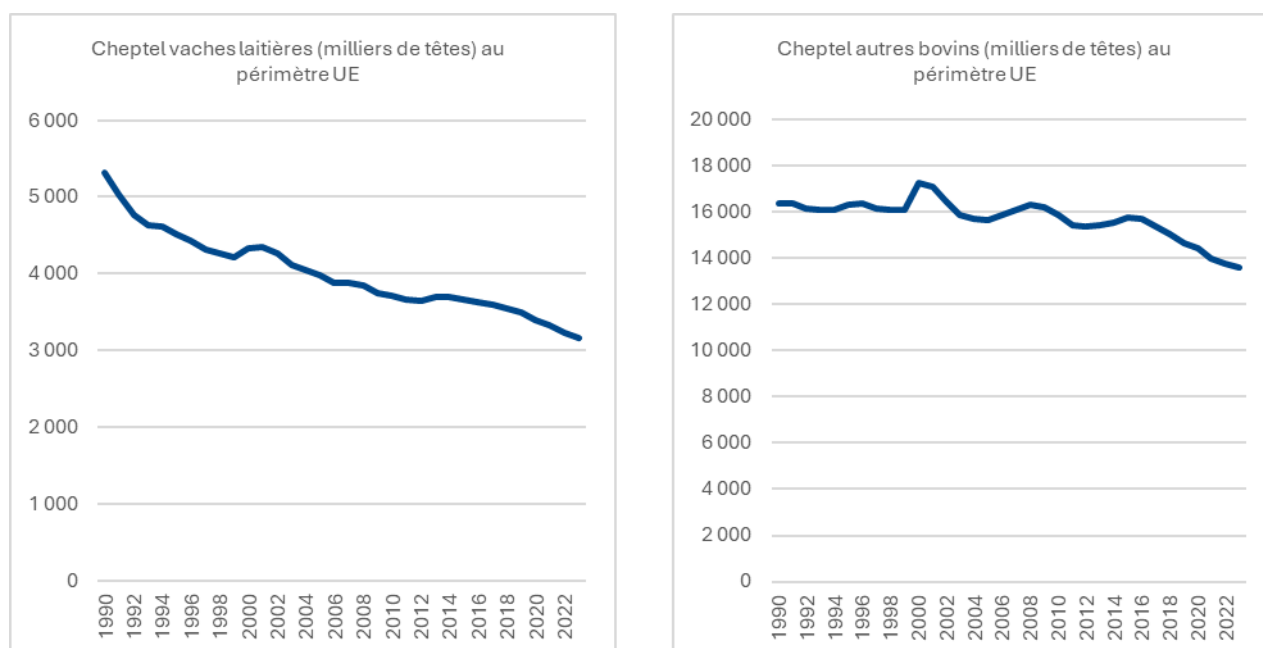
Tableau 6 : Cheptels équins, volailles et lapines au périmètre UE sur la période 1990-2021

	Chevaux	Mules et ânes	Poules	Poulets	Autres volailles	Lapines reproductrices
1990	235 318	12 489	74 062 523	126 227 069	68 620 858	2 191 756
1991	239 591	12 988	75 169 139	129 299 796	70 857 233	2 144 889
1992	244 931	13 343	76 920 231	130 260 931	73 534 659	2 172 623
1993	252 324	14 531	75 486 305	136 253 406	75 533 971	2 023 756
1994	258 313	15 248	75 452 721	137 307 051	77 302 101	1 816 856
1995	268 085	16 797	78 118 971	135 300 744	80 810 845	1 685 623

	Chevaux	Mules et ânes	Poules	Poulets	Autres volailles	Lapines reproductrices
1996	276 112	18 629	78 275 282	141 333 341	81 615 923	1 639 056
1997	287 880	20 029	79 589 741	144 918 741	83 564 644	1 534 056
1998	295 899	21 675	80 833 902	145 718 141	84 667 714	1 481 746
1999	303 599	25 240	79 993 517	137 345 294	84 494 974	1 466 796
2000	318 206	27 942	78 414 617	129 872 215	84 821 628	1 388 732
2001	318 852	29 221	79 911 617	133 350 809	87 892 665	1 339 106
2002	332 219	29 464	79 577 617	131 519 404	85 988 702	1 300 056
2003	333 671	30 692	78 684 617	134 593 999	81 587 739	1 202 056
2004	335 817	30 798	75 726 617	130 575 626	76 937 778	1 184 556
2005	335 902	31 051	75 369 044	128 786 315	73 856 160	1 129 416
2006	332 834	31 140	72 875 470	124 003 004	75 522 543	1 053 556
2007	333 798	30 391	73 855 896	130 961 693	76 354 925	1 061 556
2008	335 189	29 714	75 517 322	134 718 383	74 224 307	1 012 556
2009	336 117	29 851	76 861 748	140 326 072	71 224 689	893 556
2010	338 818	30 484	78 160 174	143 981 761	70 695 071	878 556
2011	341 362	30 687	73 209 707	150 282 114	70 909 892	855 591
2012	331 552	29 173	77 262 240	152 651 466	68 918 713	808 226
2013	326 317	28 813	84 922 773	154 668 819	67 338 533	778 920
2014	324 422	26 957	86 002 306	154 508 171	68 721 354	772 613
2015	317 410	26 456	86 325 839	157 907 524	69 263 175	750 307
2016	302 513	25 433	86 345 372	156 414 876	65 525 996	675 000
2017	299 788	24 625	86 844 423	155 946 909	63 234 912	622 000
2018	297 754	23 813	82 571 473	154 689 942	64 202 828	579 000
2019	293 186	23 072	81 863 524	153 866 974	62 706 745	521 000
2020	290 857	21 259	84 432 575	154 589 007	57 726 661	427 000
2021	291 613	21 141	87 295 575	151 257 007	54 124 661	415 000
2022	296 408	20 908	87 452 575	143 586 007	43 226 661	391 000
2023	302 216	21 300	84 593 575	136 291 007	43 661 661	378 000

Evolution des cheptels sur la période

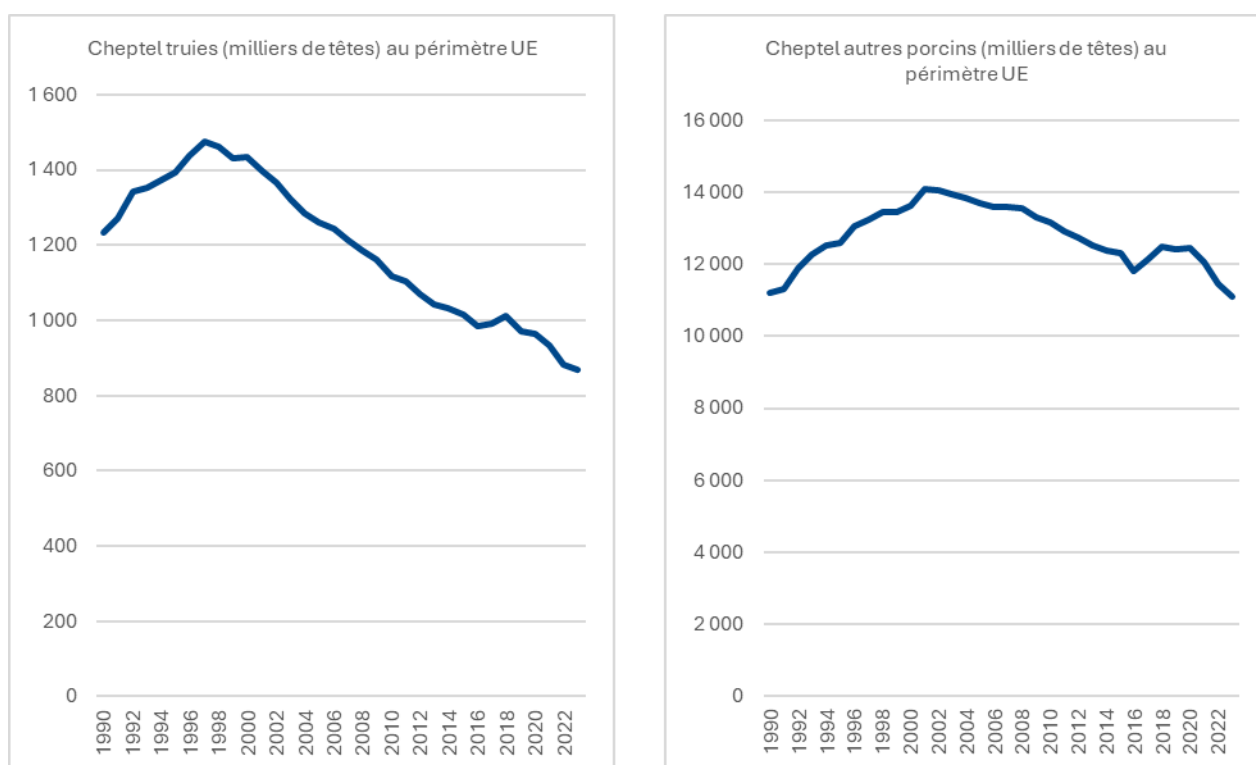
Figure 3 : Evolution des cheptels bovins au périmètre UE



Depuis la mise en place des quotas laitiers en 1984, le cheptel des vaches laitières en France est en diminution progressive. Le troupeau est en revanche de plus en plus performant, ce qui permet le maintien de la production de lait sur la période. D'après l'Idele, la suppression des quotas laitiers en 2015 n'a eu qu'un effet conjoncturel de rétention des vaches par les éleveurs sur les deux années qui l'ont précédée. La dynamique de décroissance a repris ensuite en raison d'une incitation à produire limitée par les opérateurs d'aval mais également d'un manque de main d'œuvre dans les exploitations laitières. En effet, on a assisté ces dernières années à une accélération de la baisse du nombre de chefs d'exploitation sans augmentation du nombre de salariés.

Pour les effectifs d'autres bovins, on assiste, depuis l'année 2000, à une légère érosion des effectifs qui s'accroît sur les dernières années. L'Idele indique que l'accélération de la décapitalisation en vaches allaitantes est notamment liée au manque de rentabilité de l'activité au regard du travail et du capital engagés. Les cessations de plus en plus nombreuses du fait du vieillissement de la population ne sont plus compensées par des installations qui elles sont tout juste stables. En outre, de moins en moins de vaches libérées par les uns sont reprises par les autres, la dynamique de croissance des troupeaux touchant ses limites en termes de travail, d'autonomie alimentaire, et de sens du métier. Ainsi, la tendance générale constatée en bovins est une décapitalisation progressive du cheptel qui devrait se poursuivre dans les prochaines années.

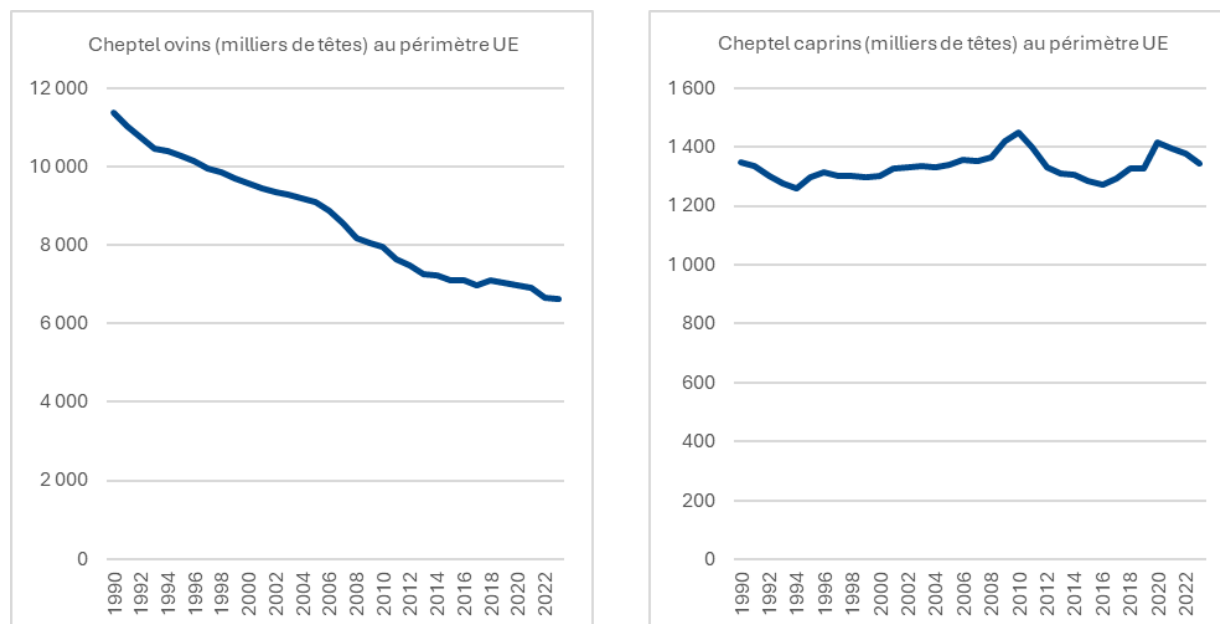
Figure 4 : Evolution des cheptels porcins au périmètre UE



Le début de la période est marqué par une production porcine dynamique, avec la création de nombreux élevages modernes et performants. Cette forte croissance s'est vue stoppée à la fin des années 90, en lien d'après l'IFIP, avec le développement des mesures de protection de l'environnement décidées dans le cadre de l'application de la directive Nitrates. La baisse du cheptel des truies amorcée dès 1998, entraîne une baisse du cheptel des autres porcins qui est cependant amoindrie du fait d'une amélioration de la productivité des truies. Puis, cette diminution des cheptels porcins s'est accélérée à partir de 2008, en lien d'après l'IFIP avec une perte de rentabilité des élevages liée à la flambée des prix des matières premières et d'un prix du porc sous pression avec la fermeture du marché russe (fin 2014) et la croissance de la production en Allemagne et en Espagne. La structure des élevages a beaucoup évolué sur la période, avec la disparition progressive des petits élevages de moins de 100 porcs. Un début de relance s'est amorcé depuis 2017, probablement du fait des bonnes conjonctures de 2016 et 2017 qui ont pu ralentir le rythme des arrêts d'activité, et d'un certain retour à l'investissement noté en 2017. En 2019, le contexte est favorable pour les éleveurs français avec un prix mondial du porc

qui s'inscrit en forte hausse en lien avec la fièvre porcine africaine qui a décimé près de la moitié du cheptel chinois. En 2020-2021, la pandémie de Covid-19 perturbe les marchés exports et le débouché restauration hors domicile (RHD). En 2022-2023 le cheptel porcin se replie dans un contexte de forte hausse des coûts de production (guerre en Ukraine), d'une réduction de la demande intérieure et d'une contraction des exportations vers la Chine.

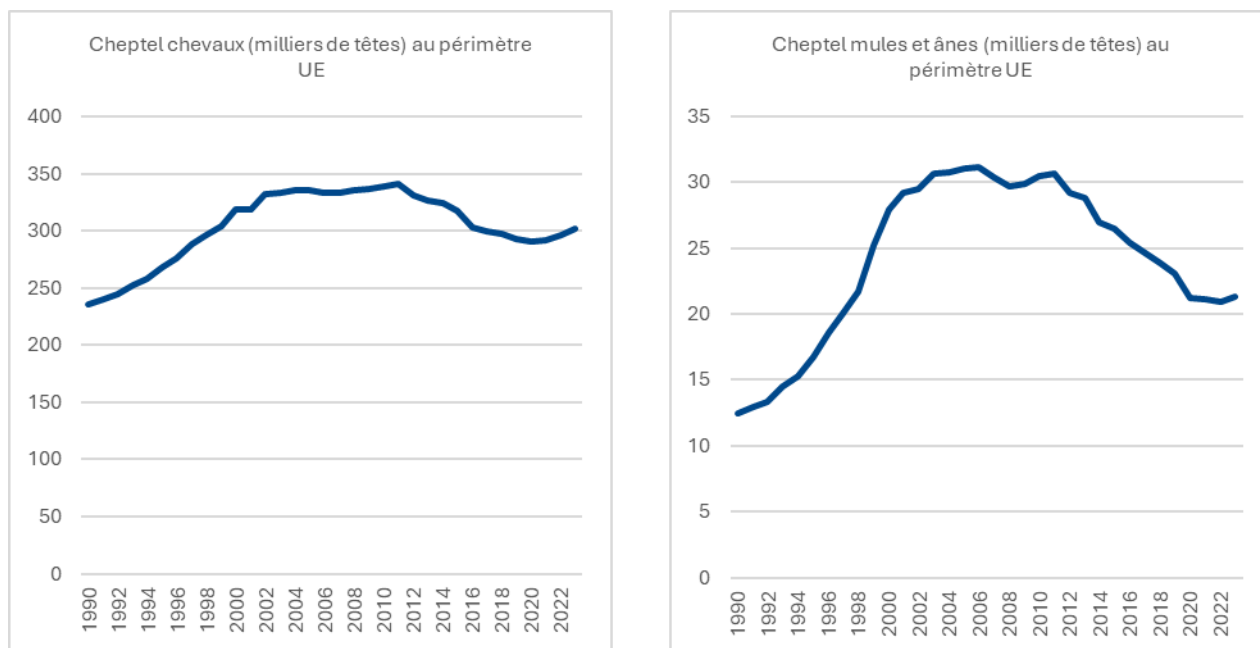
Figure 5 : Evolution des cheptels ovins et caprins au périmètre UE



Le cheptel ovien n'a cessé de baisser depuis 1990. Cette baisse peut s'expliquer par les crises sanitaires subies par la filière (fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001 ; fièvre catarrhale ovine en 2008-2009), mais aussi par des facteurs économiques et climatiques (sécheresse en 2003 et en 2011 affectant les pâturages, hausse des coûts de l'alimentation, cours de l'agneau plus ou moins élevé). Tout cela pousserait certains éleveurs à privilégier d'autres filières agricoles plus rémunératrices.

Concernant le cheptel caprin, il est relativement stable sur la période. Le pic constaté en 2010 s'explique par la mise en place d'un plan de pérennisation de la filière et d'une reprise de la collecte par les entreprises de transformation. Après ce pic, ces entreprises ont souhaité maîtriser la collecte, entraînant alors la réduction du cheptel. S'ajoute à ce moment-là la crise du lait de chèvre : la consommation des ménages se replie du fait de la crise économique, entraînant des disponibilités trop importantes de lait de chèvre faisant alors chuter son prix. Parallèlement, les mauvaises conditions climatiques entre 2010 et 2013 affectent la production de fourrages, poussant les éleveurs à acheter plus d'aliments composés à prix élevés, impactant directement leur revenu. Entre 2016 et 2020, le cheptel repart à la hausse du fait d'une amélioration de la conjoncture puis reprend une dynamique baissière en 2021 dans un contexte de coûts de production élevés (prix de l'aliment, guerre en Ukraine).

Figure 6 : Evolution des cheptels équins au périmètre UE



En plein essor jusque dans les années 2000, le cheptel équin a vu sa croissance ralentir principalement du fait d'un contexte économique difficile. La production de chevaux subit une diminution importante, et entre 2013 et 2020, les activités équestres sont également en baisse avant d'amorcer une reprise sur la période récente.

Figure 7 : Evolution des cheptels poules et poulets au périmètre UE

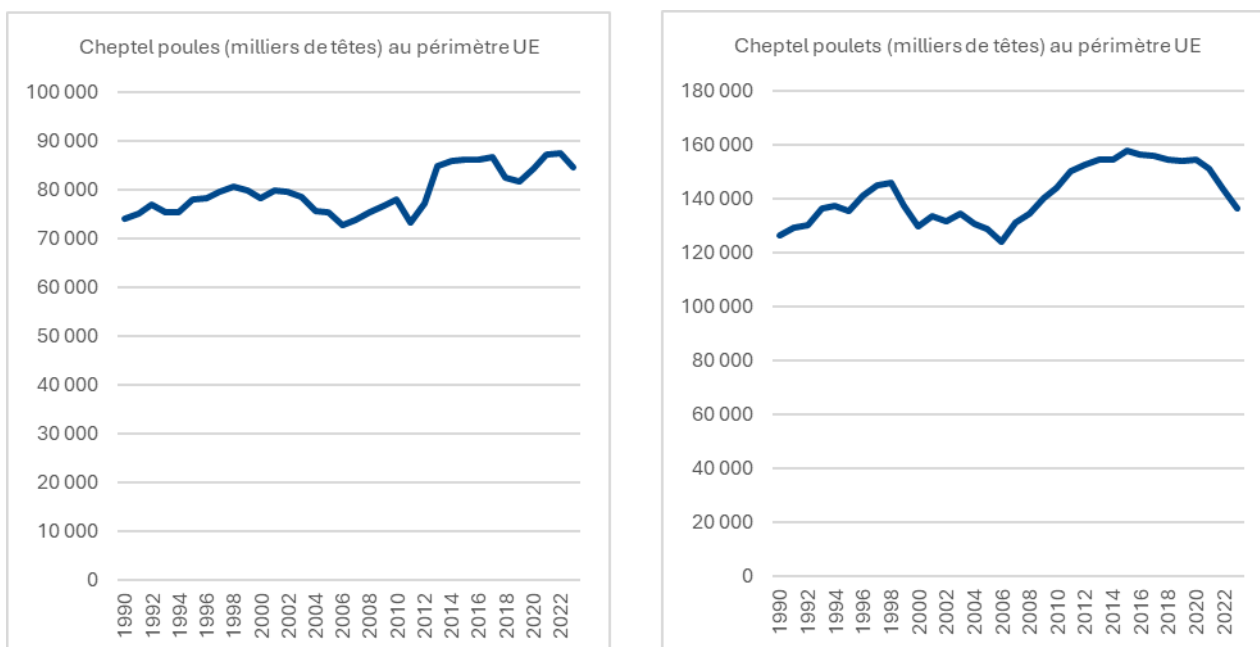
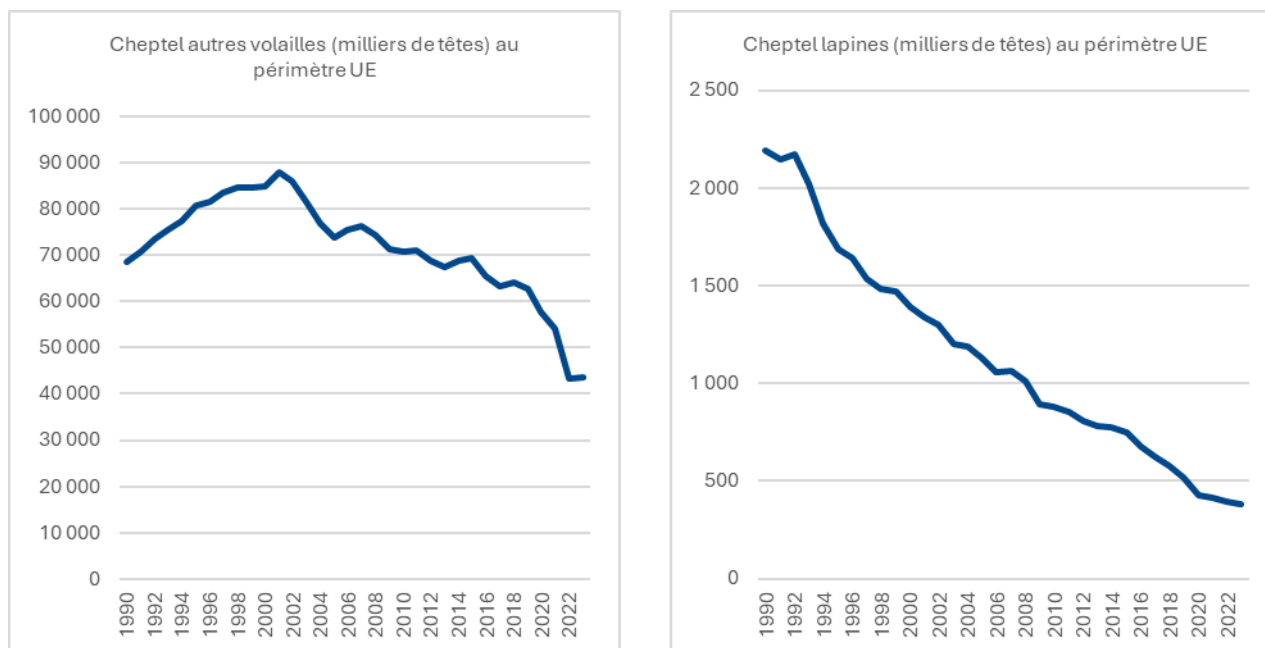


Figure 8 : Evolution des cheptels autres volailles et lapines au périmètre UE



Entre 1990 et 2012, le cheptel des poules pondeuses est relativement stable et majoritairement élevé en cages. L'application, en 2012, de la directive 1999/74/CE visant à une mise aux normes des élevages de poules pondeuses en cage s'est déroulée rapidement en France et a été l'occasion pour de nombreux éleveurs d'agrandir leurs élevages. Ceci explique le recul du cheptel en 2012 et la hausse en 2013. Depuis 2013, la filière ponte voit évoluer ses modes d'élevage avec un repli des effectifs en cage au profit des autres segments (sol, plein-air, label rouge et bio). Depuis 2016, on observe une accélération de cette transition des modes d'élevage de pondeuses qui s'accompagne d'une hausse de production. En 2022, le secteur ponte est lourdement affecté par une crise influenza aviaire dans un contexte déjà marqué par la hausse des coûts de production. En 2023, la production d'œufs a repris bien que des cas d'influenza aviaire aient été recensés en début d'année.

Les effectifs de poulets de chair sont en hausse, depuis les années 60 en lien avec un développement du marché intérieur et de l'export vers les marchés européens. À la fin des années 90, la France est concurrencée sur son débouché export du fait d'un déficit de compétitivité vis-à-vis d'acteurs émergents tels que le Brésil ou la Thaïlande qui approvisionnent de plus en plus les marchés européens en produits à droits de douane réduits (viandes saumurées, préparations cuites). Le cheptel s'inscrit ainsi en repli entre 1998 et 2006. À partir de 2006, les exportations d'entiers congelés progressent vers les pays du Proche et Moyen Orient (Arabie Saoudite notamment) et contribuent à faire progresser le cheptel malgré une hausse conjointe des importations. La fin des restitutions aux exportations (qui consistent à compenser la différence entre les prix communautaires et les prix mondiaux en subventionnant l'exportation de certains produits agricoles) décidée en 2013, engendre un net recul de cette filière dite du « grand export ». La stabilité du cheptel entre 2013 et 2020 masque des mutations entre repli du poulet léger (pour l'export), stratégie de reconquête du marché national en déficit de compétitivité sur la découpe et montée en gamme des produits (bien-être animal). En 2020, la production de poulet résiste à la pandémie de Covid-19 qui affecte surtout le marché RHD (Restauration Hors Domicile) fortement importateur de poulet origine UE. Le cheptel se stabilise en 2021 malgré la reprise de consommation post-covid, la filière française étant concurrencée par des importations UE. En 2022, le cheptel s'inscrit à la baisse dans un contexte marqué par l'influenza aviaire et le maintien d'une pression concurrentielle à l'import. En 2023, le cheptel se stabilise.

La dinde constitue le principal moteur des évolutions pour la catégorie autres volailles. Le repli observé depuis les années 2000 s'explique d'abord par le net recul des exportations sur la période 2000-2006 vers l'Allemagne, puis vers l'Espagne depuis 2006, les deux pays ayant développé leur production intérieure. Entre 2021 et 2023, la production de dinde continue de se replier.

Le cheptel de palmipèdes fait quant-à-lui face à des épizooties successives d'influenza aviaire depuis 2015 orchestrant un recul du cheptel qui se poursuit jusqu'en 2022. En 2020, les filières canard à rôti, canard gras, pintades et petites volailles (pigeons, cailles...) ont été durement affectées par la pandémie de Covid-19 et la fermeture des débouchés en RHD et à l'export. En 2023, le cheptel de palmipède se redresse par rapport aux précédentes années.

La filière cunicole française est en repli depuis de nombreuses années en lien avec un repli de la consommation par habitant. À cette tendance de déconsommation progressive s'ajoutent des épisodes fréquents de crises sanitaires depuis 2016, avec la résurgence de la maladie hémorragique virale du lapin (VHD) qui fragilisent la filière.

Systèmes de gestion des déjections animales

Les enquêtes

L'étude des Systèmes de Gestion des Déjections Animales (SGDA) permet d'obtenir des données essentielles pour la réalisation des inventaires notamment :

- les temps passés en bâtiment et à l'extérieur (pâturages, parcours),
- la répartition des effluents entre systèmes (fumier, lisier, litière accumulée).

Ces informations sont en grande partie issues des enquêtes bâtiments d'élevage [480] et des enquêtes pratiques d'élevage [980] réalisées périodiquement par le service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture.

Ces enquêtes sont réalisées par visite d'un enquêteur dans les élevages et portent notamment sur le mode de construction des bâtiments, le mode de logement, les caractéristiques des ouvrages de stockage des déjections, etc. Les résultats de ces enquêtes fournissent ainsi la représentativité des différents modes de stabulation et types de sol pour les différentes catégories animales.

Les enquêtes bâtiment couvrent les années 1994, 2001 et 2008. Elles concernent les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et sont disponibles à l'échelle des anciennes régions. L'enquête pratiques d'élevage couvre l'année 2015 et s'inscrit dans la continuité de ces enquêtes bâtiment. Elle a été renommée car les aspects couverts sont plus larges (alimentation des animaux, pratiques sanitaires, soins aux animaux, main d'œuvre). Elle concerne les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et est disponible à l'échelle des nouvelles régions.

A noter : en complément de ces enquêtes, certaines données issues du Recensement agricole 2020 [1249] ont également été mobilisées. En particulier, ont été intégrées les données concernant les effectifs en plein-air intégral pour les vaches laitières et allaitantes.

Traitement des données sur les systèmes de gestion

La méthodologie de traitement des données disponibles sur les systèmes de gestion des déjections animales est détaillée en annexe « A.1 Systèmes de gestion des déjections animales (SGDA) ».

Les résultats obtenus

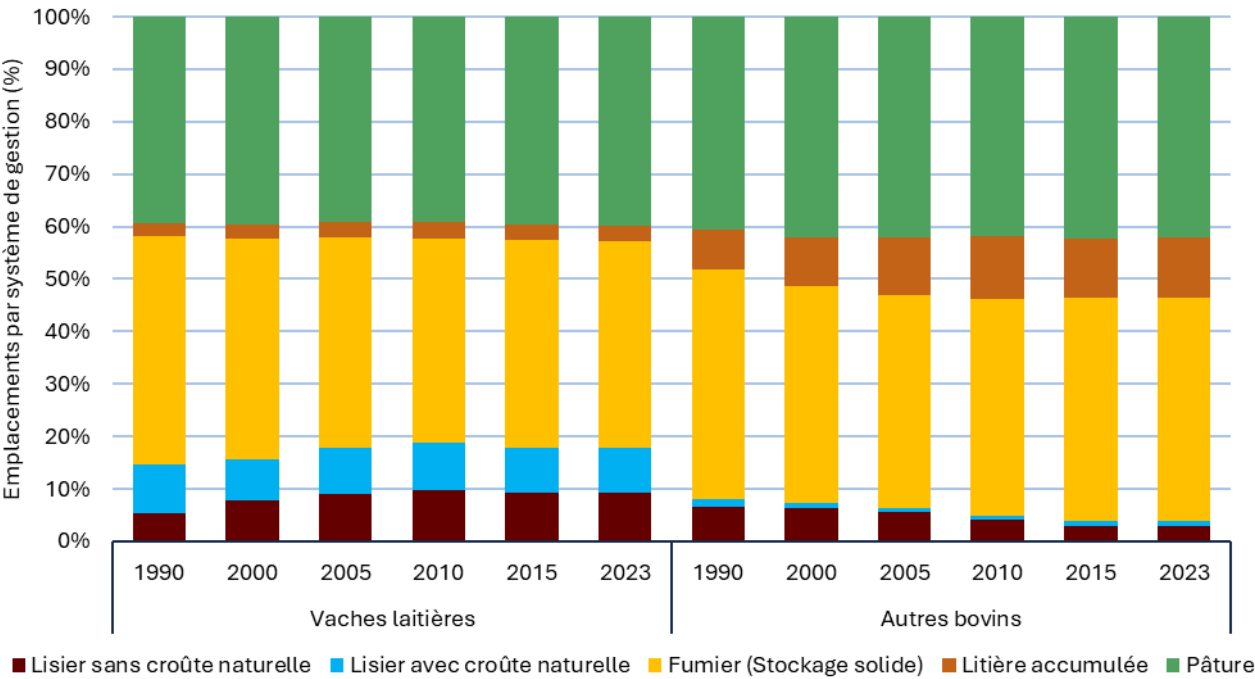
Pour les bovins, 5 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

- Lisier sans croûte naturelle ;
- Lisier avec croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Litière accumulée : pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins ;
- Pâturage.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées.

Tableau 7 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	Pâturage
Vaches laitières	1990	5,4%	9,4%	43,5%	2,4%	39,4%
	2000	7,7%	7,9%	42,0%	2,7%	39,7%
	2005	9,1%	8,7%	40,0%	3,0%	39,2%
	2010	9,7%	9,2%	38,9%	3,1%	39,1%
	2015	9,3%	8,6%	39,5%	3,0%	39,6%
	2023	9,3%	8,6%	39,4%	3,0%	39,8%
Autres bovins	1990	6,6%	1,4%	43,8%	7,6%	40,6%
	2000	6,3%	1,0%	41,3%	9,4%	42,0%
	2005	5,6%	0,9%	40,5%	11,0%	42,1%
	2010	4,0%	0,9%	41,2%	11,9%	41,9%
	2015	2,8%	1,1%	42,4%	11,4%	42,2%
	2023	2,8%	1,1%	42,6%	11,4%	42,0%



Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

Figure 9 : Répartition entre types d'effluents pour les bovins (périmètre UE)

Pour les autres animaux, 3 systèmes de gestion des déjections sont distingués :

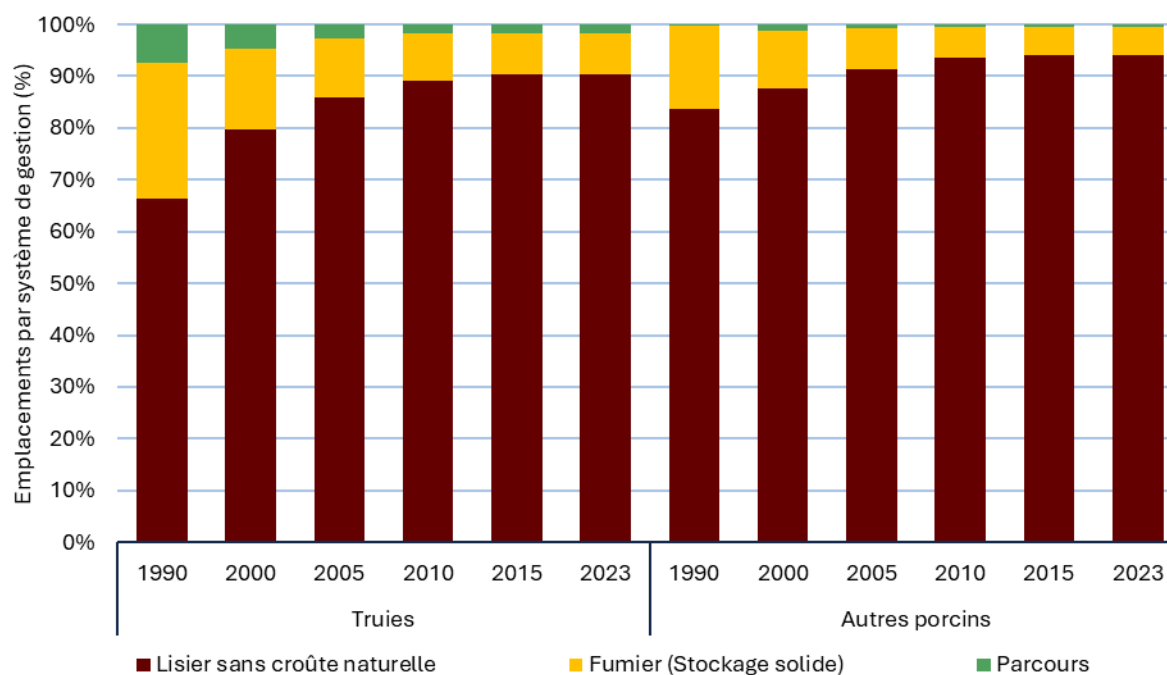
- Lisier sans croûte naturelle ;
- Fumier (stockage solide) ;
- Pâturage/parcours.

Ne disposant pas de données spécifiques aux DOM COM, les données de la métropole sont utilisées, à l'exception des cervidés d'élevage (uniquement en Nouvelle-Calédonie, considérés 100% à la pâture).

Tableau 8 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours
Truies	1990	66,4%	26,1%	7,5%
	2000	79,7%	15,6%	4,7%
	2005	85,8%	11,5%	2,7%
	2010	89,1%	9,3%	1,6%
	2015	90,3%	8,1%	1,6%
	2023	90,4%	8,0%	1,6%
Autres porcins	1990	83,7%	16,0%	0,3%
	2000	87,7%	11,2%	1,1%
	2005	91,2%	7,9%	0,8%
	2010	93,5%	6,0%	0,5%
	2015	94,1%	5,4%	0,5%
	2023	94,1%	5,3%	0,5%

Figure 10 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins (périmètre UE)



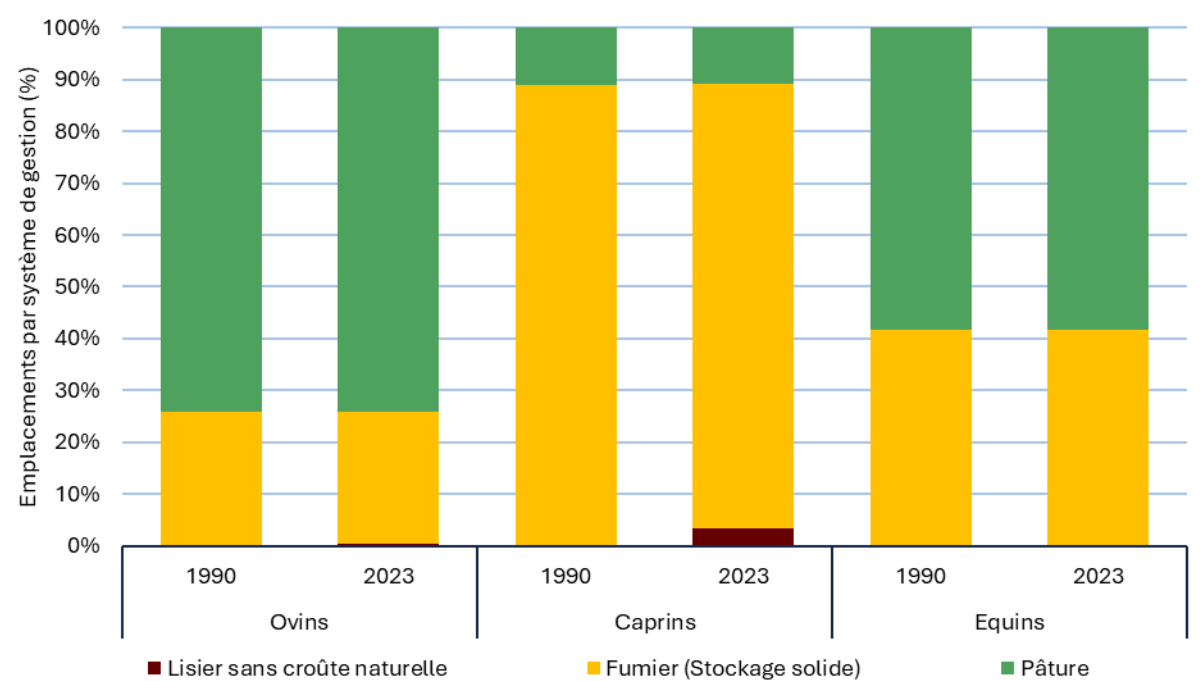
Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

Tableau 9 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Pâturage
Ovins	1990	0,0%	25,9%	74,1%
	2023	0,3%	25,5%	74,2%
Caprins	1990	0,0%	89,0%	11,0%
	2023	3,3%	85,8%	10,8%
Équins	1990	0,0%	41,7%	58,3%
	2023	0,0%	41,7%	58,3%

Figure 11 : Répartition des systèmes de gestion des déjections ovins, caprins, équins (périmètre UE)



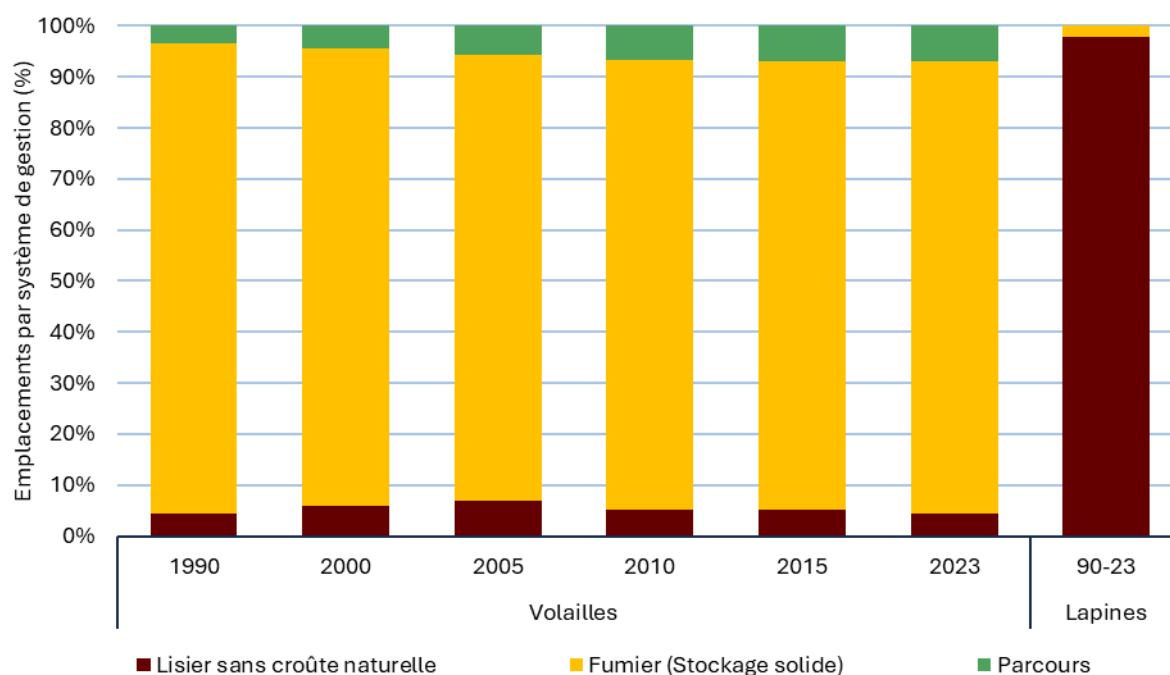
Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

Tableau 10 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours
Volailles	1990	4,5%	92,0%	3,5%
	2000	6,0%	89,7%	4,3%
	2005	6,9%	87,4%	5,7%
	2010	5,2%	88,1%	6,7%
	2015	5,2%	87,8%	7,0%
	2023	4,3%	88,8%	6,9%
Lapines	90-23	98,0%	2,0%	0,0%

Figure 12 : Répartition des systèmes de gestion des déjections volailles et lapines (périmètre UE)



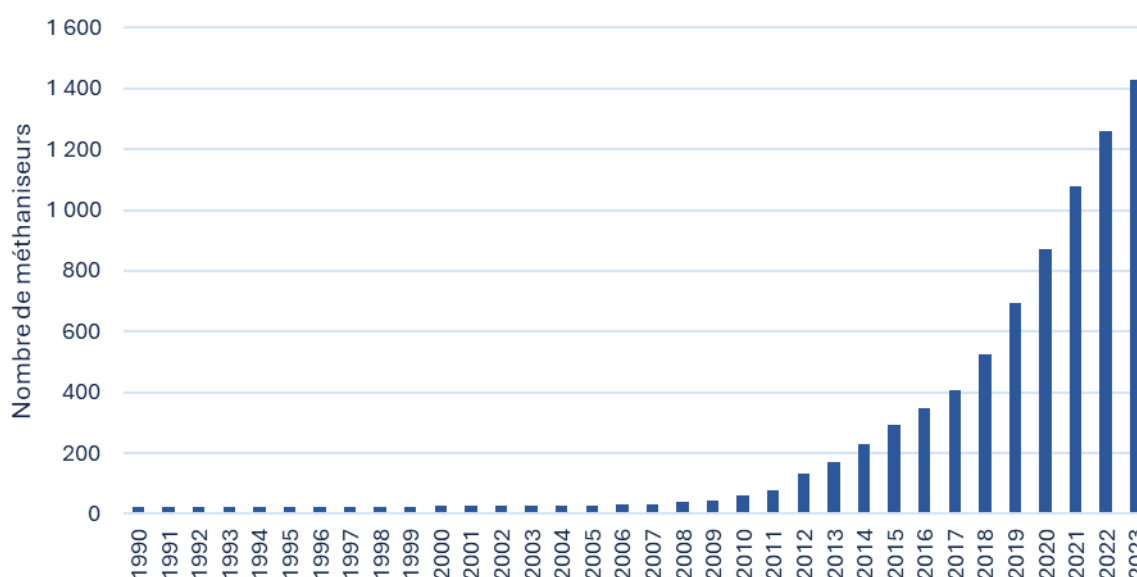
Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

Méthanisation agricole

La méthanisation agricole se développe en France de façon importante depuis les quinze dernières années (Figure 13). La base de données SINOE de l'Ademe [798] (<https://www.sinoe.org/>), qui permet de suivre le nombre de méthaniseurs en activité par mode de gestion, dénombre 1 428 méthaniseurs agricoles (à la ferme + centralisés) en 2023. Les activités de méthanisation affectent les émissions au niveau de la gestion des déjections et au niveau de l'épandage des digestats. Afin d'intégrer ces effets dans l'inventaire, l'objectif est d'établir un suivi des intrants valorisés en méthanisation à l'échelle régionale pour en déduire des quantités d'effluents méthanisés et des quantités de digestats épandus.

Figure 13 : Evolution du nombre de sites de méthanisation agricole en France



Mode de calcul des quantités et du type d'intrants méthanisés

La quantité totale d'effluents d'élevage méthanisés est estimée sur la base du nombre de méthaniseurs agricoles en activité par mode de gestion en mobilisant la base de données SINOE [798] d'une estimation du tonnage d'intrant moyen par méthaniseur.

Les tonnages d'intrants moyens par méthaniseur sont calculés à l'échelle régionale sur la base de données régionales (Observatoires de la méthanisation, DREAL, chambres d'agriculture, ADEME...) ou à partir d'une base de données partielle, constituée au Citepa, méthaniseur par méthaniseur pour la quantité d'effluents d'élevage (données constructeur, déclarations ICPE, communication professionnelle...) pour la période 1990-2020 (525 méthaniseurs). Lorsque qu'elles existent les sources qui fournissent des quantités d'intrants spécifiques à partir d'enquêtes régionales sur les installations de méthanisation sont privilégiées, toutefois ces données étant parfois partielles ou incomplètes par rapport aux besoins de l'inventaire, des traitements complémentaires ont été apportés.

Les différentes sources mobilisées pour le calcul de la ration sont listées au niveau du tableau suivant :

Tableau 11 : Sources de données régionales mobilisées pour l'estimation des quantités d'intrants méthanisés

Région	Source	Année	Référence
Auvergne-Rhône-Alpes	DREAL AURA	2020 - 2022	[1236]
Bourgogne-Franche-Comté	ADEME	2019	[1158]
Bretagne	Association AILE	2021 - 2023	[1237]
Centre-Val de Loire	Citepa	2020	
Grand Est	Ademe	2020 - 2022	[1336]
Hauts de France	Citepa	2020	
Ile-de-France	AREC IDF	2022	[1239]
Normandie	Chambre d'agriculture Normandie, Biomasse Normandie	2020, 2023	[1240], [1335]
Occitanie	Citepa	2020	
PACA	Citepa	2020	
Pays de la Loire	Association AILE, DREAL PDL	2019 - 2023	[1159], [1241]

Région	Source	Année	Référence
Nouvelle-Aquitaine	AREC NA	2017-2021	[1168]

Une ration d'un méthaniseur moyen est donc établie à l'échelle régionale avant d'obtenir une ration nationale (Figure 14 & Figure 15). Lorsque l'information est disponible au niveau de l'ancienne région, celle-ci est renseignée, sinon la même ration est appliquée à l'ensemble des sous régions. Pour une année i , une région r et un type d'intrant k on obtient l'équation suivante :

$$\text{Intrants méthanisés}_{i,r,k} = \text{Nombre de méthaniseurs}_{i,r} * \text{Tonnages intrants moyens}_{i,r,k}$$

En 2023 on dénombre ainsi 1428 méthaniseurs agricoles valorisant 20,2 millions de tonnes de matière brute à 49 % constituée d'effluents d'élevage. Les fourchettes d'intrants obtenus sont très larges et reflètent la diversité des modèles de méthanisation (taille, typologie, équipements...). En revanche, elles sont déterminées pour une année donnée lorsque les données sont disponibles mais ne reflètent pas les potentiels évolutions des plans d'approvisionnements, les aléas techniques... Des recherches complémentaires pourraient être poursuivies pour acquérir des références sur plusieurs années et pour les divers modèles de méthanisation.

Figure 14. Estimation des quantités d'intrants alimentant les méthaniseurs agricoles en France. Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME...

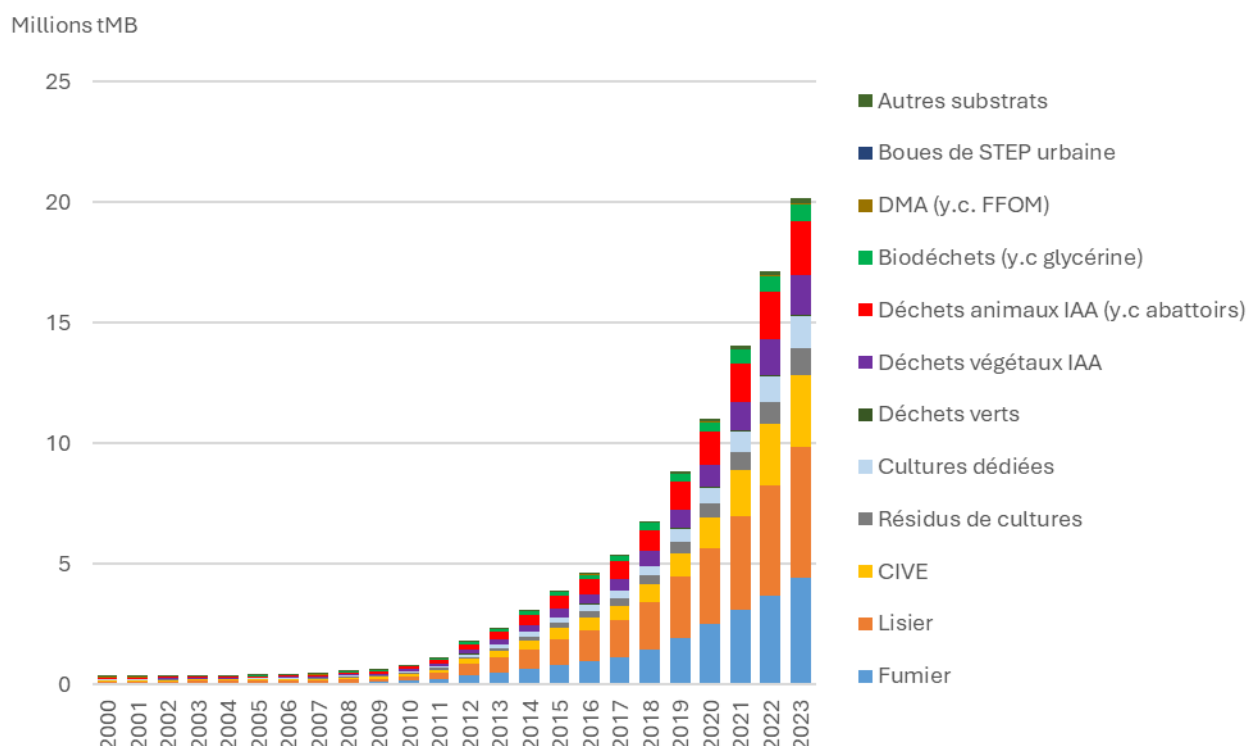
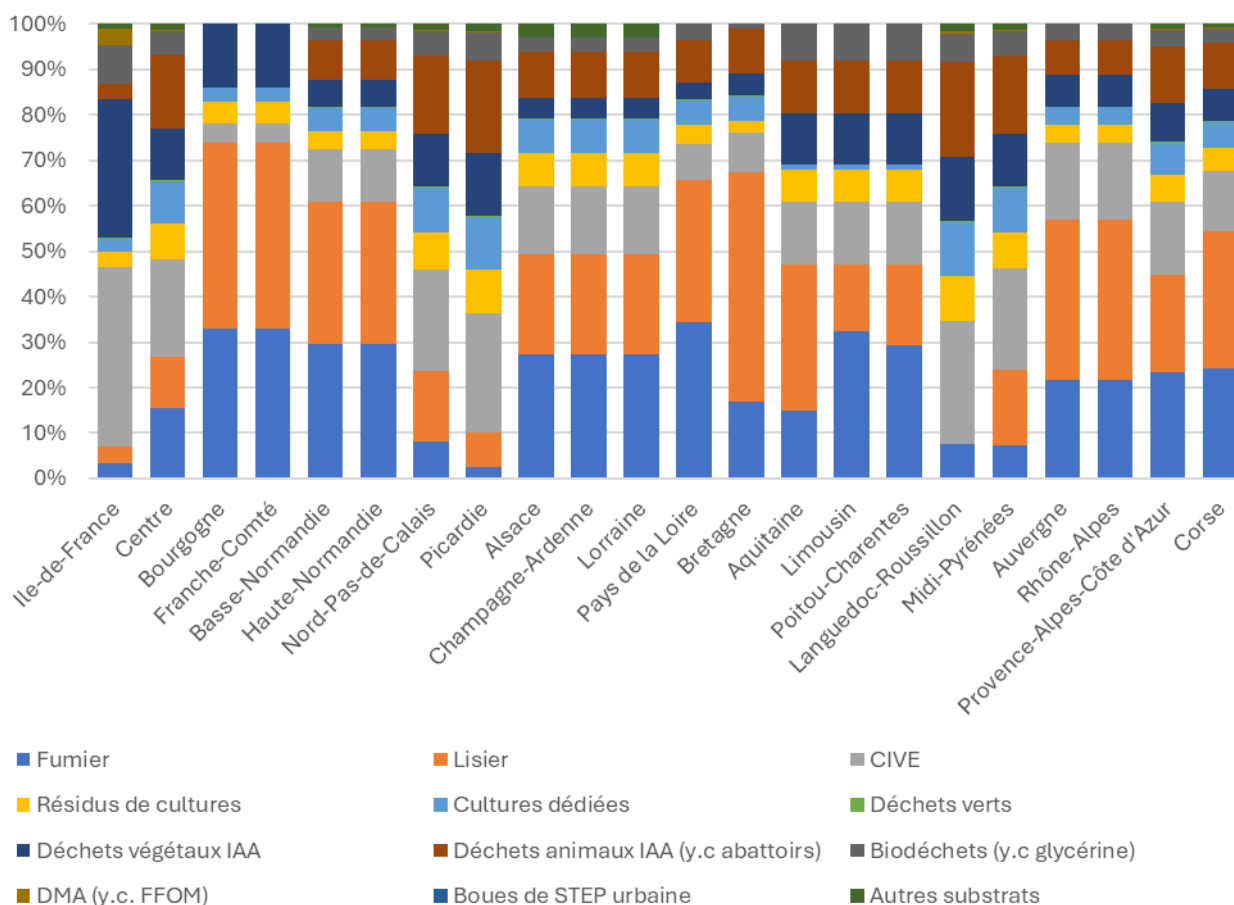


Figure 15. Estimation des ratios moyennes des méthaniseurs agricoles par ancienne région (avant réforme 2016) pour l'année la plus récente – Source : Citepa d'après sources multiples : AILE, AREC, DREAL, ADEME...



Intégration de la méthanisation comme système de gestion des déjections

Les quantités estimées d'effluents méthanisés sont intégrées en tant que mode de gestion des déjections animales dans le module de calcul PACRETE. La méthode consiste à estimer un cheptel (théorique) dont les déjections seraient entièrement dirigées vers la méthanisation. Il est donc nécessaire de convertir les données de tonnages d'effluents méthanisés en nombre d'animaux.

A cet effet, le gisement d'effluents théoriquement disponible pour la méthanisation est estimé sur la base de l'azote excrété au bâtiment, déterminé au sein du module PACRETE, puis converti en tonnages de matière brute (tMB) sur la base de références bibliographiques sur les teneurs en azote des effluents (Tableau 12). Aussi pour une région r , une catégorie d'élevage s , et un type d'effluent e :

$$\text{gisement effluents}_{r,s,e} = \frac{\text{azote excrété par tête}_{r,s,e}}{\text{teneur en azote effluents}_{s,e}}$$

L'excrétion moyenne d'effluents en tMB par tête d'animal et par type d'effluent est déduite du calcul du gisement et du cheptel.

$$\text{quantité effluents par tête}_{r,s,e} = \frac{\text{gisement effluents}_{r,s,e}}{\text{cheptel}_{r,s}}$$

La répartition régionale des intrants méthanisés par type d'effluent (fumier/lisier) est dérivée des données d'intrants méthanisés calculées précédemment et de la répartition régionale par espèce du gisement d'effluents.

$$\text{intrants méthanisés}_{r,s,e} = \text{intrants méthanisés}_{r,e} \times \frac{\text{gisement effluents}_{r,s,e}}{\sum_s \text{gisement effluents}_{r,s,e}}$$

On déduit ainsi le cheptel (théorique) dont les déjections sont entièrement méthanisées des intrants méthanisés régionaux et des quantités moyennes d'effluents par animal.

$$\text{cheptel méthanisé}_{r,s} = \frac{\text{intrants méthanisés}_{r,s,e}}{\text{quantité effluents par tête}_{r,s,e}}$$

Tableau 12. Teneur en azote retenue pour les effluents d'élevage de l'inventaire

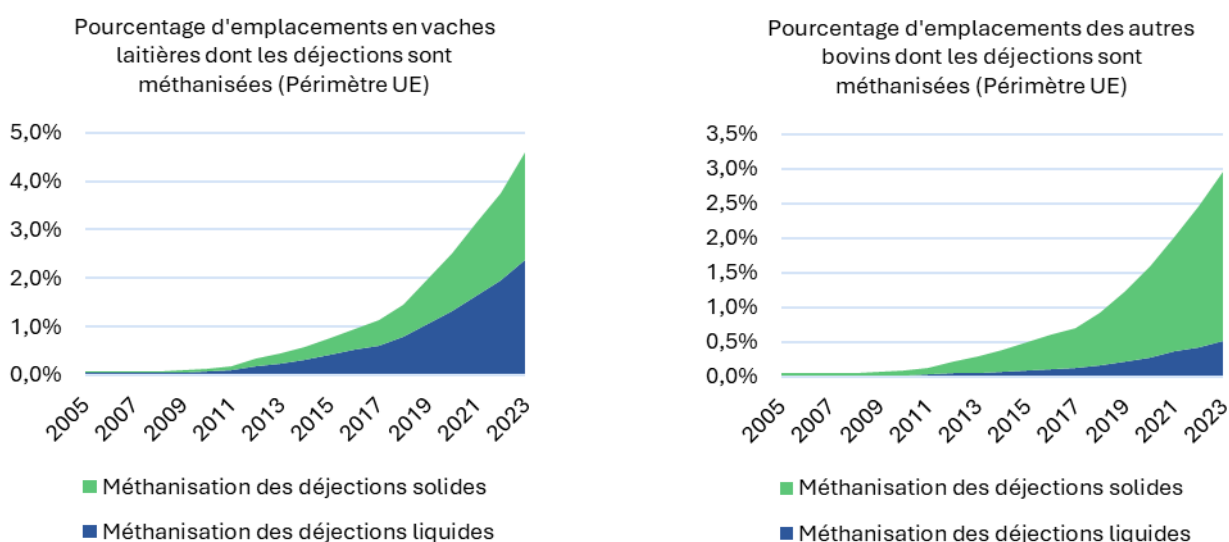
Catégories inventaire (SAA)	Type d'effluent	Référence utilisée	Nom dans la référence	gN/kgMB
Bovins	lisier	[1230]	Lisier de bovins	3,4
	fumier litière accumulée	[1230]	Fumier de bovins sur litière accumulée	5,9
	fumier raclé	[1230]	moyenne fumier de bovin mou / compact	4,6
Ovins	fumier	[1230]	Fumier d'ovins	6,7
	lisier	[1230]	Lisier de bovins	3,4
Caprins	fumier	[1230]	Fumier de caprins	6,1
	lisier	[1230]	Lisier de bovins	3,4
Truies de 50 kg et plus	lisier	[1230]	Lisier de truies gestantes	2,2
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Verrats de 50 kg et plus	lisier	[1230]	Lisier de porcs charcutiers	5,8
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Porcelets non sevrés (<8kg)	lisier	[1230]	Lisier de porcs naisseur engraisseur	3,5
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Porcelets sevrés de 8 à 30 kg	lisier	[1230]	Lisier de porcs naisseur engraisseur	3,5
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Porcs à l'engrais de 30 kg et plus	lisier	[1230]	Lisier de porcs charcutiers	5,8
	fumier	[1230]	Fumier de porcs charcutiers	9,4
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	fumier	[1230]	moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio	30,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Poules pondeuses d'œufs de consommation	fumier	[1230]	moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio	30,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Poulettes	fumier	[1230]	moyenne Fientes de pondeuses en cage / bio	30,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Poulets de chair	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Canards à gaver	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à gaver	4,6
Canards à rôtir	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Dindes et dindons	fumier	[1230]	Fumier dinde	25,5
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Oies	fumier	[1230]	Fumier poulet de chair conventionnel	21,9

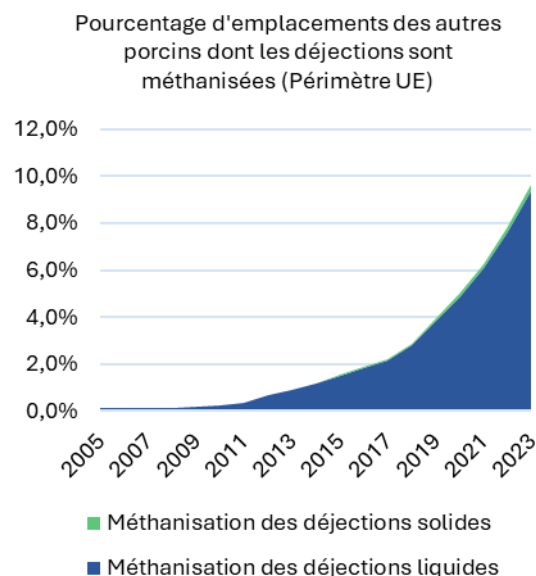
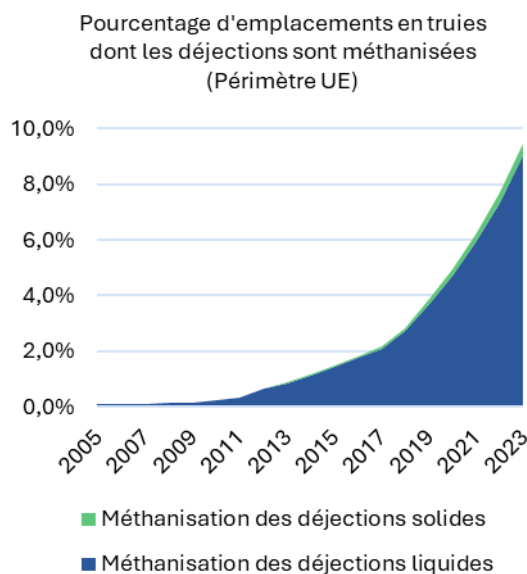
Catégories inventaire (SAA)	Type d'effluent	Référence utilisée	Nom dans la référence	gN/kgMB
	lisier	[1230]	Lisier de canard à gaver	4,6
Pintades	fumier	[1230]	Fumier de pintade label	27
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Cailles d'élevage	fumier	[1230]	Fumier de cailles	38,8
	lisier	[1230]	Lisier de canard à rôtir	6,1
Lapines reproductrices	fumier	[1230]	Crottes de lapin	8,1
	lisier	[1230]	Lisier de lapin	3,3
Equins	lisier	[1231]	Fumier courant	8,2
	fumier	[1231]	Fumier courant	8,2

A l'heure actuelle, ces estimations sont réalisées pour les bovins et les porcins uniquement.

Pour les bovins et les porcins, chaque système au bâtiment décrit précédemment est sous-divisé de manière à distinguer les effluents suivant la chaîne « classique » (bâtiment, stockage, épandage), des effluents partant en méthanisation (bâtiment, méthanisation, épandage). Par exemple, on distingue le lisier sans croûte naturelle « classique » du lisier sans croûte naturelle « à vocation méthanisation ».

Figure 16 : Evolution des places méthanisées en bovins et porcins





Pour les bovins, on répartit ensuite les places en lisier méthanisé entre les systèmes lisier avec croûte (noté ci-après LAC) et sans croûte (noté ci-après LSC), au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région.

Exemple pour une région et une année donnée :

$$\text{places LAC méthanisées} = \text{places lisier méthanisées} \times \frac{\text{places LAC}}{\text{places LAC} + \text{places LSC}}$$

Ces places méthanisées LAC sont retirées du système « classique » LAC, et attribuées au nouveau système LAC « à vocation méthanisation ». On obtient alors 4 types d'effluents liquides pour les bovins : lisier sans croûte, lisier sans croûte à vocation méthanisation, lisier avec croûte, lisier avec croûte à vocation méthanisation. Pour faciliter la lecture des résultats, les deux systèmes à vocation méthanisation sont regroupés en « méthanisation liquide » plus bas.

On répartit également les places fumier entre les systèmes stockage solide et litière accumulée, au prorata des places pour chacun des systèmes l'année en question, par ancienne région. Comme pour les systèmes liquides, on se retrouve alors avec 4 types d'effluents solides pour les bovins : stockage solide, stockage solide à vocation méthanisation, litière accumulée, litière accumulée à vocation méthanisation. Pour faciliter la lecture des résultats, les deux systèmes à vocation méthanisation sont regroupés en « méthanisation solide » plus bas.

Pour les porcins, le même traitement est effectué par ancienne région. Les places lisier méthanisées sont retirées du système lisier sans croûte pour être attribuées au système lisier sans croûte à vocation méthanisation. Les places fumiers sont retirées du système stockage solide pour être attribuées au système stockage solide à vocation méthanisation.

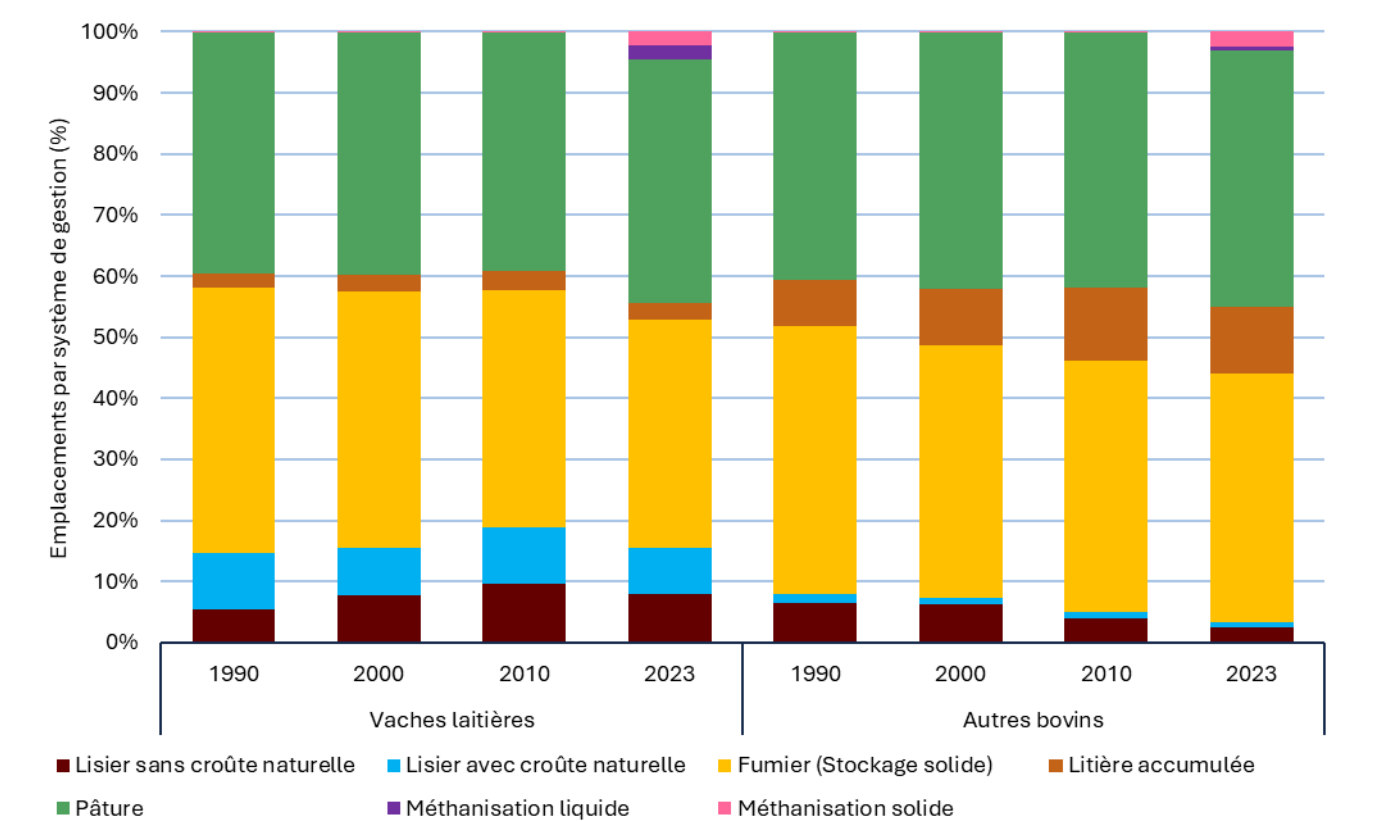
On obtient alors les répartitions suivantes :

Tableau 13 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	Pâturage	Méthanisation liquide	Méthanisation solide
Vaches laitières	1990	5,4%	9,4%	43,4%	2,4%	39,4%	0,0%	0,0%
	2000	7,7%	7,9%	42,0%	2,7%	39,7%	0,0%	0,0%
	2010	9,7%	9,1%	38,9%	3,1%	39,1%	0,1%	0,1%

		Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Litière accumulée	Pâturage	Méthanisation liquide	Méthanisation solide
	2023	8,0%	7,5%	37,3%	2,8%	39,8%	2,4%	2,2%
Autres bovins	1990	6,6%	1,4%	43,8%	7,6%	40,6%	0,0%	0,0%
	2000	6,3%	1,0%	41,3%	9,4%	42,0%	0,0%	0,0%
	2010	4,0%	0,9%	41,2%	11,9%	41,9%	0,0%	0,1%
	2023	2,4%	1,0%	40,7%	10,9%	42,0%	0,5%	2,4%

Figure 17 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des bovins avec méthanisation (périmètre UE)



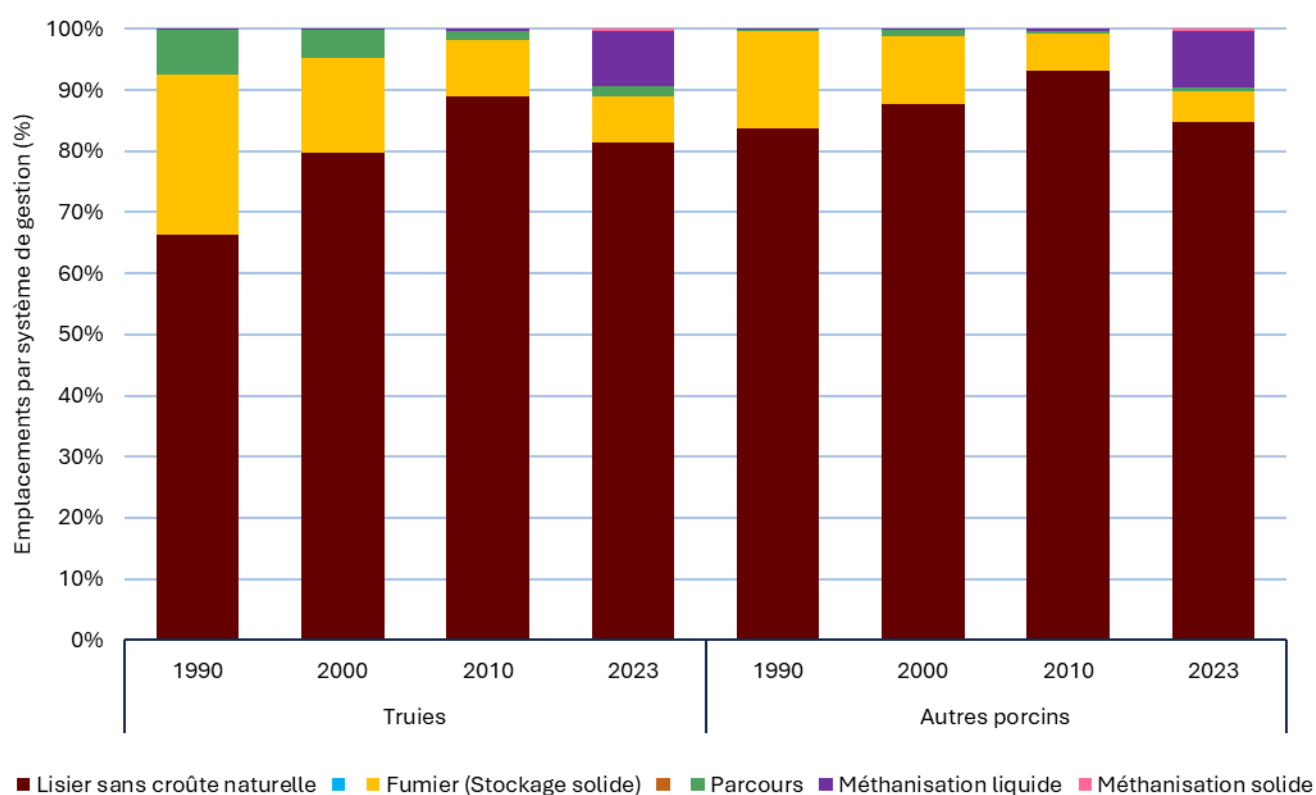
Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

Tableau 14 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)

		Lisier sans croûte naturelle	Fumier (Stockage solide)	Parcours	Méthanisation liquide	Méthanisation solide
Truies	1990	66,3%	26,1%	7,5%	0,1%	0,0%
	2000	79,7%	15,6%	4,7%	0,1%	0,0%
	2010	88,9%	9,3%	1,6%	0,2%	0,0%
	2023	81,3%	7,6%	1,6%	9,0%	0,4%
Autres porcins	1990	83,6%	16,0%	0,3%	0,1%	0,0%
	2000	87,7%	11,1%	1,1%	0,1%	0,0%
	2010	93,2%	6,0%	0,5%	0,2%	0,0%
	2023	84,8%	5,0%	0,5%	9,4%	0,3%

Figure 18 : Répartition des systèmes de gestion des déjections des porcins avec méthanisation (périmètre UE)



Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_OMINEA_2025.xlsx/SGDA

Azote issu de la fraction hors-effluents d'élevage du digestat

Pour le calcul des émissions liées au digestat hors déjections animales, les teneurs en azote de chaque catégorie d'intrants (CIVE, déchets des IAA, ...) sont fournies par le guide EMEP 2023 ou via des données nationales et présentées dans le tableau ci-dessous. Ces teneurs sont appliquées aux quantités de matières brutes d'intrants méthanisés pour en déduire l'azote épandu par la suite. La méthode de prise en compte des émissions à l'épandage des intrants azotés est ensuite détaillée au niveau du chapitre « Sols agricoles ».

Pour rappel, le flux des éléments fertilisants, dont l'azote, dans le digesteur est dit conservatif : l'azote entré est récupéré en sortie dans le digestat, mais sous une forme différente puisqu'une partie de l'azote organique est transformée en azote ammoniacal (NH_4^+). Cette minéralisation de l'azote varie fortement en fonction de la nature des intrants.

Tableau 15 : Principales teneurs en azote des intrants méthanisés

Catégorie d'intrant	Description	Teneur en azote (gN/kgMB)	Source
CIVE	Cultures intermédiaires à vocation énergétique	7,0	EMEP 2019
Résidus de cultures	Paille	5,1	EMEP 2019
Cultures dédiées	Moyenne des valeurs ensilage de maïs et ensilage d'herbe	7,0	EMEP 2019
Déchets verts		3,1	
Déchets végétaux des IAA	Déchets d'industries du sucre, de biscuiterie, ou de transformation de fruits et légumes...	5,1	EMEP 2019
Déchets animaux des IAA	Déchets d'abattoirs et industries de transformation de la viande et du lait	5,1	EMEP 2019
Biodéchets	Biodéchets	2,3	
DMA	Déchets ménagers et assimilés, y.c. fraction fermentescible des ordures ménagères	1,3	
Boues de STEP urbaine	Boues issues de station d'épuration	6,6	Hypothèse nationale sur les types de boues et leur teneur
Autres substrats	Industries non alimentaires (papeterie, chimie...)	9,1	

Excrétions azotées

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) expriment la quantité d'azote excrété annuelle d'une catégorie animale (kg N/tête/an). Ils sont pour la plupart basés sur les travaux du Corpen qui est un groupe de réflexion réunissant tous les organismes concernés par les relations entre agriculture et environnement. Il regroupe des instituts techniques, des établissements publics de recherche, des organisations professionnelles, des organisations d'usagers, des centres techniques agricoles, des agences de l'eau ainsi que des ministères. Les missions du Corpen, essentiellement scientifiques, ont permis la réalisation de nombreuses publications, notamment sur l'azote provenant des élevages.

Pour les ovins, caprins et équins, les excrétions azotées reposent sur une étude menée par l'IDELE en 2015 [983], dont l'objectif était de préciser les flux d'azote selon les régimes alimentaires en France. La méthode de calcul appliquée quantifie l'azote ingéré pour soustraire l'azote fixé par la production de viande et de lait, afin d'aboutir à l'azote excrété par l'animal.

Important : Les facteurs d'excrétion azotée nationaux pour les bovins, ovins et caprins ont été comparés à ceux recalculés par la méthode de Niveau 2 du Giec 2006. Cette comparaison est incluse en section « Gestion des déjections animales - 3.B ».

Pour les bovins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés à partir des documents Corpen [468, 469] qui permettent de moduler l'excrétion azotée en fonction de plusieurs paramètres :

- le format des animaux,
- la production laitière,

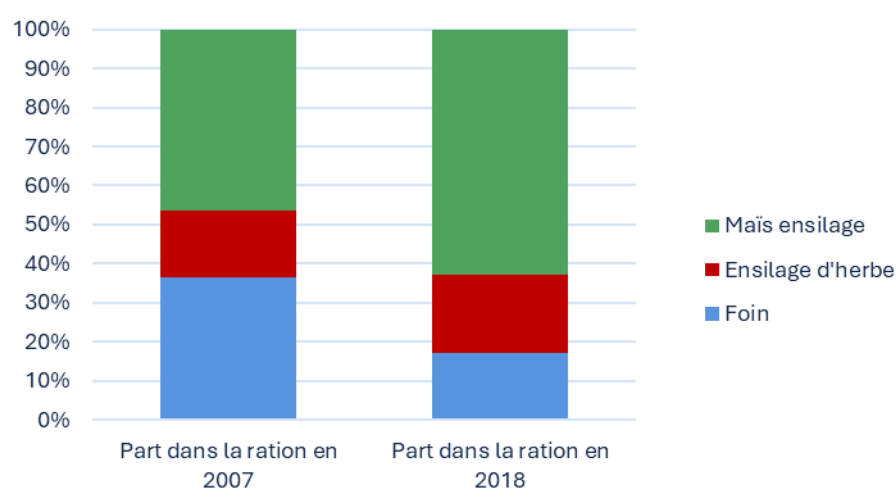
- les fourrages consommés (herbe pâturée, foin, herbe conservée, ensilage de maïs).

La part d'herbe pâturée est directement basée, pour tous les bovins, sur les valeurs régionales de temps passés au pâturage (cf. paragraphe ci-avant sur les SGDA).

Concernant les autres fourrages (foin, herbe conservée, ensilage de maïs), leur contribution aux fourrages totaux consommés a été estimée de différentes façons selon la catégorie animale.

Pour les vaches laitières : l'excrétion associée à chacun des trois types de fourrage (foin, herbe conservée, ensilage de maïs) est bien identifiée dans le Corpen. Deux publications sur la part de ces différents fourrages dans les rations moyennes types pour les vaches laitières ont été produites par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL) : l'une pour 2007 [477], l'autre pour 2018 [1251]. L'évolution de la part de ces fourrages dans les rations moyennes est présentée ci-dessous :

Figure 19 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture



Source Citepa / format Ominea février 2025

Graph_Ominea_2025.xlsx/Ration

Tableau 16 : Evolution de la part de différents fourrages dans la ration moyenne des vaches laitières, hors pâture

	Part dans la ration en 2007	Part dans la ration en 2018
Foin	37%	17%
Ensilage d'herbe	17%	20%
Maïs ensilage	47%	63%

La part de ces fourrages dans la ration 2007 est utilisée pour la période 1990-2007, celle dans la ration 2018 à partir de 2018. Les données sont interpolées entre ces années.

Pour les autres catégories bovines pour lesquelles l'excrétion associée à chacun des trois types de fourrage (foin, herbe conservée, ensilage de maïs) est bien identifiée dans le Corpen, les rations moyennes, différenciées selon les systèmes lait ou viande, et tirées d'une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le CIV (Centre d'Information des Viandes) [657], ont été utilisées. L'objectif de cette étude était d'actualiser les connaissances en termes de rationnement des bovins en France, à partir d'une analyse approfondie pour l'année 2008. Faute d'autres données disponibles, ces données de rations sont utilisées pour l'ensemble de la période.

Pour les catégories bovines pour lesquelles seule l'excrétion associée à deux types de fourrage est identifiée dans le Corpen, la moyenne est effectuée, ce qui revient à considérer que ces deux fourrages conservés contribuent de façon égale aux fourrages conservés totaux.

Pour les catégories bovines pour lesquelles seule l'excrétion associée à un seul type de fourrage est identifiée dans le Corpen, c'est cette excrétion qui est directement utilisée.

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.

A noter : ces proportions d'animaux gérés à la pâture dépendent à la fois de la population, estimée chaque année par région, et de la part du temps passé au pâturage (cf. plus haut).

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 du rendement laitier, qui est un paramètre intervenant directement dans le calcul de l'excrétion azotée. Le Corpen considère une modulation de l'excrétion azotée de 5 % par tranche de 1 000 litres de lait autour du niveau de base de rendement laitier considéré (6 000 litres). Le rendement laitier est estimé à partir de la production laitière issue de la SAA [410], ramenée aux effectifs de vaches laitières annuels.

A noter : pour 2021, le même retraitement que celui appliqué pour les cheptels a été fait au niveau de la production laitière (voir plus haut).

Enfin, lorsque les animaux sont agrégés par catégorie CRT/NFR, des variations du facteur d'excrétion sont constatées du fait des évolutions d'effectifs entre catégories fines au sein d'une même catégorie agrégée.

Pour les porcins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) sont calculés à partir des documents Corpen de 2003 [470], qui ont été actualisés en 2015 par le RMT Elevage & Environnement [786].

Ces deux documents permettent de moduler l'excrétion azotée en fonction :

- des stades physiologiques : ceux-ci sont encadrés, pour les porcs à l'engrais, par des fourchettes de poids de référence fixes. Si le poids à l'abattage dépasse le poids de référence fixé, une valeur d'excrétion azotée spécifique est fournie par kilogramme de poids vif supplémentaire. Ainsi, l'excrétion azotée reflète l'évolution des pratiques d'élevage. Les poids à l'abattage sont tirés des documents de Gestion Technico-économique (GTE) [505] publiés annuellement jusqu'en 2016 par l'IFIP. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022.
- de la conduite alimentaire : standard ou biphasé. L'évolution du nombre d'animaux en biphasé est connue grâce aux enquêtes bâtiments d'élevage (2001 ; 2008) [480] et à l'enquête pratiques d'élevage (2015) [980].

Sur la période, les données relatives à la conduite alimentaire et aux références d'excrétion azotée sont utilisées de la manière suivante :

- Conduite alimentaire :
 - de 1990 à 1996 : on fait l'hypothèse d'une conduite alimentaire uniquement standard toutes catégories confondues ;
 - de 1997 à 2000 : interpolation linéaire entre l'hypothèse 100% standard et les données de 2001 ;
 - en 2001 : les données utilisées sont celles de l'enquête bâtiment 2001 ;
 - de 2002 à 2007 : interpolation linéaire entre les données de 2001 et celles de 2008 ;
 - en 2008 : les données utilisées sont celles de l'enquête bâtiment 2008 ;

- de 2009 à 2014 : interpolation linéaire entre les données de 2008 et celles de 2015 ;
- de 2015 à l'année en cours : utilisation des données de 2015.
- Référence d'excrétion azotée :
 - de 1990 à 2003 : les références utilisées sont celles du Corpen [470],
 - de 2004 à 2014 : interpolation linéaire entre les données Corpen et celles du RMT [786],
 - de 2015 à l'année en cours : utilisation des données du RMT.

Une fois les Fex définis sur la période, deux approches distinctes sont appliquées :

- l'approche « cheptel » pour les truies et verrats : les Fex sont directement appliqués aux données de population,
- l'approche « production » pour les autres catégories.

L'approche « production » est préférée pour les porcins, hors truies et verrats, car elle permet d'éviter de formuler des hypothèses sur le nombre de rotations par catégorie durant l'année, ce qui est jugé plus fiable. Les données de production proviennent des statistiques AGRESTE [410]. Ces statistiques présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE), en séparant les catégories suivantes : cochons et verrats ; porcelets ; porcs charcutiers.

L'excrétion azotée des porcelets post-sevrage (1) est calculée en sommant l'excrétion azotée des porcelets produits et celle des porcelets morts en cours d'élevage. Le nombre de porcelets morts en cours d'élevage est estimé à partir des taux de perte et saisie tirés des documents de Gestion Technico-économique (GTE) [505] publiés annuellement jusqu'en 2016 par l'IFIP. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les porcelets morts en cours d'élevage se voient attribuer la moitié de l'excrétion azotée d'un porcelet post-sevrage vivant un stade complet.

L'excrétion azotée des porcs charcutiers (2) est calculée en sommant l'excrétion azotée des porcs charcutiers produits et celle des porcs morts en cours d'élevage. Pour les porcs charcutiers produits, les données de production sont multipliées par la somme de l'excrétion azotée du post-sevrage et de l'engraissement. Pour les porcs morts en cours d'élevage, leur nombre est estimé à partir des productions de porcs charcutiers et des taux de perte et saisie du GTE. Ces taux de pertes et saisies sont distingués par stade (post-sevrage / engraissement). Les porcs morts en cours de post-sevrage se voient attribuer la moitié de l'excrétion azotée d'un porcelet post-sevrage vivant un cycle complet. Les porcs morts en cours d'engraissement se voient attribuer l'excrétion azotée totale d'un post-sevrage à laquelle on ajoute la moitié de l'excrétion azotée d'un porc à l'engrais vivant un stade d'engraissement complet.

Enfin, ces excréments totales calculées au périmètre UE sont réparties selon la catégorisation retenue dans l'inventaire pour estimer une excrétion moyenne par tête par an :

L'excrétion azotée des porcelets non-sevrés (<8kg) est nulle car déjà comptabilisée chez les truies.

L'excrétion azotée des porcelets post-sevrés (8 à 30kg) est estimée en comptabilisant l'excrétion totale des porcelets (notée (1) ci-dessus) et une partie de l'excrétion des porcs charcutiers (notée (2) ci-dessus), attribuée selon le rapport du Fex post-sevrage par rapport à la somme des Fex post-sevrage et engraissement. Cette excrétion totale est ensuite divisée par la population correspondante.

L'excrétion azotée des porcs à l'engrais (>30kg) est estimée en comptabilisant la partie restante de l'excrétion des porcs charcutiers. Cette excrétion totale est ensuite divisée par la population correspondante.

Pour les volailles

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés à partir des documents Corpen [471], [503], [504]. Fin 2022, de nouvelles données (en cours de publication) ont été transmises pour intégration dans l'inventaire [1250]. Ces nouvelles

valeurs d'excrétions azotées ont été attribuées à l'année 2020, pour simplifier les pondérations décrites ensuite. On dispose donc de quatre années de données : 1996, 2006, 2012 et 2020.

Les données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- de 1990 à 1996 : les données utilisées sont celles de 1996 ;
- de 1997 à 2005 : interpolation linéaire entre les données de 1996 et celles de 2006 ;
- en 2006 : les données utilisées sont celles de 2006 ;
- de 2007 à 2011 : interpolation linéaire entre les données de 2006 et celles de 2012 ;
- en 2012 : les données utilisées sont celles de 2012 ;
- de 2012 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2012 et celles de 2020 ;
- de 2020 à l'année en cours : utilisation des données 2020.

Les guides précités fournissent des valeurs d'excrétions pour respectivement 41, 78, 80 et 82 catégories de volailles, alors que la statistique agricole annuelle (SAA) ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les excrétions azotées à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'excrétion pondéré pour les 10 catégories de la SAA.

- Différentes sources de pondération sont disponibles :
- les enquêtes bâtiments 2008 [480] : ces enquêtes fournissent les effectifs nationaux pour 46 catégories de volailles ;
- les données de productions Itavi [987] : ces données fournissent le détail par type de production en poules pondeuses (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air) et en poulets de chair (label rouge, bio, export, lourd, CCP, standard, autres productions assimilables à des labels rouge (AOP, autres SIQO)) ;
- les données de productions issues des statistiques Agreste [410] : ces données fournissent les données de productions notamment pour les canards gras, les canards à rôtir, les dindes, les oies et les pintades ;
- les données du recensement agricole 2020 [1249] : ces données fournissent le détail des places pour certaines catégories, notamment pour les poules pondeuses d'œuf à couver (en distinguant la filière chair de la filière ponte), les poulettes et les cailles.

Trois grands modes de retraitement des données sont appliqués pour estimer l'azote excrété par place :

- Estimation directe de l'azote excrété par place : on dispose dans les données des durées d'élevage et de l'azote excrété par tête. On estime alors l'azote moyen excrété par place, ramené à l'année : excrétion azotée par animal / durée d'élevage x 365.
- Estimation de l'azote total à partir des productions de l'année : on dispose dans les données de l'azote excrété par tête ainsi que des données de productions par sous-catégorie. Cette excrétion totale est ensuite ramenée aux effectifs de l'année en cours pour la catégorie concernée.
- Estimation de l'azote total à partir des productions 2008 : on dispose dans les données de l'azote excrété par tête mais on ne dispose pas du détail des productions par sous-catégorie et par année. On utilise la donnée de production 2008 par sous-catégorie, et on indexe ensuite le résultat sur la production de l'année.
- Par exemple : azote excrété 2012 pour la catégorie Canard à rôtir = Σ (azote excrété par sous-catégorie 2012 x production 2008) / Production totale 2008 x Production totale 2012.
- Cette excrétion totale est ensuite ramenée aux effectifs de l'année en cours pour la catégorie concernée.

Le tableau suivant récapitule, pour chaque catégorie volailles, la source de pondération utilisée ainsi que le mode de retraitement appliqué :

Tableau 17 : Récapitulatif des sources de pondération et retraitements effectués pour estimer l'azote excrété des volailles

Catégorie SAA	Source de pondération	Mode de retraitement
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020	Estimation directe de l'azote excrété par place
Poules pondeuses d'œufs de consommation	Productions Itavi	Estimation directe de l'azote excrété par place
Poulettes	Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020	Estimation directe de l'azote excrété par place
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	Productions Itavi	Estimation de l'azote total à partir des productions de l'année
Canards à gaver	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Canards à rôtir	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Dindes et dindons (au 1er octobre)	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Pintades	Enquêtes bâtiments 2008 + Productions Agreste	Estimation de l'azote total à partir des productions 2008
Cailles d'élevage	Enquêtes bâtiments 2008 + Recensement agricole 2020	Estimation directe de l'azote excrété par place

Pour les ovins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés majoritairement à partir du document de l'IDELE [983]. Les catégories étudiées sont listées ci-dessous.

- Brebis laitières. Deux cas types sont proposés dans la publication de l'IDELE : un cas type Roquefort (système spécialisé ovin lait rayon de Roquefort, mont de Lacaune), et un cas type basco béarnais (système mixte ovin lait - bovin viande, Pyrénées Atlantique). En France, c'est le système type Roquefort qui est le plus représentatif des conditions classiques d'élevage (>60% des effectifs) : la valeur de ce cas type a été retenue pour cette catégorie.
- Brebis allaitantes. Deux cas types sont proposés dans la publication de l'IDELE : un cas type Culture- ovin de bergerie pour la production d'agneaux de bergerie (dit « agneaux de Pâques ») des zones céréales - élevage (Midi-Pyrénées, Sud-Ouest, Bassin parisien et Grand est) ; un cas type Ovin herbe pour l'élevage de moutons dans les zones allaitantes françaises (Sud-Ouest, Ouest et Massif Central).
La moyenne des valeurs de ces deux cas types a été retenue pour cette catégorie.
- Agnelles de système ovin viande. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.
- Agnelles Lacaune (système ovin lait). Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.
- Agneau engraisé (après sevrage). Trois systèmes de production d'agneaux engraisés sont proposés dans la publication de l'IDELE : un système Culture - ovin viande de bergerie (cf. plus haut) ; un système Ovin viande herbe (cf. plus haut) ; un système agneau de type aveyronnais.

D'après [983], les agneaux de type aveyronnais représentent 10% des effectifs. On fait l'hypothèse que les deux autres systèmes sont répartis de manière égale (45% chacun). Les valeurs d'excrétion azotée de ces trois systèmes sont pondérées par ces pourcentages pour obtenir la valeur retenue pour la catégorie « agneaux ».

A noter : les valeurs d'excrétion azotée sont calculées sur la durée de vie de l'animal, ici inférieure à un an. Un retraitement est effectué pour recalculer une valeur d'excrétion azotée sur l'année : l'excrétion azotée est divisée par la durée d'élevage en jours, puis multipliée par 365.

L'objectif est ensuite de pouvoir attribuer ces valeurs d'excrétion azotée par catégorie animale de la SAA. Pour les brebis laitières et allaitantes, la correspondance est directe.

En revanche, pour les agnelles, la valeur d'excrétion azotée retenue est calculée en pondérant les valeurs « agnelles de système ovin viande » et « agnelles Lacaune (système ovin lait) » :

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles laitières (agnelage à 13 mois) et les agnelles allaitantes (agnelage à 15 mois) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles lait et viande fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

La dernière catégorie de la SAA regroupe à la fois les agneaux et les béliers, cependant ces derniers ne sont pas inclus dans la publication IDELE [983].

L'excrétion azotée des béliers est estimée en appliquant les équations du Giec 2006 [656]. L'équation 10.32 du Giec 2006 [656] permet d'estimer, à partir des énergies brutes ingérées et des teneurs en protéine brute dans les rations, la quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal en kgN/animal/jour :

$$N_{consommation} = \frac{EB}{18,45} \times \frac{PB\%}{100/6,25}$$

Avec : *EB* : Energie brute ingérée (MJ/animal/jour) ;
PB% : teneur en protéines brutes dans la ration ;
N_{consommation} : quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal (kgN/animal/jour).

L'énergie brute ingérée pour les béliers est tirée du projet MONDFERENT II mené par l'Inra et décrit en section « Fermentation entérique – 3A ». Ce projet a permis de déterminer différents paramètres spécifiques aux animaux des élevages caprins et ovins français, par catégorie animale fine. Parmi ces paramètres, répertoriés dans un fichier de calcul transmis par l'Inra [797], se trouve l'énergie brute ingérée en MJ/jour.

La teneur en protéines brutes dans la ration a été estimée en moyennant les teneurs en protéines brutes dans la ration de la publication de l'IDELE [983] des brebis laitières et allaitantes. La valeur obtenue est de 14,9%.

Le paramètre *N_{consommation}* (kgN/animal/jour) est ensuite multiplié par 365 pour obtenir les quantités annuelles d'azote consommées (*N_{conso_annuelle}*). Enfin, l'équation 10.31 du Giec 2006 [656] est appliquée pour estimer la quantité d'azote excrétée sur l'année par l'animal :

$$N_{ex} = N_{conso_annuelle} \times (1 - N_{retention})$$

Avec : *N_{conso_annuelle}* = Quantité d'azote consommée par an (kgN/animal/an) ;
N_{retention} = Fraction de la consommation annuelle d'azote retenue par l'animal (valeur par défaut proposée par le Giec 2006 dans le tableau 10.20 pour les chèvres et les moutons = 0,1) ;
N_{ex} = Quantité annuelle d'azote excrétée

Le *N_{ex}* retenu pour la catégorie « autres ovins (y compris béliers) » est calculé en pondérant la valeur déjà pondérée « Agneaux », expliquée plus haut, et celle des béliers, calculée à partir des équations du Giec ;

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

A noter : les Fex rapportés pour la catégorie « ovins » varient au cours du temps en fonction des effectifs de chacune des sous-catégories pour l'année considérée.

Pour les caprins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés majoritairement à partir du document de l'IDELE [983]. Les catégories étudiées sont listées ci-dessous.

Chèvres laitières. Trois systèmes de production sont proposés dans la publication de l'IDELE : un système 0 pâturage (Centre Ouest de la France) avec des rations à base d'ensilage de maïs ; un système 0 pâturage (Centre Ouest de la France) avec des rations à base de foin de luzerne ; un système pastoral avec du pâturage. La moyenne des valeurs de ces trois systèmes a été retenue pour cette catégorie.

Chevrette de 0 à 12 mois. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

Chevreaux engraisés. Une seule donnée est fournie pour cette catégorie.

A noter : la valeur d'excrétion azotée est calculée sur la durée de vie de l'animal, ici inférieure à un an. Un retraitement est effectué pour recalculer une valeur d'excrétion azotée sur l'année : l'excrétion azotée est divisée par la durée d'élevage, puis multipliée par 365.

L'objectif est ensuite de pouvoir attribuer ces valeurs d'excrétion azotée par catégorie animale de la SAA. Pour les chèvres laitières et chevrettes, la correspondance est directe. En revanche, la dernière catégorie de la SAA regroupe à la fois les chevreaux et les boucs, cependant ces derniers ne sont pas inclus dans la publication IDELE [983].

L'excrétion azotée des boucs est estimée en appliquant les équations du Giec 2006 [656]. L'équation 10.32 du Giec 2006 [656] permet d'estimer, à partir des énergies brutes ingérées et des teneurs en protéine brute dans les rations, la quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal :

$$N_{consommation} = \frac{EB}{18,45} \times \frac{PB\%}{100/6,25}$$

Avec : *EB* : Energie brute ingérée (MJ/animal/jour) ;
PB% : teneur en protéines brutes dans la ration ;
N_{consommation} : quantité d'azote consommée quotidiennement par l'animal (kgN/animal/jour).

L'énergie brute ingérée pour les boucs est tirée du projet MONDFERENT II mené par l'Inra et décrit en section « Fermentation entérique – 3A ». Ce projet a permis de déterminer différents paramètres spécifiques aux animaux des élevages caprins et ovins français, par catégorie animale fine. Parmi ces paramètres, répertoriés dans un fichier de calcul transmis par l'Inra [797], se trouve l'énergie brute ingérée en MJ/jour.

La teneur en protéines brutes dans la ration a été estimée en moyennant les teneurs en protéines brutes dans la ration de la publication de l'IDELE [983] des chèvres laitières. La valeur obtenue est de 14,4%.

Le paramètre *N_{consommation}* (kgN/animal/jour) est ensuite multiplié par 365 pour obtenir les quantités annuelles d'azote consommées (*N_{conso_annuelle}*). Enfin, l'équation 10.31 du Giec 2006 [656] est appliquée pour estimer la quantité d'azote excrétée sur l'année par l'animal :

$$N_{ex} = N_{conso_annuelle} \times (1 - N_{retention})$$

Avec : *N_{conso_annuelle}* = Quantité d'azote consommée par an (kgN/animal/an) ;
N_{retention} = Fraction de la consommation annuelle d'azote retenue par l'animal (valeur par défaut proposée par le Giec 2006 dans le tableau 10.20 pour les chèvres et les moutons = 0,1) ;

$$N_{ex} = \text{Quantité annuelle d'azote excrétée}$$

Le Fex retenu pour la catégorie « autres caprins (y compris boucs) » est calculé en pondérant la valeur pour les chevreaux engraisés, mentionnée plus haut, et celle des boucs, calculée à partir des équations du Giec :

- de 1990 à 2007 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 ;
- à partir de 2020 : au prorata des effectifs différenciés fournis dans le recensement agricole pour 2020 [1249] ;
- de 2008 à 2019 : interpolation des données.

A noter : les Fex rapportés pour la catégorie « caprins » varient au cours du temps en fonction des effectifs de chacune des sous-catégories pour l'année considérée.

Pour les équins

Les facteurs d'excrétion azotée (Fex) ont été calculés à partir du document de l'IDELE [983]. Pour chaque catégorie étudiée et listée ci-dessous, une seule valeur d'excrétion azotée est fournie :

- Trait – jument suitée,
- Trait – poulain/pouliche de 12-24 mois,
- Sports et loisirs – jument suitée,
- Sports et loisirs – cheval au travail,
- Sports et loisirs – poney AB (200 kg),
- Sports et loisirs – poney CD (200 kg),
- Sports et loisirs – cheval au travail.

A noter : pour les juments suitées, l'excrétion azotée proposée dans le document prend également en compte l'excrétion azotée du poulain pendant les 7 premiers mois de sa vie (jusqu'à son sevrage).

Ces valeurs d'excrétion azotée sont combinées pour estimer le Fex par catégorie animale de la SAA, c'est-à-dire pour les catégories suivantes : chevaux de selle, sport, loisirs et course / chevaux lourds / ânes, mulets, bardot.

Pour cela, les données de l'Institut Français du Cheval et de l'Équitation (IFCE) ont été consultées [984]. Ces dernières fournissent des informations annuelles concernant

- L'évolution des juments saillies,
- Le nombre d'étalons actifs,
- L'évolution des naissances.

Pour chacune de ces catégories, sont distingués :

- Les chevaux de course (C1),
- Les races françaises de selle (C2),
- Les races étrangères de selle (C3),
- Les poneys (C4),
- Les chevaux de trait (C5),
- Les ânes et mulets (C6).

Ces données sont retraitées pour constituer les quatre catégories suivantes :

- Chevaux de course et de selle (C1+C2+C3), en distinguant les juments, les étalons et les naissances ;
- Poneys (C4), en distinguant les juments, les étalons et les naissances ;
- Chevaux lourds (C5), en distinguant les juments, les étalons et les naissances ;
- Anes et mulets (C6), en distinguant les juments, les étalons et les naissances.

Elles ont ensuite été croisées avec les données disponibles dans les annuaires ECUS publiés par l'IFCE [985]. Les annuaires des années 2012, 2016, 2020 et 2021 ont été utilisés. Ils présentent les données d'effectifs équins annuels totaux, classés selon les catégories selle, course, trait, âne et poney. La connaissance des effectifs totaux permet de recalculer un solde pour la catégorisation précitée (chevaux de course et de selle, poneys, chevaux lourds, ânes). Ainsi, chaque catégorie est alors divisée en sous-catégories (juments, étalons, naissances, solde de la catégorie).

Pour la catégorie SAA chevaux de selle, sport, loisirs et course, les valeurs fournies par le document de l'IDELE sont pondérées par les effectifs de l'IFCE :

- Catégorie « Chevaux de course et de selle » :
 - Jument : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Jument suitée » ;
 - Etalon : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs – Cheval au travail » ;
 - Naissance : pondération de la valeur IDELE « Sports et loisirs - Cheval au travail » pour ne prendre en compte que 5 mois d'excrétion (hypothèse Citepa) ;
 - Solde de la catégorie : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs – Cheval au travail »
- Catégorie « Poneys » : moyenne des valeurs IDELE : Sports et loisirs – poney AB (200kg) et Sports et loisirs – poney CD (200kg).

Pour la catégorie SAA chevaux lourds, le document de l'IDELE propose des valeurs seulement pour les juments. Pour les autres catégories, les travaux réalisés par William Martin Rosset, chercheur à l'INRA de Clermont-Theix [473] ont été utilisés. Ces travaux proposent des méthodes d'estimation de l'excrétion azotée journalière des équins à partir des poids vifs des animaux. Le calcul a été effectué pour estimer l'excrétion azotée d'un cheval de selle (poids vif moyen de 560 kg tiré du document de l'IDELE) et d'un cheval de trait (poids vif moyen de 778 kg tiré du document de William Martin Rosset), afin de déterminer le ratio entre ces deux catégories. Ce ratio est ensuite utilisé pour pondérer les valeurs de l'IDELE. Les valeurs retenues sont les suivantes, pondérées par les effectifs de l'IFCE :

- Jument : utilisation de la valeur IDELE « Trait – jument suitée » ;
- Etalon : utilisation de la valeur IDELE « Sports et loisirs – Cheval au travail » multipliée par le ratio recalculé à partir des données de William Martin Rosset ;
- Naissance : pondération de la valeur IDELE « Trait – poulain/pouliche de 12-24 mois » pour ne prendre en compte que 5 mois d'excrétion (hypothèse Citepa) ;
- Solde de la catégorie : utilisation de la valeur recalculée pour l'étalon ci-dessus.

Pour la catégorie SAA ânes, mulets, bardot, le calcul a été effectué à partir des équations de William Martin Rosset, pour un âne d'un poids vif moyen de 165 kg (poids tiré du document de William Martin Rosset) et pour un mulet d'un poids vif moyen de 250 kg (poids tiré du document de William Martin Rosset). La pondération entre ces deux sous-catégories est tirée des données de l'IFCE [984].

Pour les lapines reproductrices

Les facteurs d'excrétion azotés (Fex) sont issus des travaux de Aubert et Coutelet [655] et correspondent aux lapines et à leurs suites.

Pour les cervidés d'élevage

Faute de données spécifiques pour les cervidés d'élevage, la valeur définie pour les ovins leur est attribuée.

Récapitulatif des références pour l'excrétion azotée

Le tableau suivant récapitule les différentes sources des Fex par catégorie animale de la SAA :

Tableau 18 : Récapitulatif des sources utilisées pour le calcul des facteurs d'excrétion azotée

Catégorie SAA	Descriptif rapide
Vaches laitières	CORPEN 1999 + Données CNIEL 2007 et 2018 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Vaches nourrices	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Mâles de type viande de plus de 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	CORPEN 2001 + Données CIV 2012 (part foin/ensilage d'herbe/ensilage maïs)
Veaux de boucherie	CORPEN 2001 - Consommation de lait exclusivement
Autres femelles de moins de 1 an	CORPEN 2001 + Moyenne (foin ; ensilage d'herbe)
Autres mâles de moins de 1 an	CORPEN 2001 + Ensilage de maïs exclusivement
Porcelets non sevrés (<8kg)	Excrétion azotée nulle car déjà comptabilisée chez les truies
Porcelets sevrés de 8 à 30 kg	Recalcul à partir des productions, du GTE, du RMT, et de l'évolution de l'alimentation biphase (enquêtes)
Truies de 50 kg et plus	RMT + Evolution de l'alimentation biphase (enquêtes)
Verrats de 50 kg et plus	Hypothèse d'une excrétion azotée égale à celle des truies
Porcs à l'engrais de 30 kg et plus	Recalcul à partir des productions, du GTE, du RMT, et de l'évolution de l'alimentation biphase (enquêtes)
Chevrettes	IDELE 2016
Chèvres (femelles ayant mis bas)	IDELE 2016
Autres caprins (y compris boucs)	IDELE 2016 + MONDFERENT II
Agnelles	IDELE 2016
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	IDELE 2016
Brebis mères laitières (y c. réforme)	IDELE 2016
Autres ovins (y compris béliers)	IDELE 2016 + MONDFERENT II
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	IDELE 2016 + données IFCE
Chevaux lourds	IDELE 2016 + ratio William Martin Rosset + données IFCE
Anes, mulets, bardots	William Martin Rosset + données IFCE
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Poules pondeuses d'œufs de consommation	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Poulettes	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Canards à gaver	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Canards à rôti	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Dindes et dindons (au 1er octobre)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Oies au 1er octobre (à rôti, à gaver)	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Pintades	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020

Catégorie SAA	Descriptif rapide
Cailles d'élevage	CORPEN 1996 - 2006 - 2012 + ITAVI 2020
Lapines reproductrices	Aubert et Coutelet

Les Fex suivants sont obtenus pour la métropole, par catégorie animale détaillée :

Tableau 19 : Evolution des Fex en métropole par catégorie animale détaillée (kg N/tête/an)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Vaches laitières	104,2	107,5	108,5	110,9	112,7	114,8	116,0	116,8
Vaches nourrices	107,3	107,4	107,9	107,6	107,5	108,0	108,0	108,0
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69,6	69,7	69,8	69,5	69,2	69,2	69,1	69,1
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	67,0	67,0	67,3	67,0	66,9	66,9	66,9	66,9
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	50,1	50,1	50,2	50,0	49,6	49,6	49,6	49,6
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79,1	79,1	79,1	78,7	78,3	78,4	78,6	78,6
Mâles de type viande de plus de 2 ans	77,8	77,9	78,3	77,9	77,7	77,8	77,8	77,7
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53,5	53,5	53,5	53,4	53,3	53,3	53,2	53,2
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51,1	51,1	51,3	51,1	51,1	51,1	51,1	51,1
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	40,7	40,7	40,8	40,6	40,5	40,5	40,5	40,5
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	57,8	57,8	57,8	57,6	57,6	57,5	57,6	57,6
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	56,4	56,5	56,5	56,3	56,1	56,2	56,1	56,2
Veaux de boucherie	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Autres femelles de moins de 1 an	26,5	26,5	26,6	26,7	26,8	26,8	26,8	26,8
Autres mâles de moins de 1 an	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
Porcelets non sevrés (<8kg)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	3,8	4,1	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,4
Truies de 50 kg et plus	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7	20,7
Verrats de 50 kg et plus	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7	20,7
Porcs à l'engrais (>30kg)	12,9	14,2	13,9	13,0	12,8	12,3	12,0	12,7
Chevrettes	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
Autres caprins (y compris boucs)	9,1	9,1	9,1	9,1	9,5	10,1	10,7	10,7
Agnelles	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Brebis mères laitières (y c. réforme)	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
Autres ovins (y compris béliers)	3,9	3,9	3,9	3,9	4,2	4,8	5,3	5,3
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Chevaux lourds	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8
Anes, mulets, bardots	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Poules pondeuses d'œufs à couvrir	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Poulettes	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Canards à gaver	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,3	0,3
Canards à rôtir	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3
Dindes et dindons (au 1er octobre)	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Pintades	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Cailles d'élevage	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Lapines reproductrices	8,1	8,1	7,7	7,5	7,3	7,5	7,5	7,5

Le tableau suivant présente les Fex par catégorie animale agrégée au périmètre UE :

Tableau 20 : Evolution des Fex au périmètre UE par catégorie animale agrégée (kg N/tête/an)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Vaches laitières	104,2	107,5	108,5	110,9	112,7	114,8	116,0	116,8
Autres bovins	57,3	59,1	58,8	59,1	59,6	59,6	60,0	60,0
Truies	24,6	24,6	22,4	21,5	21,0	20,7	20,7	20,7
Autres porcins	8,4	9,2	9,1	8,8	8,7	8,6	8,4	8,8
Caprins	14,6	14,5	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,5
Ovins	10,7	11,0	11,1	11,0	11,2	11,3	11,3	11,4
Chevaux	54,2	53,3	52,9	52,6	52,5	52,6	52,5	52,5
Mules et ânes	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Poules	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Poulets	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Autres volailles	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
Lapines reproductrices	8,1	8,1	7,7	7,5	7,3	7,5	7,5	7,5

Rappel : les cervidés d'élevage (Nouvelle-Calédonie uniquement) se voient attribuer le Fex des ovins faute de données spécifiques disponibles.

Excrétions carbonées

L'excrétion carbonée des animaux est utilisée pour estimer les émissions de CH₄ liées à la gestion des déjections. Le paramètre représentant cette excrétion est noté SV pour Solides Volatiles. Les méthodes d'estimation varient selon les catégories animales.

Vaches laitières

La méthode d'estimation détaillée est disponible en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV »).

L'excrétion carbonée des vaches laitières est estimée au niveau des anciennes régions, selon une méthode nationale

produite par l'Inrae et publiée dans la revue « Journal of Environmental Management » (Eugene, et al (2019) [986]). Cette méthode permet d'estimer de manière cohérente le méthane entérique et le SV. Le paramètre SV est divisé en deux parties :

$$SV = SV \text{ fèces} + SV \text{ urine}$$

Le paramètre SV fèces est représenté dans la méthode nationale par la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI) :

$$SV \text{ fèces} = MONDI = MOI - MODI$$

Avec : $MOI = \text{Matière Organique Ingérée (kg/jour)}$;

$MODI = \text{Matière Organique Digestible Ingérée (kg/jour)}$

La matière organique ingérée et la matière organique digestible ingérée sont estimées à partir des besoins des vaches laitières, évalués selon la méthode Inrae [1315], et des données sur les rations issues d'un document du Cniel [1316]. La méthode, via les différentes équations mobilisées, permet également de tenir compte des interactions digestives.

Le paramètre SV urine est estimé selon l'équation proposée dans le Giec, à partir de l'énergie brute intégrée :

$$SV \text{ urine} = (0,04 \times EB) \times (MO / 1000 / 18,45)$$

Avec : $EB = \text{Energie Brute ingérée (MJ/jour)}$;

$MO = \text{teneur en matière organique de la ration (g/kg MS)}$

L'énergie brute ingérée découle de la matière sèche ingérée et de la teneur en énergie de la ration, variables estimées à partir des mêmes données que celles mentionnées pour la MOI et la MODI.

L'excrétion carbonée totale obtenue varie au cours du temps et selon les régions.

Autres bovins

La méthode d'estimation détaillée est disponible en annexe « A.3 Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV ».

Pour les autres bovins, les valeurs du paramètre SV sont issues du projet Mondferent I [508, 509]. Le projet Mondferent I a permis d'estimer, par sous-catégorie bovine, les quantités de Matière Organique Digestible Ingérées (MODI) utilisées pour calculer le CH_4 entérique. Les données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] combinées avec les caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'INRA [658], permettent également de calculer les quantités de Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI), grâce à un ratio MONDI/MODI calculé par type de production (lait/viande) et par mode d'alimentation (auge/pâturage). Ce ratio MONDI/MODI est appliqué à la MODI pour obtenir la MONDI. La MONDI ainsi calculée correspond aux fèces (MONDI fèces), et ne tient pas compte de la MONDI des urines (MONDI urines).

Contrairement au Giec 2019, la méthode Mondferent I est fondée sur l'utilisation de la Matière Organique Non Digestible et non des énergies. Dans la méthodologie Mondferent I, l'hypothèse est faite que la matière organique contenue dans les urines n'émettra que très peu de CH_4 : le SV urine est alors négligé dans les calculs. Des recherches complémentaires sont à effectuer pour estimer les potentiels méthanogènes de la matière organique contenue dans les urines. On obtient donc :

$$SV = SV \text{ fèces} + SV \text{ urine, avec } SV \text{ fèces} = MONDI \text{ fèces et } SV \text{ urine} = 0$$

Les SV calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins, et sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). Cependant, il est important de noter que du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le paramètre SV pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement.

Porcins

Pour les porcins, les valeurs du paramètre SV sont issues du projet Mondferent II [966], qui propose des valeurs pour les porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg), les porcs à l'engrais (>30kg) et les truies. Le SV des porcelets non sevrés (<8kg) est égal à 0 car on considère qu'il est déjà pris en compte dans celui des truies.

La méthodologie appliquée est celle développée par Rigolot et al [793]. Dans cette méthode, le SV est assimilé à la matière organique excrétée (OM excreted). Ce paramètre est estimé à partir de l'ingestion de matière organique et de la digestibilité associée. L'ingestion de matière organique est calculée à partir d'une ration alimentaire moyenne et d'une teneur moyenne en matière organique de la ration. La matière organique excrétée correspond à la fraction non digérée de la matière organique. L'équation suivante est appliquée :

$$\text{OM excreted (kg/tête)} = \text{Aliment} \times [(\text{FeedOM1}) \times (1-\text{dOM1}) \times \text{Prop1} + (\text{FeedOM2}) \times (1-\text{dOM2}) \times \text{Prop2}]$$

Avec : *Aliment* = quantité d'aliment ingérée au cours de la vie de l'animal (kg/tête) ;

FeedOM1 et FeedOM2: teneur moyenne en matière organique des aliments (kg/kg) ;

dOM1 et dOM2 : digestibilité de la matière organique des aliments ;

Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments

Le paramètre Aliment (kg/animal) pour les porcins (post-sevrage et engraissement) provient des documents de Gestion Technico-économiques publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Pour les truies, ce paramètre est fixe dans le temps et provient du projet Mondferent II.

Les teneurs en matière organique des aliments sont fixes dans le temps mais sont distinguées selon le mode d'alimentation : standard ou biphasé. Elles ont été formulées à dire d'experts dans le projet Mondferent II. Dans la formule ci-dessus, les paramètres FeedOM1 ; dOM1 ; Prop1 ; FeedOM2 ; dOM2 et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphasé. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres FeedOM1 ; dOM1 et Prop1 sont non nuls. La part des animaux gérés en alimentation biphasé est connue grâce aux enquêtes bâtiments d'élevage 2001, 2008 (voir section « Systèmes de gestion des déjections animales ») et grâce à l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980].

Pour les catégories porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg) et les porcs à l'engrais (<30kg), le paramètre SV (OM excreted) ainsi calculé évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphasé sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphasé sur la période.

Pour calculer le SV final à appliquer à ces deux sous-catégories porcines, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les SV sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE). Ces données sont ensuite corrigées pour tenir compte des taux de pertes et saisies, publiés chaque année par l'IFIP au sein de ses documents de Gestion Technico-économiques jusqu'en 2016 [505]. Depuis, ces données ne sont plus publiques. Les données pour 2020 ont été fournies directement par l'IFIP au Citepa, permettant d'estimer les années manquantes en interpolant les valeurs entre 2016 et 2020. Ces données ont également été transmises pour 2021 et 2022. Les SV du projet MONDFERENT II sont appliqués à ces données de productions corrigées. Les quantités totales de SV excrétées ainsi calculées sont ensuite utilisées pour recalculer un SV moyen en rapportant ces quantités aux populations tirées de la SAA [410] et retravaillées par le Citepa (voir section « Agriculture | Introduction »).

Faute de données spécifiques aux verrats, le SV des truies leur est attribué. Cela pourra évoluer à l'avenir pour être plus représentatif de cette catégorie.

Les SV calculés sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). En plus des variations annoncées plus haut, du fait de la variation annuelle des effectifs de la sous-catégorie « Autres porcins », le SV pour la catégorie agrégée varie annuellement.

Ovins et Caprins

Pour les ovins et les caprins, le SV est estimé à partir des travaux Mondferent II [796,797]. La méthodologie est décrite en section « Fermentation entérique – 3A ».

Pour rappel, le projet Mondferent II a permis d'estimer, par sous-catégorie animale, les quantités de Matière Organique Digestible Ingérées (MODI) utilisées pour calculer le CH₄ entérique. Les sous-catégories étudiées sont les suivantes :

- Ovins : brebis laitières, brebis allaitantes, agnelles laitières, agnelles allaitantes, agneaux de race rustique, béliers.
- Caprins : chèvres laitières, chevrettes, chevreux, boucs.

A partir des types et ingrédients des rations, des niveaux d'ingestion et des besoins en nutriments, la Matière Sèche Ingérée (MSI) et la Matière Organique de la ration (MO) sont estimées. Puis, la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI) des fèces, correspondant au SV fèces, est obtenue de la façon suivante :

$$\text{SV fèces} = \text{MONDI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 - \text{MODI}$$

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ;
MO = Matière Organique (g/kg MSI) ;
MODI = Matière Organique Digestible Ingérée (kg)

Pour ce projet, l'objectif était d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006 (cohérentes sur ce point avec le Giec 2019), et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de CH₄. Le SV urine est obtenu de la façon suivante :

$$\text{SV urine (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 \times \text{EU/EB}$$

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ;
MO = Matière Organique (g/kg MSI) ;
EU/EB : rapport entre l'énergie urinaire et l'énergie brute

Le rapport EU/EB est calculé selon l'équation suivante, provenant de Sauvant et Giger-Reverdin (2009) [794] :

$$\text{EU/EB} = 5,7 - 0,71 \text{ NI}$$

Avec : NI = niveau d'ingestion

Les SV fèces et SV urine sont sommés pour obtenir le SV total.

Les SV calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans Mondferent II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »). Du fait de la variation annuelle des effectifs de ces sous-catégories animales, les SV pour les catégories agrégées « ovins » et « caprins » varient annuellement.

Autres animaux

Pour les équins, l'équation 10.22A issue du Giec 2019 a été appliquée. Les valeurs suivantes ont été retenues pour les différents paramètres nécessaires au calcul :

Tableau 21 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des équins

Catégorie SAA	Paramètre	Source	Valeur
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Western Europe	5,65 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Retraitement des données Idele [983]	479 kg
Chevaux lourds	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Western Europe	5,65 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Retraitement des données Idele [983]	700 kg
Anes, mulets, bardots	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	7,2 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Retraitement des données William MARTIN-ROSSET [473]	176 kg

Les SV obtenus sont listés plus bas (tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV »).

Pour les volailles, l'estimation du SV faisait partie des objectifs visés par le projet Mondferent II. Lors de ce projet, des équations spécifiques ont été établies pour les volailles, en utilisant la digestibilité de l'énergie en première approche de la digestibilité de la matière organique. Dans les conclusions du projet, il n'est pas conseillé d'utiliser les résultats du projet car il est indiqué que la digestibilité de l'énergie ne reflète pas si bien la digestibilité de la matière organique, et les équations proposées conduiraient à une surestimation des SV. Il est de plus indiqué qu'il faudrait pouvoir recalculer ces excréments carbonés en utilisant la digestibilité réelle de la matière organique, pour améliorer les estimations de ce paramètre.

Ainsi, le choix a été fait ici d'appliquer plutôt l'équation 10.22A issue du Giec 2019. Les poids vifs moyens pour chacune des sous catégories sont issus de différentes sources de données :

- les données d'abattages issues des statistiques Agreste [410] qui fournissent des poids moyens à l'abattage en kg carcasse/tête ;
- les données Itavi de performances techniques [1255] [1256] [1257] qui fournissent des poids de poules de réforme et des poids vif à l'enlèvement ;
- le rapport final Itavi/Ademe pour les poulets de chair [801] qui fournit des poids vifs finaux (kg/animal) pour les poulets export et lourd ;
- les données Corpen 2006 et 2012 [504] utilisées pour estimer l'excrétion azotée en volailles , qui fournissent des poids moyens à l'abattage.

Pour les poules pondeuses, on considère que le poids à la réforme correspond au poids vif moyen sur la durée d'élevage. Pour les autres productions, le poids vif moyen est estimé en divisant le poids à l'enlèvement par deux. FC

Les valeurs données dans le tableau suivant pour les poids présentent la plage de valeurs 1990-2023 :

Tableau 22 : Paramètres utilisés pour l'estimation des SV des volailles

Catégorie SAA	Paramètre	Source	Valeur
Poules pondeuses d'œufs à couver	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Western Europe	8,6 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	Hypothèse d'équivalence avec les poules pondeuses d'œufs de consommation	1,99 kg – 1,82 kg
Poules pondeuses	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Western Europe	8,6 kg SV/1000 kg animal/jour

Catégorie SAA	Paramètre	Source	Valeur
d'œufs de consommation	Poids vif moyen	2016 – 2019 : poids des poules de réforme [1255] Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,99 kg – 1,82 kg
Poulettes	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Western Europe	5,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	0,78 kg – 0,92 kg
Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Western Europe	16,1 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] [1257] et poids vifs finaux [801] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	0,90 kg – 1,11 kg
Canards à gaver	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	7,4 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2019 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1258] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,99 kg – 1,88 kg
Canards à rôtir	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	7,4 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	1,93 kg – 2,05 kg
Dindes et dindons (au 1er octobre)	Taux SV (VS rate)	Giec 2019	10,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux. Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	4,19 kg – 5,89 kg
Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Total « poultry » - Western Europe	12,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	3,51 kg – 3,72 kg
Pintades	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Total « poultry » - Western Europe	12,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	2016 – 2020 : poids vifs à l'enlèvement [1256] divisés par deux.	0,82 kg – 0,91 kg

Catégorie SAA	Paramètre	Source	Valeur
		Pour le reste de la période : évolution indexée sur la variation des poids moyens à l'abattage [410]	
Cailles d'élevage	Taux SV (VS rate)	Giec 2019 – Total « poultry » - Western Europe	12,3 kg SV/1000 kg animal/jour
	Poids vif moyen	1990-2006 : poids moyens à l'abattage de l'année 2006 [504] divisés par deux ; 2012-année en cours : poids moyens à l'abattage de l'année 2012 [504] divisés par deux ; 2007-2011 : interpolation linéaire	0,14 kg – 0,13 kg

Les SV ainsi estimés varient dans le temps par sous-catégorie animale, les plages 1990-2023 sont présentées dans le tableau « Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV » ci-dessous.

Pour les lapines et les cervidés d'élevage, le paramètre SV prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229].

Tableau 23 : Récapitulatif des valeurs et méthodes d'estimation pour le SV

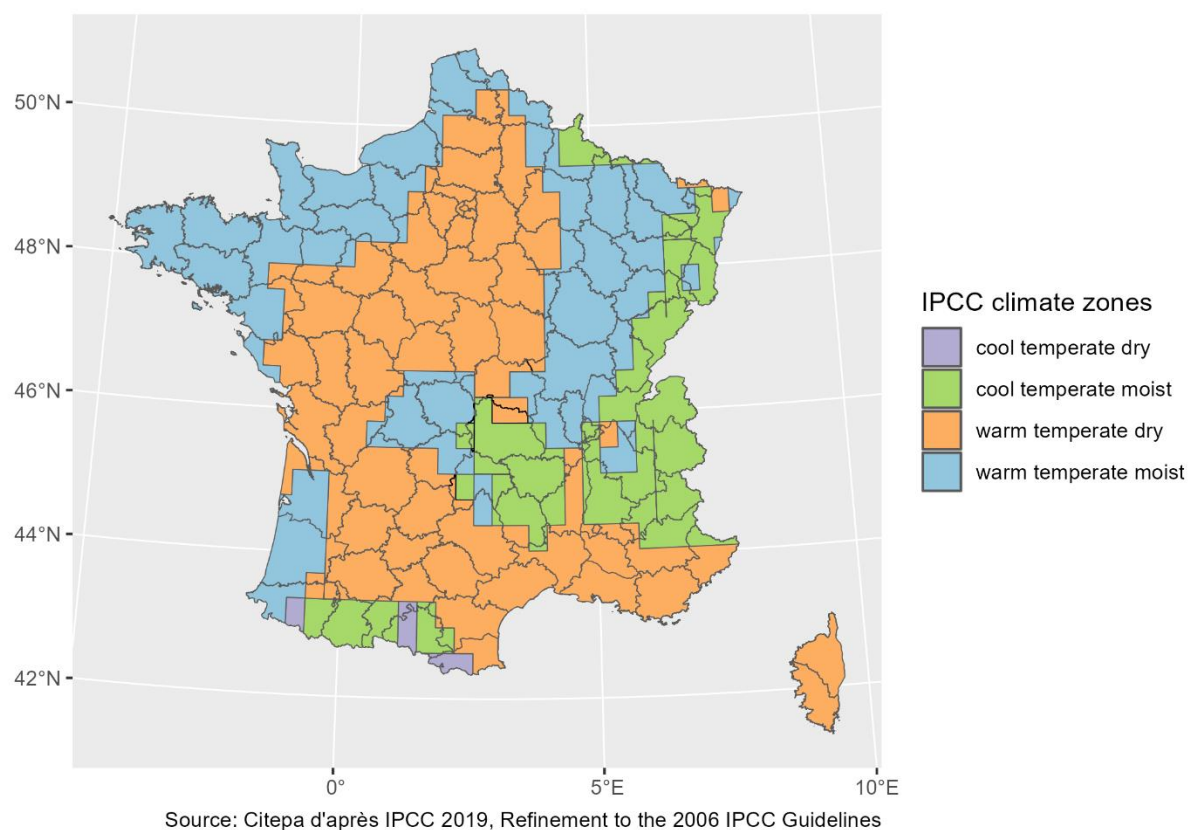
Catégorie animale		SV (kg SV/jour)	Provenance du SV
Vaches laitières		4,62 - 6,5	Eugene, et al (2019)
Autres bovins	Vaches nourrices	2,86	Mondferent I
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,64	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,18	Mondferent I
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,55	Mondferent I
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,56	Mondferent I
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,56	Mondferent I
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,89	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,81	Mondferent I
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,07	Mondferent I
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,31	Mondferent I
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,73	Mondferent I
	Veaux de boucherie	0,85	Mondferent I
	Autres femelles de moins de 1 an	0,82	Mondferent I
	Autres mâles de moins de 1 an	0,87	Mondferent I
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,00	Mondferent II
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,06 - 0,08	Mondferent II
	Verrats de 50 kg et plus	0,38 - 0,4	Mondferent II
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,21 - 0,25	Mondferent II

Catégorie animale		SV (kg SV/jour)	Provenance du SV
Truies de 50 kg et plus			0,38 - 0,4
Caprins	Chevrettes	0,42	Mondferent II
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	1,15	Mondferent II
	Autres caprins (y compris boucs)	0,46 - 0,54	Mondferent II
Ovins	Agnelles	0,39 - 0,4	Mondferent II
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	0,63	Mondferent II
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	1,04	Mondferent II
	Autres ovins (y compris béliers)	0,22 - 0,24	Mondferent II
Chevaux	Chevaux de selle, sport, loisirs et course	2,71	Giec 2019
	Chevaux lourds	3,96	Giec 2019
Mules et ânes	Anes, mulets, bardots	1,28	Giec 2019
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	0,017 - 0,016	Giec 2019
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	0,017 - 0,016	Giec 2019
	Poulettes	0,004 - 0,005	Giec 2019
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	0,015 - 0,018	Giec 2019
	Canards à gaver	0,015 - 0,014	Giec 2019
	Canards à rôtir	0,014 - 0,015	Giec 2019
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	0,043 - 0,061	Giec 2019
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,043 - 0,046	Giec 2019
	Pintades	0,01 - 0,011	Giec 2019
	Cailles d'élevage	0,0017 - 0,0016	Giec 2019
Autres	Lapines reproductrices	0,10	Giec 2019
	Cervidés d'élevage	0,39	Giec 2019

Zones climatiques

Dans le raffinement 2019 aux lignes directrices du Giec 2006, plusieurs facteurs d'émission sont distingués en fonction de la zone climatique dans laquelle ils se situent. Les zones climatiques sont définies par la carte des climats du Giec (Chapitre 3, Figure 3A.5.1, p 3.47 [1229]) et selon un schéma de classification (Chapitre 3, Figure 3A.5.2 p 3.48) prenant en compte plusieurs variables dont notamment les précipitations annuelles moyennes et l'évapotranspiration. Si les variables d'entrée de ce système de classification existent à un niveau plus fin au niveau français, les données ne sont pas accessibles gratuitement aussi le choix a été fait de retenir la carte des climats proposée par le Giec [1229] (Figure 20). Cette carte permet de distinguer les climats « humides » (moist climates) et « secs » (dry climates) utiles pour décliner le facteur d'émission du N₂O à l'épandage des engrais azotés notamment. Elle permet également une répartition supplémentaire en lien avec les températures annuelles moyennes, utile pour décliner les facteurs d'émission de CH₄ du stockage des déjections. Une carte interactive est disponible à l'adresse suivante pour l'ensemble des pays du monde : <https://abc-map.users.earthengine.app/view/next-ipcc-climate-zones>

Figure 20. Carte des climats Giec 2019 centrée sur la France



Les climats humides (moist climates) se rencontrent dans les zones tempérées et boréales où le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle est supérieur à 1, et dans les zones tropicales où les précipitations annuelles sont supérieures à 1 000 mm.

Les climats secs (dry climates) se rencontrent dans les zones tempérées et boréales où le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle est inférieur à 1, et dans les zones tropicales où les précipitations annuelles sont inférieures à 1 000 mm.

Les zones « warm temperate » correspondent à des zones où la température annuelle moyenne est supérieure à 10°C. Les zones « cool temperate » correspondent à des zones où la température annuelle moyenne est supérieure à 0°C mais inférieure ou égale à 10°C.

Sur la base de cette carte une estimation des surfaces pour chacun des quatre climats a été réalisée au niveau départemental et est reportée au niveau régional ci-dessous. Pour la métropole l'analyse a été réalisée par intersection de couches de données spatialisées (traitement SIG). Ainsi, on estime que 51.8 % du territoire métropolitain se situe en climat humide et 48.2 % en climat sec selon la méthodologie du Giec (Tableau 24).

Tableau 24. Répartition des surfaces en hectares selon la zone climatique en Métropole

Km ²	Surfaces en climat "cool temperate dry"	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "warm temperate dry"	Surfaces en climat "warm temperate moist"
Ile-de-France	0	0	12 065	0
Champagne-Ardenne	0	3 220	7 908	14 604
Picardie	0	0	15 096	4 422
Haute-Normandie	0	0	1 429	10 940

Km ²	Surfaces en climat "cool temperate dry"	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "warm temperate dry"	Surfaces en climat "warm temperate moist"
Centre	0	0	37 026	2 472
Basse-Normandie	0	0	384	17 394
Bourgogne	0	2	13 233	18 470
Nord-Pas-de-Calais	0	0	2 993	9 489
Lorraine	0	5 396	449	17 839
Alsace	0	5 653	938	1 729
Franche-Comté	0	9 426	0	6 852
Pays de la Loire	0	0	20 982	11 404
Bretagne	0	0	1 074	26 395
Poitou-Charentes	1	1	24 981	930
Aquitaine	1 318	2 278	21 559	16 573
Midi-Pyrénées	2 337	10 181	31 907	1 382
Limousin	5	869	3 095	13 077
Rhône-Alpes	0	27 692	6 368	10 857
Auvergne	0	15 011	6 634	4 495
Languedoc-Roussillon	1 599	5 414	20 785	0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0	9 923	21 946	0
Corse	0	0	8 749	0
France Métropolitaine	5 260	95 066	259 602	189 323

Tableau 25 : Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Métropole

%	Surfaces en climat "cool temperate dry"	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "warm temperate dry"	Surfaces en climat "warm temperate moist"
Ile-de-France	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
Champagne-Ardenne	0.0%	12.5%	30.7%	56.8%
Picardie	0.0%	0.0%	77.3%	22.7%
Haute-Normandie	0.0%	0.0%	11.6%	88.4%
Centre	0.0%	0.0%	93.7%	6.3%
Basse-Normandie	0.0%	0.0%	2.2%	97.8%
Bourgogne	0.0%	0.0%	41.7%	58.3%
Nord-Pas-de-Calais	0.0%	0.0%	24.0%	76.0%
Lorraine	0.0%	22.8%	1.9%	75.3%
Alsace	0.0%	67.9%	11.3%	20.8%
Franche-Comté	0.0%	57.9%	0.0%	42.1%
Pays de la Loire	0.0%	0.0%	64.8%	35.2%
Bretagne	0.0%	0.0%	3.9%	96.1%
Poitou-Charentes	0.0%	0.0%	96.4%	3.6%
Aquitaine	3.2%	5.5%	51.7%	39.7%
Midi-Pyrénées	5.1%	22.2%	69.7%	3.0%
Limousin	0.0%	5.1%	18.2%	76.7%
Rhône-Alpes	0.0%	61.7%	14.2%	24.2%
Auvergne	0.0%	57.4%	25.4%	17.2%
Languedoc-Roussillon	5.8%	19.5%	74.8%	0.0%

%	Surfaces en climat "cool temperate dry"	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "warm temperate dry"	Surfaces en climat "warm temperate moist"
Provence-Alpes-Côte d'Azur	0.0%	31.1%	68.9%	0.0%
Corse	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
France Métropolitaine	1.0%	17.3%	47.3%	34.5%

Pour les territoires d'Outre-mer, une simple lecture graphique a été réalisée. Les climats rencontrés sont les suivants :

- cool temperate moist (cf. définition plus haut),
- tropical wet (température annuelle moyenne supérieure à 18°C, précipitations annuelles moyennes supérieures à 2000 mm),
- tropical moist (température annuelle moyenne supérieure à 18°C, précipitations annuelles moyennes supérieures à 1000 mm et inférieure ou égale à 2000 mm).

Tableau 26. Répartition des surfaces en pourcentages selon la zone climatique en Outre-Mer

%	Surfaces en climat "cool temperate moist"	Surfaces en climat "tropical wet "	Surfaces en climat "tropical moist"
Guadeloupe	-	100 %	-
Guyane	-	100 %	-
Martinique	-	100 %	-
La Réunion	-	-	100 %
Mayotte	-	-	100 %
Saint-Martin	-	-	100 %
Nouvelle-Calédonie	-	-	100 %
Polynésie française	-	-	100 %
Saint Pierre et Miquelon	100 %	-	-
Wallis et Futuna	-	100 %	-

Clé de répartition infranationale des apports d'azote minéraux

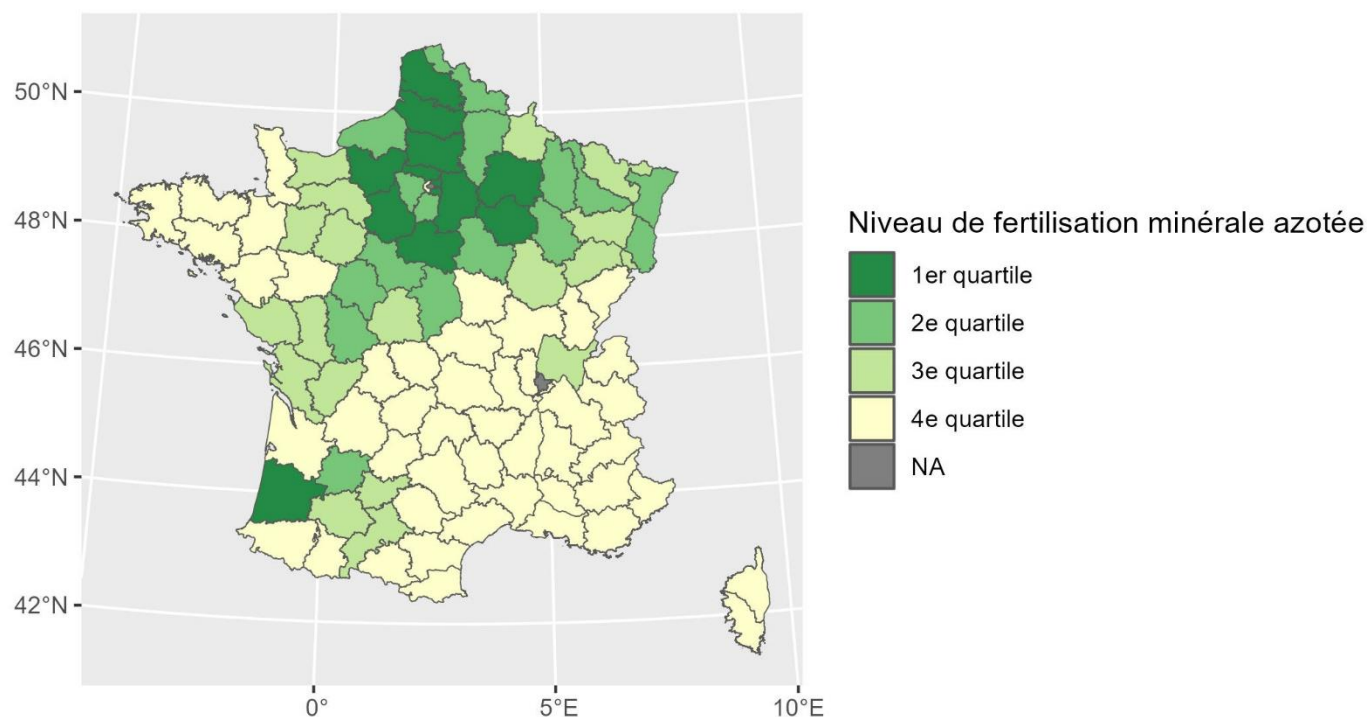
Les apports d'engrais minéraux par département ont été estimés afin de pouvoir décliner le facteur d'émission du N₂O (FE1) selon la zone climatique du Giec (Figure 20). Toutefois, le suivi spatialisé de l'azote pouvant s'avérer utile à d'autres calculs d'émission dans le futur (NH₃ par exemple) la méthodologie de répartition des apports régionaux d'engrais minéraux est détaillée dans cette section « Agriculture | Introduction ».

Le service statistique du Ministère de l'Agriculture (SSP) collecte ponctuellement les données sur la fertilisation en France à partir des enquêtes pratiques culturales [485]. Plusieurs enquêtes ont été conduites, sur différents périmètres :

- Grandes cultures : 2001, 2006, 2011, 2017, 2021 ;
- Prairies : 2001, 2006, 2011, 2017 ;
- Viticulture : 2006, 2013.

Ces enquêtes fournissent des informations sur les niveaux de fertilisation par type de culture à l'échelle régionale. Lorsque les données sont manquantes, la référence de la dernière année disponible est utilisée. Sur la base des cultures pour lesquelles un niveau de fertilisation est renseigné une correspondance est réalisée pour lier ces quantités de fertilisation aux surfaces déclarées dans la statistique agricole annuelle (Figure 21).

Figure 21. Estimation de la répartition de la fertilisation minérale azotée en 2023. Source : Citepa d'après enquêtes pratiques culturales 2021, SAA



En croisant les informations sur les climats à l'échelle départementale (Figure 20) et l'estimation de la répartition de la fertilisation minérale (Figure 21), il est possible d'estimer des apports annuels moyen au département par climat. Pour une région r , un département d , une culture c l'estimation des apports annuels d'engrais minéraux par département ($\widehat{F_{SN_d}}$) est ainsi réalisée selon l'équation suivante :

$$\widehat{F_{SN_d}} = \sum_c \overline{A_{SN_{r,c}}} \cdot S_{d \in r, c}$$

Avec : $S_{d \in r, c}$ les superficies en culture c ;

$\overline{A_{r,c}}$ les apports régionaux moyens sur la culture c

Ce calcul fournit des valeurs en tonnages d'azote toutefois c'est une information qui est disponible de façon plus fiable au niveau métropolitain grâce aux livraisons d'engrais issus de l'UNIFA. Aussi cette estimation permet d'établir une clé de répartition des consommations nationales (C), estimées à partir des livraisons nationales, pour estimer les apports :

$$F_{SN_d} = C \times \frac{\widehat{F_{SN_d}}}{\sum_d \widehat{F_{SN_d}}}$$

Tableau 27. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021

Région	Blé tendre	Blé dur	Orge de printemps	Orge d'hiver	Avoine de printemps	Avoine d'hiver	Maïs grain	Sorgho	Triticale	Mélange céréales
Alsace	169	192	118	130	65	73	192	94	94	120
Aquitaine	171	192	118	111	65	73	200	133	99	123
Auvergne	144	192	118	102	65	73	165	94	86	112
Basse-Normandie	160	192	99	119	72	108	143	94	107	121
Bourgogne	160	192	111	139	65	72	145	94	96	119
Bretagne	134	192	56	119	65	64	25	94	96	103
Centre	177	223	121	130	65	83	155	88	107	127
Champagne-Ardenne	195	192	141	151	86	73	136	94	98	133
Franche-Comté	162	192	118	130	65	73	143	94	103	119
Guadeloupe	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120
Haute-Normandie	185	192	95	144	65	73	143	94	94	121
Île-de-France	173	192	115	140	65	73	135	94	94	122
Languedoc-Roussillon	166	147	118	105	65	73	143	94	61	110
Limousin	166	192	118	130	65	73	143	94	85	120
Lorraine	158	192	113	139	67	73	140	94	113	119
Midi-Pyrénées	140	193	118	90	65	56	179	96	79	108
Nord-Pas-de-Calais	181	192	119	149	65	73	113	94	94	125
Pays de la Loire	141	205	62	116	65	70	90	94	99	107
Picardie	183	192	119	150	95	73	129	94	94	129
Poitou-Charentes	161	199	92	132	65	55	146	94	95	114
Provence-Alpes-Côte d'Azur	166	138	118	130	65	73	143	94	94	112
Réunion	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120
Rhône-Alpes	136	178	118	99	65	73	165	94	86	109
France	166	192	118	130	65	73	143	94	94	120

Tableau 28. Dose moyenne en kg/ha d'azote minéral apporté (comprend les parcelles non fertilisées) en 2021 et en 2017 pour les prairies

Région	Colza	Tournesol	Soja	Lin oléagineux	Féverole	Pois protéagin eux	Betterave sucrière	Pomme de terre	Lin fibre	Maïs fourrage	Prairie temporair e	Prairie permane nte
Alsace	156	44	2	69	1	1	94	145	30	72	42	25
Aquitaine	156	67	4	69	1	1	94	152	30	135	37	12
Auvergne	143	36	3	69	1	1	94	145	30	80	24	11
Basse-Normandie	144	44	3	69	1	1	94	145	27	65	42	22
Bourgogne	169	43	3	85	1	2	94	145	30	122	24	4
Bretagne	84	44	3	69	1	1	94	65	30	36	59	20
Centre	158	47	1	86	2	1	104	137	30	122	36	9
Champagne-Ardenne	166	50	2	69	1	2	83	145	30	122	42	18
Franche-Comté	165	44	1	69	1	1	94	145	30	143	28	17
Guadeloupe	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
Haute-Normandie	173	44	3	69	1	0	86	128	33	87	117	55
Île-de-France	179	44	3	69	1	1	97	141	30	72	42	20
Languedoc-Roussillon	164	17	3	69	1	1	94	145	30	72	39	20
Limousin	156	44	3	69	1	1	94	145	30	64	32	10
Lorraine	163	57	3	69	1	3	94	145	30	115	42	38
Midi-Pyrénées	157	42	2	12	1	1	94	145	30	85	40	12
Nord-Pas-de-Calais	173	44	3	69	1	6	91	159	28	99	42	77
Pays de la Loire	119	31	3	53	1	3	94	145	30	47	51	29
Picardie	171	44	3	69	1	0	102	156	24	107	42	24
Poitou-Charentes	158	41	2	59	1	0	94	116	30	94	42	13
Provence-Alpes-Côte d'Azur	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
Réunion	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20
Rhône-Alpes	145	45	4	69	1	1	94	145	30	117	37	21
France	156	44	3	69	1	1	94	145	30	72	42	20

Le graphique suivant présente l'évolution des apports moyens en azote minéral au niveau métropole au fil des enquêtes, pour les parcelles en blé tendre (incluant les parcelles non fertilisées) :

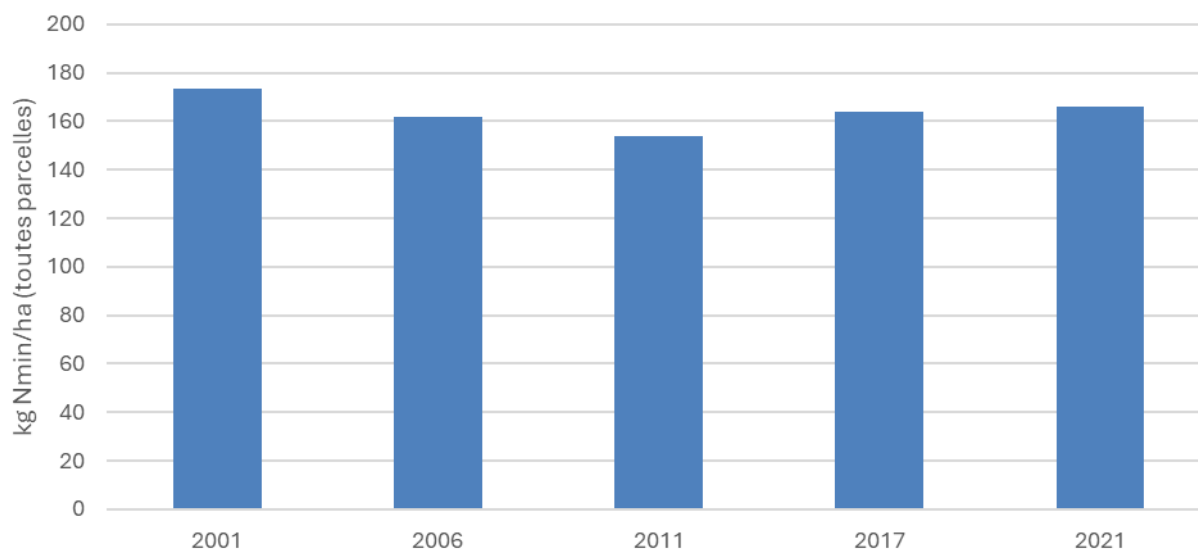


Figure 22 : Evolution des apports moyens en azote minéral sur blé tendre au niveau métropole (incluant les parcelles non fertilisées)

Surfaces, productions et rendements des cultures

Les surfaces en culture et les productions végétales associées utilisées dans le cadre de l'inventaire national sont tirées de la SAA. Cependant, elles n'interviennent que très peu dans le calcul des émissions de l'agriculture dans la mesure où les émissions des sols cultivés sont en grande partie estimées à partir des intrants. Elles n'apparaissent que dans le calcul associé aux résidus de culture mais permettent aussi d'appréhender le type de culture et leur évolution en France.

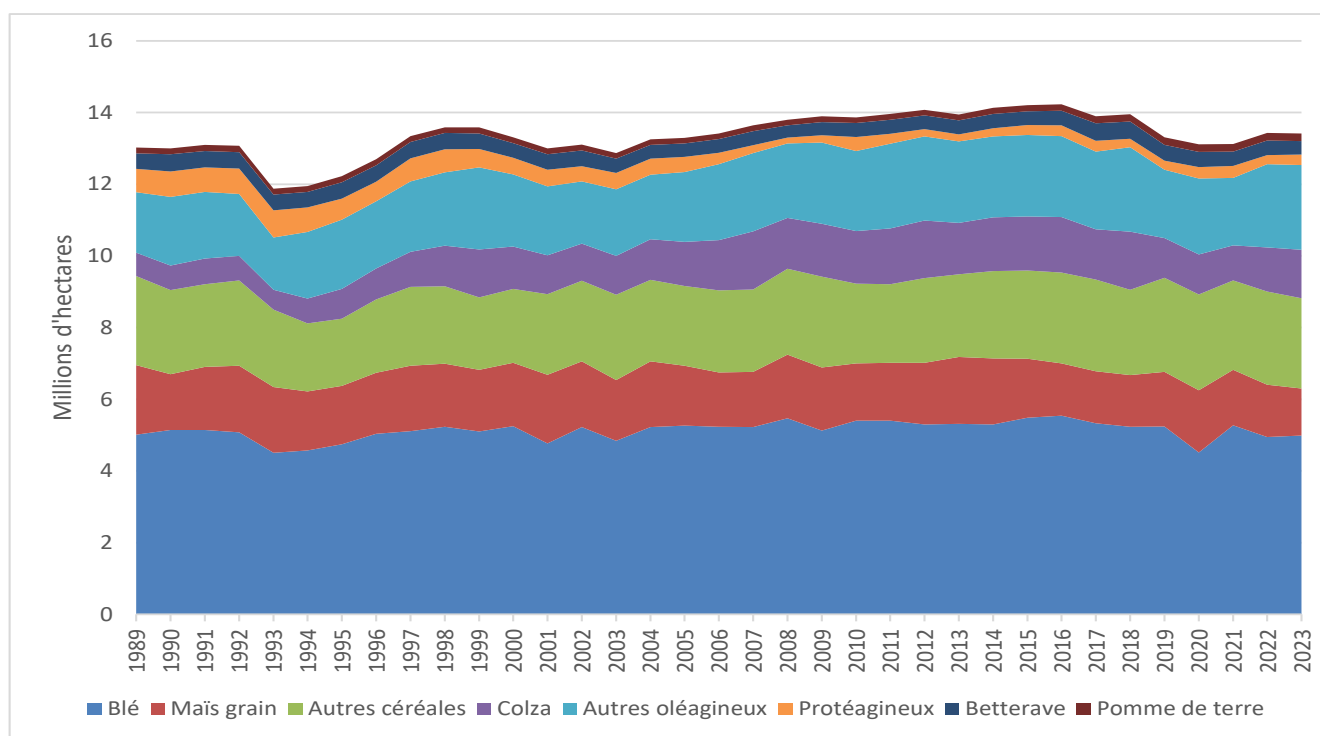
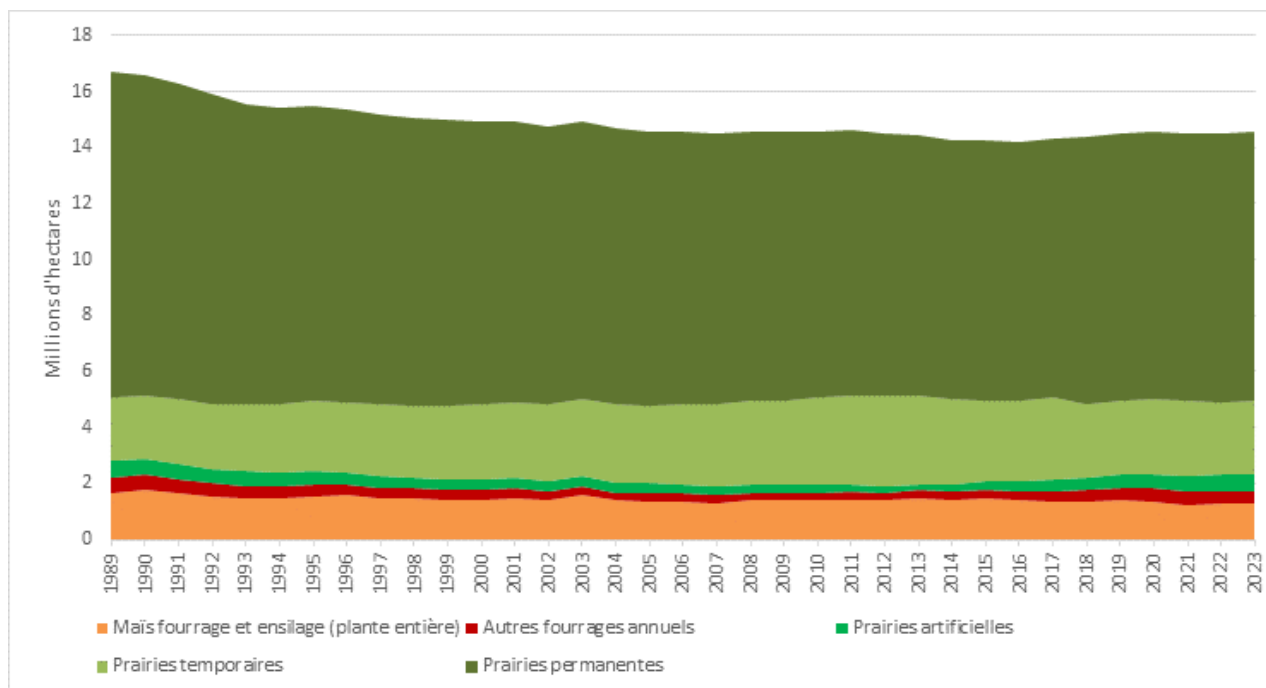


Figure 23 : Évolution des superficies cultivées des principales cultures en France métropolitaine – Source : Agreste - SAA

Figure 24 : Évolution des superficies fourragères en France métropolitaine – Source : Agreste – SAA



Evolution des surfaces et productions

Les surfaces cultivées restent relativement stables sur la période, avec néanmoins, dans les années 1990, un impact visible de la politique agricole commune (PAC). En 1992, les règles de la PAC ont été modifiées en profondeur pour rapprocher les prix de marché européen de ceux du marché mondial. Ainsi, les prix garantis aux agriculteurs ont été progressivement abandonnés. Pour compenser cette réduction, des aides directes ont été attribuées au producteur, non pas proportionnellement aux quantités produites, mais aux surfaces cultivées. Pour limiter les stocks, ces mesures ont été accompagnées de contraintes de réduction de la production, sous la forme de la mise en jachère obligatoire de 15 % des surfaces en céréales, oléagineux et protéagineux. Le régime d'aides aux cultures a été ensuite réformé à plusieurs reprises et a notamment conduit à la disparition de la quasi-totalité des aides qui avaient été maintenues couplées en France et à l'abandon de cette obligation de geler les terres à partir de 2009. En France, certains paiements couplés demeurent afin de soutenir des productions ou types d'agriculture qui risqueraient d'être abandonnés en cas de découplage total : il s'agit par exemple de versements d'aides pour la production de plantes riches en protéines soumises à des critères d'éligibilité spécifique à chacune des productions.

Les rendements des cultures sont eux assez variables d'une année sur l'autre, ce qui s'explique notamment par les conditions météorologiques, comme en 2003 où la sécheresse estivale a provoqué une baisse importante des rendements, ou encore l'année 2016 qui a vu un effondrement de la récolte de blé principalement du fait d'un manque d'ensoleillement et des pluies du début de l'été. En 2020, la production recule à nouveau. Les principales raisons identifiées sont les précipitations automnales qui ont rendu les conditions de semis en céréales difficiles voire impossibles entraînant un étalement inédit des dates de semis, et la sécheresse record qui a ensuite sévi au printemps. Pour l'année 2021, les surfaces cultivées en céréales retrouvent leurs niveaux de 2019 avec des rendements toutefois affectés par des pluies durant la moisson. Les surfaces en oléagineux sont en forte diminution avec un recul marqué des surfaces en colza depuis plusieurs années en lien notamment avec les effets du changement climatique (aléas climatiques plus fréquents et progression des maladies et ravageurs). En 2022, les récoltes céréalières baissent nettement en France sous l'effet d'une réduction de la sole des cultures d'hiver et du rendement des cultures de printemps (chaleur et déficit de précipitation). Les récoltes d'oléagineux poursuivent leur hausse pour la deuxième année d'affilée, principalement du fait du colza (recul pour le tournesol et le soja), en lien avec la forte hausse des prix induite par le conflit russo-ukrainien (l'Ukraine étant le

premier exportateur mondial de tournesol avant le conflit). Les récoltes des autres grandes cultures (betterave et pomme de terre) sont réduites sous l'effet d'une baisse des rendements affectés par la sécheresse. En 2023, les récoltes céréalières progressent par rapport à 2022 sous l'effet de la hausse des rendements, la sole s'étant réduite principalement en raison du recul des surfaces de cultures de printemps. Les surfaces d'oléagineux augmentent, principalement pour le colza, qui a bénéficié en partie de la réduction de la sole de céréales. Néanmoins, la croissance observée sur les récoltes d'oléagineux repose plutôt sur la production de tournesol et soja, le rendement du colza étant en baisse.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
16/01/2025	JH	27/02/2025	EM

Fermentation entérique

Cette section concerne les émissions de méthane dues à la fermentation entérique des animaux d'élevage.

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3A
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension Citepa)	10.04.01 à 10.04.15
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Populations animales	Facteurs d'émission nationaux et par défaut

Niveau de méthode

La méthode appliquée est de rang Giec 2 ou 3, à l'exception des cervidés d'élevage en Nouvelle-Calédonie pour lesquels on applique une méthode de niveau 1. Pour les autres catégories animales, le niveau de méthode pour la fermentation entérique n'est pas simple à déterminer car il s'agit de facteurs d'émissions nationaux basés sur deux méthodologies légèrement différentes de celle du Giec.

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

La fermentation entérique est un processus de fermentation microbienne au sein de l'appareil digestif des animaux, menant à l'émission de méthane. Cette production de méthane est beaucoup plus importante chez les ruminants qui mettent à profit cette activité microbienne pour dégrader et assimiler efficacement les fourrages. Les émissions de méthane des animaux d'élevage dépendent très fortement de leur niveau de production et de la digestibilité de leur alimentation.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Les émissions liées à la fermentation entérique sont calculées à partir des données de cheptels fournis annuellement de façon détaillée dans les publications des services statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire [410] (cf. section « Agriculture | Introduction »).

La méthodologie nationale de quantification des émissions de la fermentation entérique s'appuie sur les résultats de la publication d'Eugene, et al (2019) [986] pour les vaches laitières, du projet Mondferent I (2012) [508] pour les autres bovins, Mondferent II (2015) [796] pour les caprins, ovins et porcins, et sur Vermorel et al. (2008) [362] pour les autres animaux.

A noter : la méthode publiée dans l'article d'Eugene, et al (2019) [986] est la même que celle utilisée pour le projet Mondferent I. Pour le projet Mondferent II, le calendrier de publication des résultats est toujours à l'étude.

Tableau 29 : Récapitulatif des méthodes d'estimation du CH₄ entérique

		Donnée d'activité	Provenance du FE
Vaches laitières		Cheptel	Eugène, et al (2019)
Autres bovins	Vaches nourrices	Cheptel	Mondferent I
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	Cheptel	Mondferent I
	Veaux de boucherie	Cheptel	Mondferent I
	Autres femelles de moins de 1 an	Cheptel	Mondferent I
	Autres mâles de moins de 1 an	Cheptel	Mondferent I
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	Production	Mondferent II
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	Production	Mondferent II
	Verrats de 50 kg et plus	Cheptel	Vermorel
	Porcs à l'engrais (>30kg)	Production	Mondferent II
Truies de 50 kg et plus		Cheptel	Mondferent II
Caprins	Chevrettes	Cheptel	Mondferent II
	Chèvres (femelles ayant mis bas)	Cheptel	Mondferent II
	Autres caprins (y compris boucs)	Cheptel	Mondferent II
Ovins	Agnelles	Cheptel	Mondferent II
	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	Cheptel	Mondferent II
	Brebis mères laitières (y c. réforme)	Cheptel	Mondferent II
	Autres ovins (y compris béliers)	Cheptel	Mondferent II
Chevaux	Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Cheptel	Vermorel
	Chevaux lourds	Cheptel	Vermorel
Anes, mulets, bardots		Cheptel	Vermorel
Cervidés d'élevage		Cheptel	Giec 2019

Les émissions de méthane entérique ne sont pas estimées pour les volailles et les lapines : leur production de CH₄ est très faible et souvent négligée [1051]. Il n'existe d'ailleurs pas de facteur d'émission pour ces catégories dans le Giec 2006, ni dans le raffinement du Giec 2019.

Vaches laitières

La méthode d'estimation détaillée est disponible en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV ».

Les émissions de CH₄ entérique des vaches laitières sont estimées au niveau des anciennes régions, selon une méthode nationale produite par l'Inrae et publiée dans la revue « Journal of Environmental Management » (Eugene, et al (2019) [986]). Cette méthode mobilise la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI), à partir de laquelle il est possible d'estimer les

émissions de CH₄ entérique selon l'équation suivante :

$$EF = MODI \times FCM_e \times 365 / 1000$$

Avec : *EF* : facteur d'émission de CH₄ entérique (kg CH₄/tête/an) ;
MODI : matière organique digestible ingérée (kg/tête/an) ;
FCM_e : facteur de conversion en méthane entérique (g CH₄/kg MODI)

La matière organique digestible ingérée est estimée à partir des besoins des vaches laitières, évalués selon la méthode Inrae [1315], et des données sur les rations issues d'un document du Cniel [1316]. On considère pour cette méthode que les besoins sont bien couverts par les rations.

Le facteur de conversion en méthane est calculé selon l'équation suivante :

$$FCM_e = 45.42 - 6.66 \times NI + 0.75 \times NI^2 + 19.65 \times PC - 35.0 \times PC^2 - 2.69 \times NI \times PC$$

Avec : *FCM_e* : facteur de conversion en méthane entérique (g CH₄/kg MODI) ;
NI : niveau d'ingestion (kg matière sèche ingérée / jour / 100 kg poids vif) ;
PC : part de concentrés dans la ration (%)

Cette équation prend en compte les effets des interactions digestives sur le CH₄ et la MODI. Elle est issue d'une large base de données (450 éléments de données) regroupant des résultats expérimentaux d'émission de CH₄ et de digestibilité, mesurés dans des chambres calorimétriques avec des bovins et des petits ruminants nourris avec une grande variété de régimes, excluant les régimes supplémentés en lipides ou en additifs pour lesquels l'émission de CH₄ dépend de facteurs autres que la digestibilité.

Le facteur d'émission obtenu varie au cours du temps et selon les régions. Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

Autres bovins

La méthode d'estimation détaillée est disponible en annexe « A.3 Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV ».

Pour les autres bovins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent I conduit par l'Inrae [508][509]. La méthodologie proposée permet d'estimer les émissions de CH₄ entérique par l'équation de Sauvant et al. 2011 [510] à partir de la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI) :

$$CH_4 \text{ (g/kg PV/jour)} = 0,083 + 0,025 \times MODI \text{ (g/kg PV/jour)}$$

Avec : *PV* = Poids vif moyen sur la période concernée (kg)

Les quantités de MODI ont été estimées par sous-catégorie bovine à partir des besoins énergétiques des animaux, des données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] et des caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'INRA [658]. Les catégories de bovins étudiées permettent d'obtenir une vision jugée représentative de l'élevage français.

Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins. Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH₄ entérique et paramètres associés ») et une comparaison a été effectuée avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229] (voir plus bas). Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le facteur d'émission de méthane entérique pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement. Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

Ovins et Caprins

Pour les ovins et les caprins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent II conduit par l'Inrae [796] [797]. La méthodologie appliquée est similaire à celle développée lors du projet Mondferent I pour les bovins, car elle est fondée sur une des équations proposées par Sauvant et al. (2011), permettant le calcul du CH₄ à partir de la MODI.

Plusieurs sous-catégories ont été étudiées, de manière à couvrir à la fois les catégories recensées dans la SAA mais aussi à fournir une analyse représentative de la situation de l'élevage français. Pour cela, l'Inrae s'est appuyé sur des cas-types de l'Institut de l'élevage, bien caractérisés en termes de calendrier d'alimentation et de gestion du troupeau. Les pratiques d'alimentation et les modes de gestion animaux décrits dans ces cas type ont été retenus. Pour chaque catégorie animale retenue, un ou plusieurs cas-types jugés représentatifs de la population concernée ont été étudiés. L'alimentation de ces cas-types a été divisée en six rations au maximum.

Les catégories animales retenues sont les suivantes :

- Ovins : brebis laitières, brebis allaitantes, agnelles laitières, agnelles allaitantes, agneaux de race rustique, béliers.
- Caprins : chèvres laitières, chevrettes, chevreaux, boucs.

L'équation de Sauvant et al (2011) utilisée dans ce projet permet d'évaluer les émissions de CH₄ entérique à partir de la MODI, du niveau d'ingestion et de la part des concentrés dans la ration. L'équation ci-dessous prend en compte les effets des interactions digestives sur le ratio CH₄/MODI :

$$\text{CH}_4 \text{ (g) / MODI (kg)} = 45,42 - 6,66 \text{ NI} + 0,75 \text{ NI}^2 + 19,65 \text{ PCO} - 35,0 \text{ PCO}^2 - 2,69 \text{ NI} \times \text{PCO}$$

Avec : NI = Niveau d'ingestion, défini par la quantité de Matière Sèche Ingérée (MSI) exprimée en % du poids vif (MSI%PV);

PCO = Proportion de Concentré dans la ration.

La MODI de la ration est estimée à partir de la relation suivante :

$$\text{MODI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} \times \text{dMOcorrigée} / 1000$$

Avec : MSI = Matière Sèche Ingérée (kg) ;

MO = Matière Organique (g/kgMSI) ;

dMOcorrigée = digestibilité de la ration corrigée des effets des interactions digestives sur la matière organique digestible

Le type et les ingrédients des rations proviennent des informations relatives aux sous-catégories considérées. Les niveaux d'ingestion et les besoins en nutriments ont quant à eux été estimés à partir de données actualisées dans le cadre d'un programme de l'Inrae « Systali » et de bases de données zootechniques obtenues en conditions expérimentales contrôlées.

Dans le projet MONDFERENT II, la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI) des fèces, correspondant au SVfèces utilisé au CRT 3B, est obtenue de la façon suivante :

$$\text{SVfèces} = \text{MONDI (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 - \text{MODI}$$

Pour ce projet, l'objectif a été d'être le plus possible en cohérence avec les lignes directrices du Giec 2006 (cohérentes sur ce point avec le Giec 2019), et l'hypothèse a été faite que la matière organique des urines est également émettrice de CH₄. Le SVurine utilisé au CRT 3B, est obtenu de la façon suivante :

$$\text{SVurine (kg)} = \text{MSI} \times \text{MO} / 1000 \times \text{EU/EB}$$

Avec : EU/EB : rapport entre l'énergie urinaire et l'énergie brute

Le rapport EU/EB est calculé selon l'équation suivante, provenant de Sauvant et Giger-Reverdin (2009) [794]

$$\text{EU/EB} = 5,7 - 0,71 \text{ NI}$$

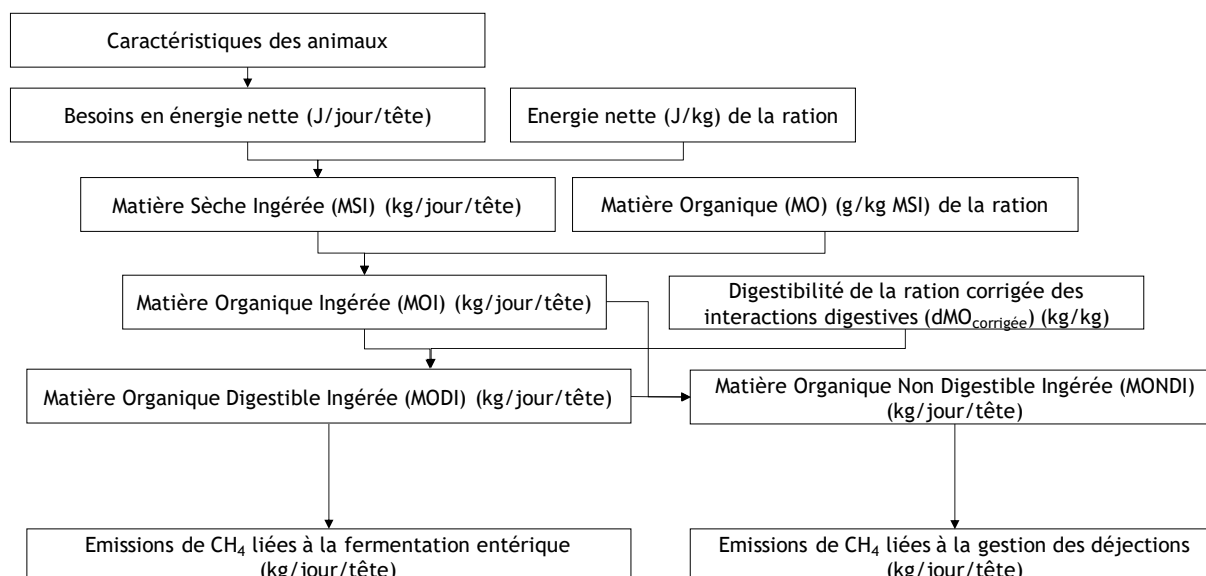


Figure 25 : Schéma récapitulatif de l'évaluation du CH₄ entérique par la méthode MONDFERENT II

Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les sous-catégories d'ovins et de caprins.

Pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH₄ entérique et paramètres associés »), et une comparaison a été faite avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229]. Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces sous-catégories animales, les facteurs d'émission de méthane entérique pour les catégories agrégées « ovins » et « caprins » peuvent varier annuellement.

Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

Porcins

Pour les porcins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent II conduit par l'Inrae [796] [797]. Les valeurs fournies par le projet concernent les porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg), les porcs à l'engrais (>30kg) et les truies. On considère que les émissions de CH₄ entérique des porcelets non sevrés (<8kg) sont nulles du fait de leur alimentation faite exclusivement à base de lait. Pour les verrats, la méthodologie Vermorel est appliquée (cf. paragraphe suivant).

Pour les porcins (post-sevrage et engraissement) et les truies, la méthodologie appliquée dans le projet Mondferent II est celle développée par Rigolot et al [793]. Les émissions de CH₄ entérique sont calculées avec l'équation suivante :

$$\text{CH}_4(\text{kg/tête}) = \text{Aliment} \times (\text{ResDintake1} \times \text{Prop1} + \text{ResDintake2} \times \text{Prop2}) \times \text{Perte_Energie} / 55,65$$

Avec : Aliment = quantité d'aliment ingérée au cours de la vie de l'animal (kg/tête) ;

ResDintake1 et ResDintake2 : teneur en fibres digestibles ingérées de l'aliment ;

Prop1 et Prop2 : répartition entre les deux aliments ;

Perte_Energie : perte d'énergie sous forme de CH₄ provenant des fibres digérées, égale à 0,67 pour les porcins et 1,34 pour les truies ;

55,65 : contenu énergétique du méthane.

Le paramètre Aliment (kg/animal) pour les porcins (post-sevrage et engraissement) provient des documents de Gestion Technico-économiques publiés chaque année par l'IFIP jusqu'en 2016 [505]. Ces données n'ont pas pu être transmises entre 2017 et 2019, mais elles sont - à partir de 2020 - fournies directement par l'IFIP au Citepa. Pour les truies, le paramètre Aliment est fixe dans le temps et provient du projet Mondferent II.

Les paramètres ResDintake sont fixes dans le temps mais sont distingués selon le mode d'alimentation : standard ou biphasé. Ils ont été obtenus pour des aliments types, représentatifs de ces deux modes d'alimentation. Dans la formule ci-dessus, les paramètres ResDintake1 ; Prop1 ; ResDintake2 et Prop2 sont non nuls pour l'alimentation biphasé. En revanche, pour l'alimentation standard, seuls les paramètres ResDintake1 et Prop1 sont non nuls. La part des animaux gérés en alimentation biphasé est connue grâce aux enquêtes bâtiments d'élevage 2001, 2008 (voir section « Agriculture | Introduction ») et grâce à l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980].

Pour les catégories porcelets en post sevrage (entre 8kg et 30kg) et les porcs à l'engrais (<30kg), le facteur d'émission de CH₄ entérique par tête évolue dans le temps du fait de l'évolution du paramètre Aliment et de la proportion d'animaux en biphasé sur la période. Pour les truies, l'évolution est liée à la proportion d'animaux en biphasé sur la période.

Pour calculer les émissions de CH₄ entérique des porcelets en post-sevrage et des porcs à l'engrais, l'approche mise en place est l'approche production. Cette approche est jugée plus pertinente car les facteurs d'émission sont exprimés par tête, et ces animaux vivant moins d'un an, il est plus réaliste d'utiliser des données de productions que de cheptels. Les données d'abattages bruts sont fournies par la Statistique Agricole Annuelle (SAA) publiée par le SSP [410]. Elles présentent les productions totales pour la métropole et les DOM (correspondant au périmètre UE). Ces données sont ensuite corrigées pour tenir compte des taux de pertes et saisies, publiés chaque année par l'IFIP au sein de ses documents de Gestion Technico-économiques jusqu'en 2016 [505]. Ces données n'ont pas pu être transmises entre 2017 et 2019, mais elles sont - à partir de 2020 - fournies directement par l'IFIP au Citepa. Les facteurs d'émission du projet MONDFERENT II sont appliqués à ces données de productions corrigées. Les émissions de CH₄ entérique totales calculées sont ensuite utilisées pour recalculer un facteur d'émission moyen en rapportant ces émissions aux populations tirées de la SAA [410] et retravaillées par le Citepa (voir section « Agriculture | Introduction »).

Pour les truies, les émissions de CH₄ entérique sont calculées en multipliant le facteur d'émission, qui varie sur la période, par la population, tirée de la SAA [410].

Autres animaux

Pour les verrats, les chevaux et les ânes et mules, les facteurs d'émissions de CH₄ entérique sont issus des travaux de Vermorel et al. [362]. La méthode développée permet de prendre en compte les principaux facteurs de variation des émissions de méthane liés à l'animal (espèce, type de production, niveau de production) et à la ration (quantités d'aliments ingérés, composition chimique des aliments, interactions entre aliments au sein d'une ration). La référence [362] fournit une description détaillée des méthodologies employées pour chaque espèce.

Pour les verrats, des équations spécifiques établies par l'Inrae ont été utilisées, très proches de celles développées par Rigolot et al [793] car fondées sur les teneurs en résidus digestibles des rations.

Pour les équins, les besoins énergétiques nets ont été convertis en Energie Digestible (ED) puis convertis en émissions de méthane à l'aide d'équations de prédiction des émissions basées sur la composition chimique des rations.

Ces facteurs d'émission sont fixes dans le temps par sous-catégorie. Cependant, ces animaux sont agrégés par catégorie plus large. Ainsi, les facteurs d'émission par grande catégorie peuvent varier annuellement du fait des variations annuelles

d'effectifs par sous-catégorie. Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH₄ entérique et paramètres associés

La méthode française diffère de la méthode proposée dans le Giec : la principale différence est que la méthode française s'appuie sur la matière organique (ingérée, digestible) alors que celle du Giec est fondée sur les énergies (brute, digestible, nette). Afin de faciliter la comparaison entre ces deux approches, les paramètres utilisés dans la méthode Giec (Energie Brute – EB, facteur de conversion du méthane – Ym) ont été estimés à partir des résultats des projets français.

Energie brute - EB

Pour les vaches laitières, l'énergie brute est estimée à partir des besoins des animaux, de la composition des rations [1316] et des valeurs des aliments issues des tables Inrae 2018 [1315]. L'ensemble des calculs est détaillé en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV ».

Pour les autres bovins, l'énergie brute est calculée dans le projet MONDFERENT I. à partir des besoins énergétiques calculés en UF (Unité Fourragère), et du ratio EB/UF. Ce ratio a pu être déterminé en utilisant des données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] par grand type de production (lait/viande), combinées avec les caractéristiques moyennes des différents aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658].

Pour les ovins et les caprins, l'énergie brute est calculée dans le projet MONDFERENT II, à partir de la Matière Sèche Ingérée (MSI) par catégorie animale étudiée, exprimée en kg MSI/jour, multipliée par le ratio EB/MSI associé à la ration de la catégorie animale étudiée.

A noter : comme pour les facteurs d'émission, pour mettre en cohérence les catégories animales étudiées dans MONDFERENT II avec les catégories animales de la SAA, des pondérations ont été faites à partir des effectifs différenciés fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour 2020 :

- Catégorie « agnelles » de la SAA : pondération entre agnelles laitières et allaitantes ;
- Catégorie « autres ovins » de la SAA : pondération entre agneaux et béliers ;
- Catégorie « autres caprins » de la SAA : pondération entre chevreaux et boucs.

Les pondérations sont appliquées de la façon suivante sur la période : utilisation de la pondération 2007 de 1990 à 2007 ; utilisation de la pondération 2020 à partir de l'année 2020 ; interpolation des données pour les années 2008-2019.

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, l'énergie brute n'a pas été calculée.

Facteur de conversion du méthane - Ym

Pour les bovins, les ovins et les caprins, le Ym est recalculé en divisant les émissions de CH₄ entérique obtenues par la méthode française (multipliées par 55,65 qui est la valeur énergétique du méthane) par l'énergie brute (voir ci-dessus).

Pour les autres catégories animales, c'est à dire pour les porcins, les équins et les cervidés d'élevage, le Ym n'a pas été calculé.

Le tableau ci-dessous liste, par sous-catégorie, les facteurs d'émission de CH₄ entérique obtenus et les paramètres associés. Pour les sous-catégories dont les facteurs d'émission évoluent dans le temps, la plage 1990-2023 est indiquée.

Tableau 30 : Récapitulatif des facteurs d'émission CH₄ entérique et paramètres associés

	Donnée d'activité	FE (kg CH ₄ /tête)	EB (MJ/jour/tête)	Valeur du Ym (%)
Vaches laitières	Cheptel	121,7 - 148,8	273 - 360	6,8 - 6,3
Vaches nourrices	Cheptel	81,0	190	6,5

	Donnée d'activité	FE (kg CH ₄ /tête)	EB (MJ/jour/tête)	Valeur du Ym (%)
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	Cheptel	77,7	181	6,5
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	Cheptel	63,2	142	6,8
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	Cheptel	69,1	155	6,8
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	Cheptel	76,3	172	6,7
Mâles de type viande de plus de 2 ans	Cheptel	76,3	172	6,7
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	Cheptel	55,8	130	6,6
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	Cheptel	52,4	122	6,5
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	Cheptel	58,6	138	6,5
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	Cheptel	64,3	159	6,2
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	Cheptel	69,3	176	6,0
Veaux de boucherie	Cheptel	0,0	NE	NE
Autres femelles de moins de 1 an	Cheptel	22,8	54	6,5
Autres mâles de moins de 1 an	Cheptel	23,8	63	5,7
Porcelets non sevrés (<8kg)	Production	0,0	NE	NE
Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	Production	0,28 - 0,31	NE	NE
Verrats de 50 kg et plus	Cheptel	0,8	NE	NE
Porcs à l'engrais (>30kg)	Production	0,70 - 0,79	NE	NE
Truies de 50 kg et plus	Cheptel	3,07 - 3,07	NE	NE
Chevrettes	Cheptel	9,6	25,3	5,5
Chèvres (femelles ayant mis bas)	Cheptel	17,5	56,4	4,4
Autres caprins (y compris boucs)	Cheptel	8,23 - 9,50	24,1 - 27,9	5,0
Agnelles	Cheptel	7,90 - 7,98	20,6 - 20,9	5,5
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	Cheptel	15,9	38,7	5,9
Brebis mères laitières (y c. réforme)	Cheptel	20,3	54,5	5,3
Autres ovins (y compris béliers)	Cheptel	2,33 - 3,13	24,7 - 25,7	1,8 - 2,0
Chevaux de selle, sport, loisirs et course	Cheptel	21,4	NE	NE
Chevaux lourds	Cheptel	21,4	NE	NE
Anes, mulets, bardots	Cheptel	12,1	NE	NE
Cervidés d'élevage	Cheptel	20,0	NE	NE

Comparaison des résultats avec les méthodes Giec (QA/QC du NID)

Bovins, ovins et caprins

Afin d'éprouver les méthodes françaises, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 [1229] a été réalisée pour les bovins, ovins et caprins.

A noter : le Giec 2019 propose également une méthode Tier 2 simplifiée, fondée sur la matière sèche ingérée. Nous n'avons pour l'instant pas appliqué cette méthode pour comparer les résultats obtenus avec notre méthode nationale mais il serait intéressant dans les prochaines éditions de le faire.

Comme mentionné plus haut, la méthode française de l'Inrae diffère de la méthode proposée dans le Giec. Les caractéristiques et utilité de cette méthode Inrae sont décrites dans la publication Eugene et al [986], dont voici ci-dessous un extrait traduit.

Extrait d'Eugene et al [986]

« La méthode appliquée dans l'inventaire n'est pas une approche de niveau 2, car elle n'utilise pas un coefficient Ym fixe. La priorité a été donnée à une relation avec la Matière Organique Digestible (MOD) pour être cohérent avec les systèmes d'alimentation révisés de l'Inrae, et parvenir à une cohérence dans la détermination des émissions de CH₄ entérique et des déjections, ces dernières étant négativement liées à la MOD. Il faut souligner que le CH₄ entérique et la MOD ont été largement et précisément mesurés dans des études calorimétriques.

Le Giec (2006) déclare qu'une approche de niveau 3 "pourrait utiliser le développement de modèles sophistiqués qui tiennent compte de la composition du régime en détails, de la concentration des produits issus de la fermentation des ruminants, de la saisonnalité de la population animale ou de la qualité et de la disponibilité des aliments, et des stratégies d'atténuation possibles ». La présente méthode utilise un modèle empirique basé sur une très grande base de données (450 régimes traités). Cette base de données couvre les expériences menées dans le monde entier avec une large gamme de régimes alimentaires. Cela correspond bien aux recommandations du Giec, car en France il existe une grande variété de régimes alimentaires, allant de régimes tout fourrage pour les vaches à viande à des régimes à plus de 90 % de concentrés pour certains taureaux engraisés, et comprenant une grande diversité de fourrages et de types de concentrés (Devun et Guinot, 2012).

L'utilisation d'une base de données avec uniquement des expériences françaises aurait été beaucoup plus restrictive, avec une variété plus restreinte de régimes. Le principal avantage d'une grande base de données d'articles publiés est que les équations ont été développées avec des données fiables sur divers régimes alimentaires. De plus, les paramètres d'entrée (poids, rendement laitier ou caractéristiques des aliments) peuvent être soit disponibles directement si l'on se trouve à l'échelle de la ferme, soit être prédits avec précision à partir des tables d'alimentation Inrae. »

La méthode de niveau 2 du Giec permet d'estimer les émissions de CH₄ entérique ainsi que les émissions de CH₄ liées à la gestion des déjections à partir d'un jeu de paramètres décrivant les caractéristiques d'une sous-catégorie animale.

Ces paramètres ainsi que les sources utilisées sont listés ci-dessous pour les bovins :

Tableau 31 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH₄ entérique des bovins avec la méthode Giec 2019

Abréviation	Paramètre	Source
Cfi	Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie	Vaches laitières : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du contrôle laitier [1052] Vaches allaitantes : valeurs du Giec pondérées par les durées moyennes de lactation, issues du site internet Web-agri [1252] Autres bovins : Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale Autres bovins : Mondferent
Ca	Coefficient correspondant aux conditions alimentaires de l'animal	Données Giec pondérées par le temps passé au pâturage
C	Coefficient pour le calcul de l'énergie nécessaire à la croissance	Giec
PM	Poids vif mature de l'adulte	Vaches laitières : recalcul à partir des races représentatives de la situation nationale Autres bovins : Mondferent
PP	Prise de poids moyenne par jour	Calculé
Lait	Quantité de lait produite	SAA
Matières grasses	Teneur en matières grasses du lait	Données issues du contrôle laitier [1052]

Abréviation	Paramètre	Source
Heures	Nombre moyen d'heures de travail par jour	Hypothèse : 0
Cgestation	Coefficient de gestation	GIEC
Rgestation	Proportion de femelles en gestation sur l'année	Hypothèse Citepa
DE%	Energie digestible en % d'énergie brute	Pondération nationale des données Giec
Ym	Facteur de conversion du méthane	Vaches laitières : Giec - Medium producing cows (5000 – 8500 kg /yr) Autres bovins : Giec - Rations of >75% high quality forage and/or mixed rations, forage of between 15 and 75% the total ration mixed with grain, and/or silage

Le tableau ci-dessous répertorie les paramètres ainsi que les sources utilisées pour les ovins et les caprins :

Tableau 32 : Paramètres et sources associées pour le calcul du CH₄ entérique des ovins et caprins avec la méthode Giec 2019

Abréviation	Paramètre	Source
Cfi	Coefficient permettant de calculer l'énergie nette nécessaire à la survie	Giec
Poids	Poids vif de l'animal	Mondferent II
Ca	Coefficient correspondant aux conditions alimentaires de l'animal	Giec
PPagneaux	Prise de poids (PVf-PVi)	Mondferent II
PVi	Poids vif au moment du sevrage	Mondferent II
PVf	Poids vif à un an ou au moment de l'abattage si l'abattage a lieu avant un an	Mondferent II
a,b	Constantes utilisées pour le calcul	Giec
Lait	Quantité de lait produite	Mondferent II
VElait	Energie nécessaire à la production d'un kg de lait	Giec
VElaine	Valeur énergétique de chaque kg de laine produit	Giec
Productionlaine	Production annuelle moyenne de laine par mouton	IDELE [983]
Cgestation	Coefficient de gestation	Giec
Rgestation	Proportion de femelles en gestation sur l'année	Hypothèse Citepa
DA%	Energie digestible en % d'énergie brute	Mondferent II
Ym	Facteur de conversion du méthane	Giec

Le tableau suivant liste d'une part les facteurs d'émission français pour 1990 et 2023, et ceux calculés à partir des paramètres ci-dessus, en suivant la méthodologie Giec 2019 [1229].

Tableau 33 : Comparaison des facteurs d'émission (FE) CH₄ entérique – MONDFERENT I et II / Giec 2019

	FE MONDFERENT		FE estimé à partir du Giec 2019		Variation MONDFERENT/Giec 2019 (%)	
	1990	2023	1990	2023	1990	2023
Vaches laitières	121,7	148,8	112,9	140,3	8%	6%
Vaches nourrices	81,0	81,0	77,0	77,3	5%	5%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	77,7	77,7	56,3	56,2	38%	38%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	63,2	63,2	56,2	56,2	12%	12%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	69,1	69,1	48,8	48,6	42%	42%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	76,3	76,3	67,3	67,2	13%	14%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	76,3	76,3	65,3	65,2	17%	17%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	55,8	55,8	62,3	62,2	-10%	-10%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	52,4	52,4	56,6	56,6	-7%	-7%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	58,6	58,6	61,5	61,4	-5%	-5%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	64,3	64,3	66,1	66,0	-3%	-3%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	69,3	69,3	67,4	67,3	3%	3%
Veaux de boucherie	-	-	-	-	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	22,8	22,8	44,6	44,7	-49%	-49%
Autres mâles de moins de 1 an	23,8	23,8	42,3	42,5	-44%	-44%
Chevrettes	9,6	9,6	9,4	9,4	2%	2%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,5	17,5	14,2	14,2	23%	23%
Autres caprins (y compris boucs)	8,2	9,5	4,7	5,2	76%	82%
Agnelles	7,9	8,0	8,5	8,4	-7%	-5%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	15,9	15,9	8,5	8,5	87%	87%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	20,3	20,3	14,5	14,5	40%	40%
Autres ovins (y compris béliers)	2,3	3,1	3,8	4,1	-39%	-24%

Pour mieux comprendre les écarts constatés, les tableaux suivants fournissent les valeurs obtenues pour les paramètres EB et Ym selon les méthodes.

Tableau 34 : Comparaison des EB - MONDFERENT I et II / Giec 2019

	EB recalculée nationale (MJ/jour/tête)		EB estimée à partir du Giec 2019 (MJ/jour/tête)		Variation national/GIEC 2019 (%)	
	1990	2023	1990	2023	1990	2023
Vaches laitières	273	360	273	340	0%	6%
Vaches nourrices	190	190	186	187	2%	2%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	181	181	136	136	33%	33%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	142	142	136	136	4%	4%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	155	155	118	118	31%	31%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	172	172	163	163	6%	6%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	172	172	158	158	9%	9%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	130	130	151	151	-14%	-14%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	122	122	137	137	-11%	-11%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	138	138	149	149	-7%	-7%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	159	159	160	160	0%	0%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	176	176	163	163	8%	8%
Veaux de boucherie	-	-	-	-	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	54	54	108	108	-50%	-50%
Autres mâles de moins de 1 an	63	63	102	103	-38%	-39%
Chevrettes	25,3	25,3	26,2	26,2	-3%	-3%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	56,4	56,4	39,4	39,4	43%	43%
Autres caprins (y compris boucs)	24,1	27,9	13,0	14,4	86%	93%
Agnelles	20,6	20,9	19,3	19,2	7%	9%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	38,7	38,7	19,3	19,3	100%	100%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	54,5	54,5	32,9	32,9	66%	66%

	EB recalculée nationale (MJ/jour/tête)		EB estimée à partir du Giec 2019 (MJ/jour/tête)		Variation national/GIEC 2019 (%)	
	1990	2023	1990	2023	1990	2023
Autres ovins (y compris béliers)	24,7	25,7	8,6	9,3	186%	176%

Tableau 35 : Comparaison des Ym - MONDFERENT I et II / Giec 2019

	Ym recalculé national (%)		Ym estimé à partir du Giec 2019 (%)		Variation national/Giec 2019 (%)	
	1990	2023	1990	2023	1990	2023
Vaches laitières	6,8	6,3	6,3	6,3	8%	0%
Vaches nourrices	6,5	6,5	6,3	6,3	3%	3%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	6,5	6,5	6,3	6,3	4%	4%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	6,8	6,8	6,3	6,3	8%	8%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	6,8	6,8	6,3	6,3	8%	8%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	6,7	6,7	6,3	6,3	7%	7%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	6,7	6,7	6,3	6,3	7%	7%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	6,6	6,6	6,3	6,3	4%	4%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	6,5	6,5	6,3	6,3	4%	4%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	6,5	6,5	6,3	6,3	3%	3%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	6,2	6,2	6,3	6,3	-2%	-2%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	6,0	6,0	6,3	6,3	-5%	-5%
Veaux de boucherie	-	-	-	-	-	-
Autres femelles de moins de 1 an	6,5	6,5	6,3	6,3	3%	3%
Autres mâles de moins de 1 an	5,7	5,7	6,3	6,3	-9%	-9%
Chevrettes	5,5	5,5	5,5	5,5	-1%	-1%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	4,4	4,4	5,5	5,5	-19%	-19%
Autres caprins (y compris boucs)	5,0	5,0	5,5	5,5	-9%	-9%
Agnelles	5,5	5,5	6,7	6,7	-17%	-18%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	5,9	5,9	6,7	6,7	-12%	-12%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	5,3	5,3	6,7	6,7	-20%	-20%
Autres ovins (y compris béliers)	1,8	2,0	6,7	6,7	-73%	-71%

Dans la publication Eugene *et al.* [986], une comparaison entre méthode Inrae et méthode Giec 2006 de Niveau 2 a été conduite et présentée pour différentes catégories animales. L'une des différences soulignées par l'Inrae concernant la méthode dans cette publication est la prise en compte dans la méthode Inrae des interactions digestives, en lien avec le niveau d'ingestion et la part de concentrés. Cela constitue une première piste mais les variations constatées tant au niveau des énergies brutes que des Ym sont encore à l'étude.

A noter : la catégorie « Autres ovins » est majoritairement composée d'agneaux (89 % en 2020), qui sont principalement nourris à base de concentrés, expliquant la faible valeur du facteur Ym obtenue avec la méthode nationale.

Les valeurs développées dans le cadre des projets conduits par l'Inrae ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représentent plus une moyenne des pays développés.

Autres animaux

Le tableau ci-dessous compare les facteurs d'émission de méthane entérique agrégés pour l'ensemble des porcins (dont les truies), qui sont issus d'une part de Vermorel *et al.* (2008) et d'autre part de MONDFERENT II, et pour les chevaux, ânes et mules (issus de Vermorel *et al.* (2008)), avec ceux proposés par le Giec 2019 Niveau 1 [1229]. Lorsqu'une distinction par système est disponible, on retient les facteurs d'émission associés aux systèmes « high productivity ».

Tableau 36 : Comparaison des FE nationaux aux FE Tiers 1 du Giec 2019

	Facteurs d'émission nationaux (1990-2022)	Estimation à partir du Giec 2019 (Tableau 10.10)	Variation National/Giec 2019 constatée (%)
Porcins	0,72- 0,77	1,5	-50% (-49% à -52%)
Chevaux	21,4	18	19%
Anes, mulets, bardots	12,1	10	21%

Les variations constatées sont difficiles à interpréter du fait des méthodes différentes mises en œuvre pour le calcul entre le national et le Giec 2019. Tout comme pour les bovins, ovins et caprins, les valeurs nationales ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles proposées par le Giec.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
28/01/2025	JH	27/02/2025	EM

Gestion des déjections animales

Cette section concerne les émissions issues de la gestion des déjections animales au bâtiment et au stockage.

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3B
CEE-NU / NFR	3B
SNAPc (extension Citepa)	10.05.01 à 10.05.15, 10.09.01 à 10.09.04
CE / directive IED	6.6 (volailles et porcs)
CE / E-PRTR	7a (volailles et porcs)
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

L'approche méthodologique suivante est appliquée pour le NID :

Activité	Facteurs d'émission
Populations animales	Valeurs Giec par défaut ainsi que données issues de sources prenant en compte certaines spécificités françaises

L'approche méthodologique suivante est appliquée pour l'IIR :

Activité	Facteurs d'émission
Populations animales	Valeurs EMEP par défaut ainsi que données issues de sources prenant en compte certaines spécificités françaises

Niveau de méthode

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices du Giec.

Dans la méthode actuelle, les Systèmes de Gestion (SG) des déjections animales et les facteurs d'excrétion azotée sont issus de données nationales. De même, les valeurs prises par le paramètre Solides Volatiles (SV) pour les bovins, porcins, ovins et caprins sont tirés de projets nationaux. Les autres paramètres de calcul proviennent des lignes directrices du Giec.

Des travaux sont en cours et doivent être approfondis pour développer plus de paramètres nationaux afin de parvenir ainsi à une méthode de niveau 2 encore plus précise.

La méthode appliquée correspond à un rang 2 des lignes directrices EMEP du fait de la méthodologie appliquée, de la description fine des cheptels, de l'emploi de données nationales ou régionales pour les occurrences des modes de gestion des déjections et les facteurs d'excrétion azotée et de l'intégration de techniques de réduction des émissions.

Caractéristiques de la catégorie (communes au NID et à l'IIR) :

Les effluents d'élevage sont des sources potentiellement importantes d'émissions (CH_4 , COVM, N_2O , NH_3 , NO_x) du fait de phénomènes chimiques et biologiques. Ces émissions dépendent principalement des espèces élevées et des pratiques associées (type de bâtiment, temps de stockage, accumulation, traitements), mais leur estimation demeure sujette à de fortes incertitudes du fait de la complexité de prédire parfaitement les interactions possibles entre les cycles de l'azote et du carbone.

Méthode générale d'estimation des émissions (commune au NID et à l'IIR) :

Les émissions liées à la gestion des déjections sont traitées de manière différente selon les polluants concernés. Les principales données utilisées pour le calcul de ces émissions sont :

- Les cheptels (voir « Agriculture | Introduction », section « Cheptels »)
- Les systèmes de gestion des déjections (SGDA) (voir « Agriculture | Introduction », sections « Systèmes de gestion des déjections animales »)
- Les quantités d'azote et de solides volatils (SV) excrétées (voir « Agriculture | Introduction », section « Excréments carbonés » et en annexe « A.2 Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV » et « A.3 Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV »)
- Les facteurs d'émissions principalement issus du Giec 2019 [1229] et du guide EMEP / EEA 2023 [1338],
- Les taux d'application des pratiques de réduction d'émission de NH_3 et les facteurs d'abattement associés.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Emissions de CO_2

Les émissions de CO_2 liées à la gestion des déjections correspondent au cycle court du carbone et ne sont pas rapportées dans les inventaires de gaz à effet de serre en cohérence avec les règles de la Convention climat.

Emissions de CH_4

Les émissions de CH_4 sont déterminées au moyen de facteurs d'émission relatifs à chaque espèce animale. Ceux-ci sont établis en utilisant la formule proposée par le Giec 2019 :

$$FE = SV \times 365 \times 0,67 \times \sum_i (FCM_i \times SG_i)$$

Avec :
Bo = Capacité de production maximale de CH_4 (m^3/kg de SV)
SV = Solides volatils excrétés (kg/jour)
FCM = facteur de conversion en CH_4 (%)

Ce calcul est effectué au niveau régional au sein du système [PACRETE](#) (Programme Access pour le Calcul Régionalisé des Emissions aTmosphériques de l'Elevage), décrit en section « Agriculture | Introduction ».

Le paramètre SG

La méthodologie d'estimation des systèmes de gestion des déjections (selon les espèces : lisier sans croûte naturelle, lisier avec croûte naturelle, fumier en stockage solide, litière accumulée pendant plus d'un mois, litière accumulée pendant moins d'un mois, pâturage / parcours) est présentée dans la section « Agriculture | Introduction », commune à toutes les émissions de l'élevage.

Pour les bovins et les porcins, les effluents produits au bâtiment sont ensuite sous-divisés entre les effluents suivant la chaîne « classique » (bâtiment, stockage, épandage), et ceux « à vocation méthanisation » (bâtiment, méthanisation, épandage).

En France, les pratiques de compostage des déjections existent, principalement pour les fumiers. Cependant, dans l'inventaire, ce système de gestion des déjections n'est actuellement pas rapporté séparément faute de données. Le travail est en cours pour identifier des sources de données potentiellement mobilisables. Ainsi, les fumiers qui seraient compostés sont actuellement comptabilisés parmi les autres systèmes de gestion. Il est difficile à l'heure actuelle d'identifier les systèmes qui comporteraient ces fumiers compostés, mais on peut imaginer qu'il s'agit principalement des systèmes en « stockage solide » et « autre » (fumier de volailles et litière accumulée) car ce sont les principaux types de fumiers susceptibles de subir un compostage.

Le paramètre Bo

Le paramètre Bo prend les valeurs par défaut fournies par le Giec 2019 [1229]. Les valeurs prises par Bo sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 37 : Paramètres Bo utilisés dans l'inventaire

	Vaches laitières	Autres bovins	Porcins et truies	Caprins	Ovins	Chevaux	Mules et ânes	Poules pondeuses	Autres volailles	Lapines	Cervidés d'élevage
Bo	0,24	0,18	0,45	0,18	0,19	0,30	0,33	0,39	0,36	0,32	0,19

Ces valeurs sont utilisées indépendamment du système de gestion des déjections considéré, exception faite de la pâture. En effet, le Giec 2019 fournit une valeur unique de Bo pour les systèmes pâture, identique quel que soit l'animal concerné. Cette valeur est de 0.19.

Le paramètre FCM

Les paramètres FCM prennent les valeurs par défaut fournies par le Giec [1229], en faisant les correspondances avec les systèmes de gestion des déjections rencontrées en France suivantes :

Tableau 38 : Correspondances FCM et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâturage
Vaches laitières	Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months	Liquid/Slurry, and Pit storage below animal confinements - Retention time 6 months	Solid storage	Cattle and Swine deep bedding < 1 mois	Pasture / Range / Paddock
Autres bovins				Cattle and Swine deep bedding > 1 mois	

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâturage
Porcins					
Caprins					
Ovins					
Chevaux					
Mules et ânes					
Poules pondeuses	Poultry manure without litter		Poultry manure with litter		
Autres volailles	MCF par défaut pour les lapins (0.01)		MCF par défaut pour les lapins (0.01)		
Lapines reproductrices					
Cervidés d'élevage					Pasture / Range / Paddock

Pour le lisier avec croûte naturelle, le Giec 2019 considère une réduction de 40 % des émissions en comparaison d'un lisier sans croûte naturelle. Cette réduction est appliquée directement au niveau de la valeur du FCM.

Les valeurs du FCM varient en fonction des climats. Les climats rencontrés en France sont présentés dans la section « Agriculture | Introduction ». Sont rencontrés :

- quatre climats différents en métropole : « cool temperate moist », « cool temperate dry », « warm temperate moist », « warm temperate dry » ;
- trois climats différents en outre-mer : « cool temperate moist », « tropical wet », « tropical moist »

Tableau 39 : Valeurs de FCM retenues selon les climats

	cool temperate moist	cool temperate dry	warm temperate moist	warm temperate dry	tropical wet	tropical moist
Lisier sans croûte naturelle – 6 mois de stockage	21 %	26 %	37 %	41 %	76 %	73 %
Lisier avec croûte naturelle – 6 mois de stockage	12,6 %	15,6 %	22,2 %	24,6 %	45,6 %	43,8 %
Stockage solide	2 %	2 %	4 %	4 %	5 %	5 %
Litière accumulée < 1 mois	2,75 %	2,75 %	6,5 %	6,5 %	18 %	18 %
Litière accumulée > 1 mois	21 %	26 %	37 %	41 %	76 %	73 %
Fumier de volailles avec ou sans litière	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %
Pâturage/parcours	0,47 %	0,47 %	0,47 %	0,47 %	0,47 %	0,47 %
Méthanisation	2,27 %				NA	NA

Les FCM, appliqués au niveau des régions, sont pondérés au prorata des surfaces présentées dans la section « Agriculture | Introduction ». Ces climats sont considérés stables sur la période d'inventaire (1990-2023).

Prise en compte de la méthanisation des déjections animales :

La méthanisation des déjections animales permet de réduire les émissions de CH₄. Cette technique de réduction existe en France depuis 1990. La réduction des émissions grâce à la méthanisation est ici calculée pour les cheptels bovins et porcins uniquement, sur la base de la méthodologie Giec 2019 qui fournit désormais un FCM pour les digestats de

méthanisation (Vol4, Ch10, Table 10A.11). Le FCM retenu pour les effluents méthanisés est de 2,27 %¹ qui dépend de la qualité du digesteur (taux de fuite), du mode de stockage des digestats et de la zone climatique.

- **Qualité du digesteur** : les digesteurs sont considérés comme de haute qualité avec des taux de fuite inférieurs à 1 % en moyenne ($L_{dig} < 0,01$) ce qui est cohérent avec le taux d'émissions fugitives de 0,5 % fixé au sein de l'ACV Inrae [1295] sur le biométhane qui recense plusieurs références sur le sujet (la littérature recense toutefois des valeurs comprises entre 0,1 % et 5 % du biogaz).
- **Mode de stockage des digestats** : Le mode de stockage des digestats ($L_{sto,gt}$) n'est pas recensé dans les statistiques françaises à notre connaissance. Les prescriptions réglementaires associées aux installations de méthanisation (ICPE 2781) soumises à enregistrement ou autorisation ($> 30t / j$) indiquent que les fosses doivent être couvertes². En absence d'information précise le choix a été fait de retenir la valeur moyenne proposé par le Giec. Un travail d'expertise pourrait permettre d'affiner les choix.
- **Zone climatique** : Nous avons retenu la valeur de la zone climatique « tempérée ».

Volumes d'effluents animaux méthanisés : Comme décrit en section « Agriculture | Introduction », pour les bovins et les porcins, les effluents produits au bâtiment sont sous-divisés entre le devenir « classique » (effluent partant au stockage), et les effluents à vocation méthanisation. On connaît ainsi la répartition des places par espèce et par ancienne région, entre ces différents types de systèmes.

Pour estimer la part des animaux concernés par la méthanisation, plusieurs données sont utilisées et plusieurs pré-traitements sont effectués. Ces traitements sont présentés en section « Agriculture | Introduction », au niveau de la section « Méthanisation agricole ». L'ensemble des données liées aux méthaniseurs est compilé de manière fine région par région. Ces traitements aboutissent à une estimation du nombre de places méthanisées par région, pour le lisier (avec et sans croûte) d'une part, le fumier et la litière accumulée d'autre part pour les catégories suivantes : vaches laitières, autres bovins, truies, autres porcins.

Emissions de N_2O

La méthode de niveau 2 des lignes directrices du Giec [1229] estime les trois sources d'émissions de N_2O de l'élevage :

- les émissions directes au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées à la volatilisation de NH_3 et NO_x au bâtiment et au stockage,
- les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage au stockage.

Les émissions directes

Les émissions directes sont calculées selon l'équation 10.25 des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Ces émissions sont basées sur :

- l'excrétion azotée des animaux (voir « Agriculture | Introduction », section « Excrétions azotées ») ;
- les modalités de gestion des déjections (voir « Agriculture | Introduction », sections « Systèmes de gestion des déjections animales ») ;

¹High quality biogas digester, Average storage gastight level, temperate climate zone

²Arrêté du 12 août 2010 (NOR : DEVP1020761A) : « Les ouvrages de stockage des digestats solides et liquides sont couverts. Cette disposition ne s'applique pas pour le digestat solide stocké en bout de champ moins de 24 heures avant épandage, ni aux lagunes de stockage de digestat liquide ayant subi un traitement de plus de 80 jours. »

- les facteurs d'émissions par défaut des lignes directrices du Giec 2019 [1229].

Le calcul effectué est le suivant :

$$N_2O_{directes} = \sum_{t,i} \left(N_t \times Fex_{t,i} \times SG_{t,i} \times FE_{t,i} \times \frac{44}{28} \right)$$

Avec :
 $N_{t,i}$ = Nombre de têtes de la catégorie animale t ;
 $Fex_{t,i}$ = Excrétion azotée annuelle de la catégorie animale t gérée en système i ;
 $SG_{t,i}$ = Part des animaux de la catégorie t gérés selon le système de gestion des déjection i ;
 $FE_{t,i}$ = Facteur d'émission pour le système de gestion i de la catégorie animale t .

Pour le choix des facteurs d'émission, les correspondances suivantes ont été effectuées avec les systèmes de gestion des déjections « classiques » (hors méthanisation) rencontrés en France :

Tableau 40 : Correspondances facteurs d'émission et systèmes de gestion

Lisier sans croûte naturelle		Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée	Pâture
Vaches laitières	Liquid/Slurry without natural crust cover 0 kgN-N₂O/kgNex	Liquid/Slurry with natural crust cover 0,005 kgN-N₂O/kgNex	Solid storage 0,01 kgN-N₂O/kgNex	Cattle and swine deep bedding - No mixing 0,01 kgN-N₂O/kgNex	<i>Emissions traitées dans la section « Sols agricoles – 3D »</i>
Autres bovins					
Porcins					
Caprins					
Ovins					
Chevaux					
Mules et ânes					
Poules pondeuses	Poultry manure without litter 0,001 kgN-N₂O/kgNex		Poultry manure with litter 0,001 kgN-N₂O/kgNex		
Autres volailles					
Lapines reproductrices	Liquid/Slurry without natural crust cover 0 kgN-N₂O/kgNex		Solid storage 0,01 kgN-N₂O/kgNex		
Cervidés d'élevage					

Pour les effluents méthanisés, le Giec 2019 donne un facteur d'émission à 0,0006 kg N-N₂O/kg N excrété.

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 10.28 des lignes directrices du Giec 2019 [1229] :

$$N_2O_{indirectes_volat} = N_{volatilisation} \times FE_4 \times \frac{44}{28}$$

Avec :
 $N_{volatilisation}$ = Quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du NH₃ et du NO_x (kgN/an) ;
 FE_4 = Facteur d'émission du Giec pour les émissions de N₂O dues au dépôt atmosphérique d'azote sur les sols et des surfaces aquatiques (kg N-N₂O/(kg N-NH₃ + kg N-NO_x))

La quantité d'azote des déjections perdue en raison de la volatilisation du NH₃ et du NO_x correspond à la somme des émissions suivantes :

$$N_{volatilisation} = N-NH_{3\text{Bâtiment}} + N-NH_{3\text{Stockage}} + N-NO_{x\text{Stockage}}$$

Ces émissions d'azote sous forme de NH₃ et NO_x sont calculées conformément à la méthode EMEP/EAA 2023 [1338], détaillée en sections « Emissions de NH₃ » et « Emissions de NO_x » plus bas. Ces explications sont également reprises dans le rapport UNECE.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [1229] et varie selon le climat :

- En climat humide : $FE_4 = 0,014 \text{ kg N-N}_2\text{O} / (\text{kg N- NH}_3 + \text{kg N-NO}_x)$;
- En climat sec : $FE_4 = 0,005 \text{ kg N-N}_2\text{O} / (\text{kg N- NH}_3 + \text{kg N-NO}_x)$.

Les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage

Les émissions indirectes liées aux pertes d'azote par ruissellement et lessivage sont calculées selon l'équation 10.29 des lignes directrices du Giec 2019 [1229].

$$N_2O_{indirectes_lixiv} = N_{lixiv} \times FE_5 \times \frac{44}{28}$$

Avec : N_{lixiv} = Quantité d'azote des déjections lessivée (kgN/an) des systèmes de gestion solide (stockage solide et litière accumulée)
 FE_5 = Facteur d'émission du GIEC pour les émissions de N_2O de l'azote de lixiviation et écoulements (kg N- N_2O /kg N lessivé et écoulé).

La quantité d'azote du fumier lessivée est calculée conformément à la méthode EMEP/EAA 2023 [1338], détaillée en section « Emissions de NH_3 » ainsi que dans le rapport UNECE.

Attention : on ne comptabilise pas d'émission indirecte de N_2O liée au lessivage pour les effluents méthanisés.

Le facteur d'émission utilisé est tiré du Giec [1229] : $FE_5 = 0,011 \text{ kg N-N}_2\text{O/kg N lessivé et écoulé}$.

Emissions de Gaz fluorés

Il n'y a pas d'émission attendue de ces substances lors de la combustion.

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Emissions de SO_2

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Emissions de NO_x

Les émissions de NO_x (NO exprimé en équivalent NO_2) issues du stockage des déjections sont mal connues. Ces émissions sont estimées conformément à la méthodologie EMEP/EEA 2023 [1338].

La méthodologie EMEP distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « Agriculture | Introduction » au niveau des « Systèmes de gestion des déjections animales » (SGDA) :

Tableau 41 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée
Correspondance EMEP	Liquide	Liquide	Solide	Solide

Les émissions de NO_x (NO exprimé en équivalent NO_2), sont calculées comme suit :

$$NO_2 = (TAN_{stock_liquide} \times FE_{stockage_NOliquide} + TAN_{stock_solide} \times FE_{stockage_NOSolide}) \times \frac{46}{14}$$

Avec : $TAN_{stock_liquide}$ = Quantité d'azote ammoniacal totale stockée par catégorie animale, gérée en système liquide ;
 TAN_{stock_solide} = Quantité d'azote ammoniacal totale stockée par catégorie animale, gérée en système solide ;
 $FE_{stockage_NOliquide} = 0,0001$ kg N-NO/kg TANstock ;
 $FE_{stockage_NOSolide} = 0,01$ kg N-NO/kg TANstock.

Les facteurs d'émission utilisés correspondent aux facteurs d'émission par défaut tirés d'EMEP 2019 (Tableau 3-10) et varient selon les modes de gestion des déjections animales (liquide et solide). Ces facteurs d'émission sont exprimés par unité d'azote ammoniacal stocké, dont le calcul est détaillé dans la section « Emissions de NH₃ ».

Emissions de COVNM

Selon le guide EMEP 2023 [1338], la majorité des COVNM émis par l'élevage serait composée d'isopropanol, de n-propanol, d'acétaldéhyde et d'acides carbonés à chaînes courtes (acide acétique, acide propionique, acide butanoïque).

La méthode suivie correspond à la méthode de niveau 2 du guide EMEP 2023 [1338]. Cette méthode de calcul prévoit 6 postes d'émissions : le silo, l'aire d'alimentation, le bâtiment, le stockage, l'épandage, le pâturage ou le parcours.

On a donc :

$$COVNM_{total} = COVNM_{silo} + COVNM_{alimentation} + COVNM_{bâtiment} + COVNM_{stockage} + COVNM_{épandage} + COVNM_{pâturage}$$

- Avec :
- $COVNM_{silo} = Frac_{silage_store} \times COVNM_{alimentation}$
 - $COVNM_{alimentation} =$
 - Pour les bovins : $EB \times \% \text{ bâtiment} \times (FE_{alimentation} \times Frac_{of_max_{silage}})$
 - Pour les autres animaux : $SV \times \% \text{ bâtiment} \times (FE_{alimentation} \times Frac_{of_max_{silage}})$
 - $COVNM_{bâtiment} =$
 - Pour les bovins : $EB \times \% \text{ bâtiment} \times FE_{bâtiment}$
 - Pour les autres animaux : $SV \times \% \text{ bâtiment} \times FE_{bâtiment}$
 - $COVNM_{stockage} = COVNM_{bâtiment} \times \left(\frac{NH3_{stockage}}{NH3_{bâtiment}} \right)$
 - $COVNM_{épandage} = COVNM_{bâtiment} \times \left(\frac{NH3_{épandage}}{NH3_{bâtiment}} \right)$
 - $COVNM_{pâturage} =$
 - Pour les bovins : $EB \times (1 - \% \text{ bâtiment}) \times FE_{pâturage}$
 - Pour les autres animaux : $VS \times (1 - \% \text{ bâtiment}) \times FE_{pâturage}$

Le calcul des **énergies brutes (EB)** pour les bovins est présenté en section « Fermentation entérique – 3A ». Le calcul des **solides volatiles (SV)** pour les autres animaux est présenté dans la présente section, au niveau du paragraphe sur les émissions de CH₄.

Les **facteurs d'émission (FE)** utilisés sont ceux proposés par défaut dans le guide EMEP / EEA 2023 [1338].

Le paramètre **%bâtiment** correspond à la part du temps passé au bâtiment par l'animal. Le calcul de ce paramètre est décrit en section « Agriculture | Introduction ».

Le paramètre **Frac_{silage_store}** prend la valeur par défaut proposée dans le guide EMEP / EEA 2023 [1338] représentant les conditions européennes : 0,25.

Le paramètre **Frac_{of_max_{silage}}** correspond à la part d'ensilage dans la ration au bâtiment, sur la proportion maximale d'ensilage possible. En pratique, la proportion maximale d'ensilage dans la matière sèche est d'environ 50 % de l'apport

total en matière sèche, ce qui correspond à la valeur par défaut EMEP. Si l'alimentation en ensilage est dominante, ce paramètre doit être égal à 1. Les sources mobilisées pour estimer ce paramètre varient selon la catégorie animale concernée :

- Pour les vaches laitières : deux publications sur la part des différents fourrages composant les rations moyennes types pour les vaches laitières ont été produites par le Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL) : l'une pour 2007 [477], l'autre pour 2018 [1251]. Ces rations sont présentées en section « Agriculture | Introduction ». En 2007, la part d'ensilage d'herbe et de maïs dans la ration est estimée à 42 %, ce qui correspond à un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 84 %. En 2018, la part d'ensilage d'herbe et de maïs dans la ration est estimée à 60 %, ce qui correspond à un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 100 % car l'ensilage est dominant. Le $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ 2007 est utilisé pour la période 1990-2007, celui de 2018 à partir de 2018. Les données sont interpolées entre ces années.
- Pour les autres bovins : ce paramètre est estimé à partir des résultats tirés d'une étude réalisée en 2012 par l'Institut de l'Elevage pour le CIV (Centre d'Information des Viandes) [657]. Dans ces données du CIV, des informations sont fournies concernant la catégorie "herbe conservée", sans connaître la répartition foin/ensilage. Pour avoir cette distinction, la publication de Devun et al [1259] a été utilisée. Sont ensuite sommées les parts d'ensilage d'herbe et de maïs pour obtenir la part totale d'ensilage. Celle-ci est estimée à 32 % en bovins viande, ce qui correspond à un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 65 %, et à 52 % en bovins lait, ce qui correspond à un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 100 %. Ces paramètres sont constants dans le temps. La valeur bovins lait est attribuée aux sous-catégories laitières (hors vaches laitières), la valeur bovins viande est attribuée aux sous-catégories nourrices et boucheries. Pour les animaux de moins d'un an, la moyenne bovins lait et viande est considérée. Pour les veaux de boucherie, le $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ est considéré nul.
- Pour les chèvres : ce paramètre est estimé à partir du document de l'IDELE [983] qui fournit des rations et permet d'estimer l'azote excrété. La part de maïs ensilage considérée est de 14 %, soit un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 28 %. Cette valeur est maintenue sur la période. Pour les autres caprins, le $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ est considéré nul.
- Pour les ovins : ce paramètre est estimé à partir du document de l'IDELE sur l'alimentation des ovins [961] qui fournit la part d'ensilage de maïs et d'herbe conservée pour les systèmes lait et allaitant. Pour connaître la répartition foin/ensilage au sein de la catégorie « herbe conservée », la publication de Devun et al [1259] a été utilisée. Sont ensuite sommées les parts d'ensilage d'herbe et de maïs pour obtenir la part totale d'ensilage. Celle-ci est estimée à 12 % en ovins lait, ce qui correspond à un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 24 %, et à 14 % en ovins viande, ce qui correspond à un $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ de 28 %. Ces paramètres sont constants dans le temps. La valeur ovins lait est attribuée aux brebis laitières, la valeur ovins viande aux brebis allaitantes, et la valeur moyenne est utilisée pour la catégorie « autres ovins ». Pour les agnelles, les valeurs ovins lait et viande sont pondérées au prorata des effectifs différenciés entre les agnelles laitières et allaitantes fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007.
- Pour les autres animaux : le $\text{Frac_of_max}_{\text{silage}}$ est considéré nul.

Ainsi, les émissions sont dépendantes de la quantité d'énergie brute ingérée pour les bovins, et des SV excrétés pour les autres animaux, au silo, à l'aire d'alimentation, au bâtiment, et au pâturage. Les émissions à l'épandage et au stockage sont supposées corrélées aux émissions de NH_3 et les mêmes ratios entre émissions au bâtiment et au stockage d'une part et entre émissions au bâtiment et à l'épandage d'autre part sont utilisés pour calculer les émissions de COVNM à ces postes.

Important : les émissions de COVNM liées à l'alimentation, au silo, au bâtiment et au stockage sont rapportées par catégorie animale dans la section « Gestion des déjections animales - 3.B ». Les émissions de COVNM de l'épandage et la pâture sont rapportées dans la section « Sols agricoles – 3D ».

Emissions de CO

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Emissions de NH_3

L'agriculture contribue à la quasi-totalité des émissions d'ammoniac en France, principalement du fait de la gestion des déjections animales (bâtiment, stockage, épandage et pâture) et de la fertilisation minérale.

La méthodologie d'estimation des émissions d'ammoniac de l'élevage est basée sur l'approche Tier 2 développée dans le guide EMEP/EEA 2023 [1338]. Toutefois, l'approche développée dans PACRETE pour les inventaires français va parfois plus loin, en utilisant une catégorisation animale plus détaillée que celle d'EMEP pour l'azote excrété.

Par ailleurs, certaines techniques de réduction des émissions de NH_3 sont intégrées dans le calcul et leur mode de prise en compte dans l'inventaire est détaillé dans l'annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction » et « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage » :

- Lavage d'air dans les bâtiments porcins,
- Couverture de fosse des lisiers,
- Traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification,
- Epandage avec des matériels peu émissifs et enfouissement rapide des déjections.

Les travaux pour améliorer l'intégration de ces pratiques de réduction d'émission de NH_3 vont se poursuivre afin de refléter au mieux l'évolution des pratiques du secteur.

La méthodologie EMEP est basée sur les flux d'azote ammoniacal (TAN) et organique pendant la gestion des déjections. Les émissions sont estimées au bâtiment, au stockage, à l'épandage et au pâturage (au parcours pour les porcins et les volailles). Cette méthode prend en compte également les pertes d'azote sous forme de N_2 , NO et N_2O au bâtiment et au stockage, et les apports d'azote par la paille.

Les émissions totales de NH_3 correspondent à la somme des émissions des différents postes :

$$NH_{3total} = NH_{3bâtiment} + NH_{3stockage} + NH_{3épandage} + NH_{3pâturage}$$

Cependant, les émissions sont rapportées dans des catégories différentes :

- NH_3 Bâtiment : émissions rapportées en « Gestion des déjections animales » ;
- NH_3 Stockage : émissions rapportées en « Gestion des déjections animales » ;
- NH_3 Epandage : émissions rapportées en « Sols agricoles » ;
- NH_3 Pâturage : émissions rapportées en « Sols agricoles » .

Viennent également s'ajouter des émissions de NH_3 pour les effluents méthanisés, liées au pré-stockage des effluents avant méthanisation, et au stockage des produits sortant. Ces émissions sont rapportées en 5B2 mais les calculs sont décrits dans cette section.

Malgré ces reportages différenciés, nous allons ici décrire les différentes équations utilisées pour estimer ces flux d'azote, en partant du bâtiment pour arriver jusqu'à l'épandage.

Au bâtiment, la méthodologie EMEP distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « Agriculture | Introduction » :

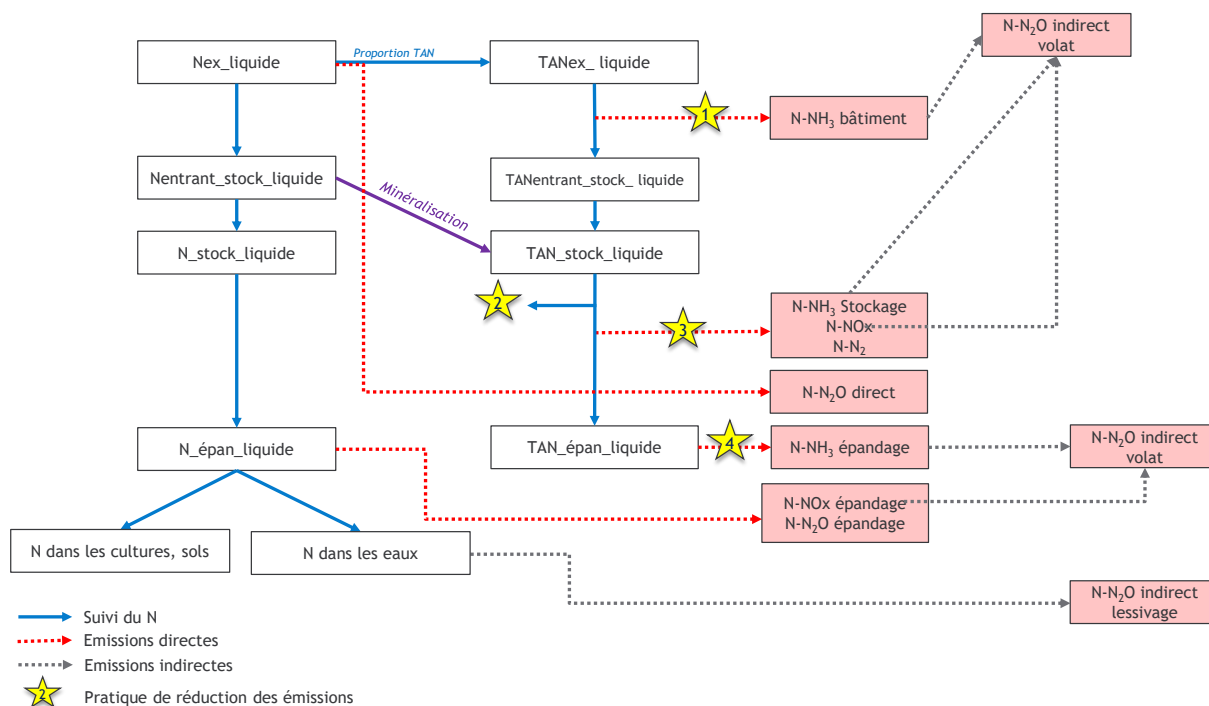
Tableau 42 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion

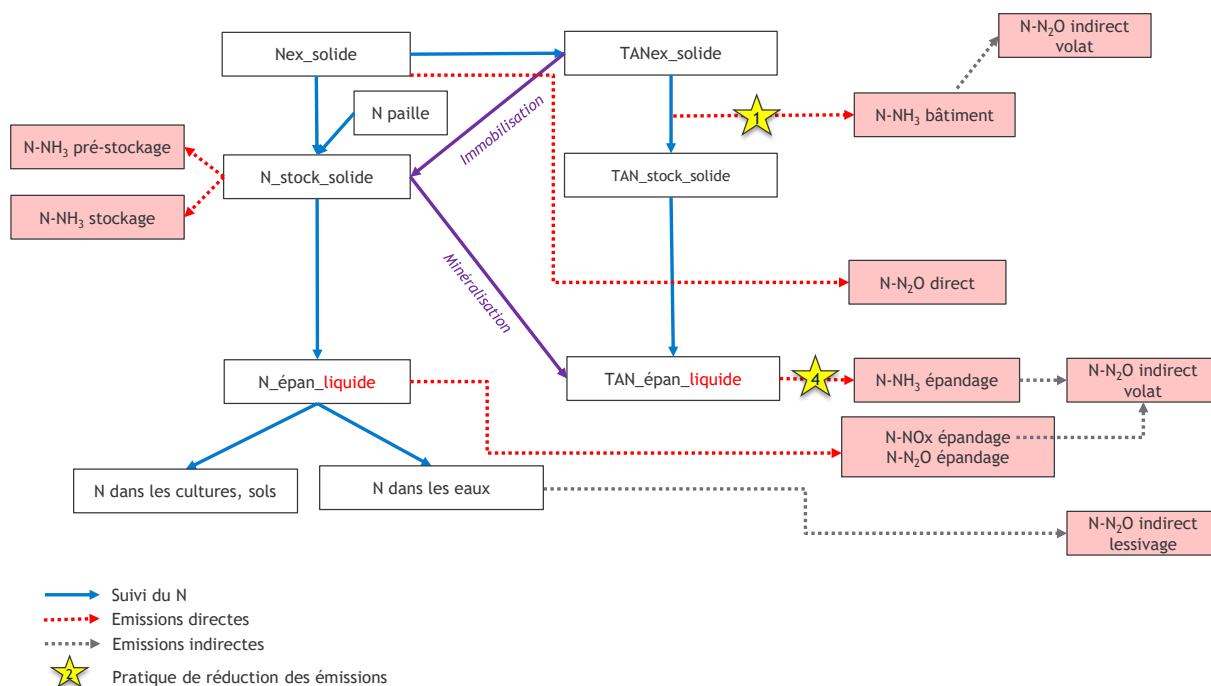
	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée
Correspondance EMEP	Liquide	Liquide	Solide	Solide

Les schémas ci-dessous résument le suivi de l'azote sur la chaîne bâtiment/stockage/épandage, en gestion liquide et en gestion solide.

A noter : les chiffres indiqués dans les étoiles correspondent aux techniques de réduction des émissions de NH_3 suivantes : (1) Lavage d'air en bâtiments (porcins) ; (2) traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification ; (3) couverture de fosse des lisiers (bovins, porcins, ovins, caprins) ; (4) matériel et délais d'épandage permettant la réduction des émissions.

Figure 26 : Suivi de l'azote en gestion liquide





NH₃ - Poste Bâtiment

La première étape consiste à évaluer l'azote excréteur, par catégorie animale, par système de gestion des déjections, à partir de l'équation suivante :

$$N_{ex,i} = Population_{totale} \times SG_i \times F_{ex}$$

Avec : $N_{ex,i}$ = Quantité d'azote totale excréteur par une catégorie animale pour le système de gestion des déjections i (kgN) ;
 $Population_{totale}$ = Cheptel de la catégorie concernée (tête) ;
 SG_i = part de la population gérée en système de gestion des déjections i
 F_{ex} = facteur d'excrétion azotée pour la catégorie concernée (kgN/tête)

Les F_{ex} sont nationaux et sont présentés en section « Agriculture | Introduction ».

L'azote excréteur est ensuite converti en azote ammoniacal (TAN) :

$$TAN_{ex,i} = N_{ex,i} \times TAN$$

Avec : $N_{ex,i}$ = Quantité d'azote totale excréteur par une catégorie animale pour le système de gestion des déjections i (kgN) ;
 TAN = Proportion d'azote ammoniacal

Les paramètres TAN varient selon les catégories animales et prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2019, à l'exception de la catégorie équins pour laquelle les valeurs sont tirées d'une publication nationale [473]. La catégorie « cervidés d'élevage » se voit attribuer la même valeur que celle de la catégorie « ovins » faute de données disponibles.

Tableau 43 : Tableau récapitulatif des proportions de TAN utilisées par catégorie animale

	TAN (part du Nex)
Vaches laitières	0,60
Autres bovins	0,60
Porcins et truies	0,70
Caprins	0,50
Ovins	0,50
Equins	0,55
Volailles	0,70
Lapines reproductrices	0,60
Cervidés d'élevage	0,50

C'est à partir de l'azote ammoniacal qu'est calculé l'azote volatilisé en NH_3 au bâtiment, selon l'équation suivante :

$$N-NH_{3\text{Bâtiment}} = \sum_i \{Frac_{Air_i} \times (TAN_{ex_i} \times FE_{Bâtiment_i} \times FA_{Air}) + (1 - Frac_{Air_i}) \times (TAN_{ex_i} \times FE_{Bâtiment_i})\}$$

Avec : $Frac_{Air_i}$: part des animaux de la catégorie i gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air (ratio) ;
 $FE_{Bâtiment_i}$: Facteur d'émission de NH_3 au bâtiment (kg $N-NH_3$ /kg TAN) pour les animaux de la catégorie i ;
 FA_{Air} : facteur d'ajustement associé au lavage d'air (ratio).

L'estimation du paramètre $Frac_{Air}$, représentant la part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air, est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Pour rappel, le traitement de l'air est renseigné uniquement pour les porcins.

La valeur du paramètre FA_{Air} , représentant le facteur d'ajustement associé au lavage d'air, a été estimée à partir des données d'une enquête sur les laveurs d'air en Bretagne en 2015 [995]. La valeur retenue est une réduction des émissions de NH_3 de 30%, ce qui signifie un facteur d'ajustement du facteur d'émission égal à 70 %. (NB : facteur d'ajustement = 1 – facteur de réduction)

Les facteurs d'émission de NH_3 au bâtiment prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2023 [1338], à l'exception de certaines catégories de volailles pour lesquelles une réflexion a été menée pour adapter les facteurs par défaut, jugés non représentatifs des élevages avicoles français. Les modifications suivantes ont été apportées :

Poules pondeuses : le facteur d'émission par défaut EMEP a été adapté pour tenir compte de la cinétique d'hydrolyse de l'acide urique en azote ammoniacal [800], ralentie par la mise en place de certains systèmes de gestion des déjections spécifiques (tapis de pré-séchage, sécheur extérieur) dont le développement en France est connu et fourni par l'Institut Technique de l'Aviculture (ITAVI).

Poulets de chair, dindes, pintades et cailles : des facteurs d'émissions spécifiques ont été développés par l'ITAVI pour le compte de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) [801].

Les facteurs d'émission par catégorie et système de gestion des déjections sont répertoriés dans le tableau suivant.

A noter : Pour les poules pondeuses et les poulettes, le facteur d'émission recalculé varie dans le temps du fait de la progression des systèmes de gestion des déjections entraînant des réductions. De même, le facteur d'émission des poulets de chair varie dans le temps car cette catégorie est composée de plusieurs productions (standard, export, lourd) présentant des facteurs d'émission différents. Les valeurs fournies dans le tableau correspondent à la plage 1990-2021.

Tableau 44 : Facteurs d'émission de N-NH3 au bâtiment

		FE N-NH3 Liquide (kg N-NH3/TANex)	FE N-NH3 Solide (kg N-NH3/TANex)
Vaches laitières		0,24	0,08
Autres bovins		0,24	0,08
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,27	0,23
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,27	0,23
	Verrats de 50 kg et plus	0,35	0,24
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,27	0,23
Truies de 50 kg et plus		0,35	0,24
Caprins		0,22	0,22
Ovins		0,22	0,22
Chevaux		-	0,22
Mules et ânes		-	0,22
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-	0,20 - 0,16
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	-	0,20 - 0,16
	Poulettes	-	0,20 - 0,16
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,14 - 0,15
	Canards à gaver	0,24	0,24
	Canards à rôtir	0,24	0,24
	Dindes et dindons (au 1er octobre)		0,19
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,57	0,57
	Pintades		0,19
	Cailles d'élevage		0,19
Autres	Lapines reproductrices	0,27	0,27
	Cervidés d'élevage*	-	-
* gestion uniquement à la pâture			

Les émissions de NH₃ au bâtiment sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_{3\text{Bâtiment}} = N-NH_{3\text{Bâtiment}} \times \frac{17}{14}$$

NH₃ - Poste Stockage – pour les effluents hors méthanisation

Les facteurs d'émission fournis dans EMEP sont toujours basés sur l'azote ammoniacal et par conséquent, il est important de suivre les transferts entre azote ammoniacal et azote organique.

Le suivi de l'azote total et de l'azote ammoniacal entrant au stockage est calculé de la manière suivante :

$$TAN_{entrant_stock\ i} = TAN_{ex\ i} - N-NH_{3\text{Bâtiment}\ i}$$

$$N_{entrant_stock\ i} = N_{ex\ i} - N-NH_{3\text{Bâtiment}\ i}$$

L'indice *i* distingue la gestion solide de la gestion liquide.

Pendant le stockage des effluents liquides, une partie de l'azote organique est minéralisée et rejoint le réservoir d'azote ammoniacal. Ce transfert est traduit par l'équation suivante :

$$\text{Liquide : } TAN_{stock\ i} = TAN_{entrant_stock\ i} + (N_{entrant_stock\ i} - TAN_{entrant_stock\ i}) \times F_{min} \quad (\text{équation a})$$

Avec : F_{min} = Facteur de minéralisation par défaut proposé par EMEP 2019 (=0,1).

On considère que le phénomène de minéralisation a lieu pour l'ensemble des effluents liquides. En particulier, pour les lisiers porcins, ce phénomène est pris en compte avant le départ d'une partie des lisiers vers les stations de nitrification dénitrification. Le calcul de l'azote résorbé dans ces stations est présenté en annexe « A.4 Données d'activité pour

l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Cet azote est estimé au niveau national, pour l'ensemble des catégories porcines. On fait l'hypothèse que tout l'azote résorbé est de l'azote ammoniacal.

La prise en compte de ce traitement implique de faire sortir l'azote résorbé du suivi de l'azote à partir duquel sont estimées les émissions. Pour cela, l'azote résorbé au niveau national toutes catégories porcines confondues est réparti au prorata de la contribution en TAN_{stock} de chaque catégorie porcine, pour chaque région, aux quantités nationales de TAN_{stock} pour l'ensemble de la catégorie porcine. Cette estimation est une première approximation qui pourra être améliorée par la suite.

$$Frac_{reg, animal} = \frac{TAN_{stock_{reg, animal}}}{TAN_{stock_{national, porcs}}}$$

Avec : $TAN_{stock_{reg, animal}}$: quantité d'azote ammoniacal au stockage pour l'animal concerné, pour la région concernée ;
 $TAN_{stock_{national, porcs}}$: quantité d'azote ammoniacal au stockage toutes catégories porcines confondues, au niveau national.

L'équation (a) présentée ci-dessus s'applique à l'ensemble des catégories animales, à l'exception donc des porcs qui se voient appliquer l'équation (b) ci-dessous :

$$\text{Liquide : } TAN_{stock_i} = \{TAN_{entrant_stock_i} + (N_{entrant_stock_i} - TAN_{entrant_stock_i}) \times F_{min}\} - N_{resorb} \times Frac_{reg, animal} \quad (\text{équation b})$$

Avec : N_{resorb} = Quantité d'azote résorbée au niveau national, toutes catégories porcines confondues (kgTAN/an) ;
 $Frac_{reg, animal}$ = Part de l'azote ammoniacal de l'animal concerné, pour la région concernée, par rapport à l'azote ammoniacal national total toutes catégories porcines confondues.

Pour les systèmes solides, la présence de paille favorise l'assimilation de l'azote par les micro-organismes de la litière. Ce transfert est traduit par l'équation suivante :

$$\text{Solide : } TAN_{stock_i} = TAN_{entrant_stock_i} - Paille \times F_{imm}$$

$$N_{stock_i} = N_{entrant_stock_i} + Paille \times T_{MS} \times T_N$$

Avec : $Paille$ = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraîche) ;
 F_{imm} = Facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2023 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraîche) ;
 T_{MS} = taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraîche) ;
 T_N = taux d'azote contenu dans la paille (kg N/kg de matière sèche).

Les quantités de paille apportées par catégorie animale sont présentées en section « Agriculture | Introduction », au niveau de la définition des systèmes de gestion des déjections animales. Le taux d'azote contenu dans la paille ainsi que le taux de matière sèche proviennent des données de l'Inrae [658].

Il faut noter que pour les volailles, l'immobilisation de l'azote ammoniacal par la litière n'a pas été prise en compte car il a été considéré que les facteurs d'émissions d'EMEP 2023 correspondent déjà à un fumier de volailles pour lequel une partie importante de l'azote ammoniacal a été assimilée par les micro-organismes de la litière.

Une fois les transferts liés à la minéralisation et à l'immobilisation effectués, l'azote volatilisé en NH_3 au stockage est calculé selon l'équation suivante :

$$N-NH_{3_{stockage}} = \sum_i \{Frac_{couv_i} \times TAN_{stock_i} \times FE_{stock_i} \times FA_{couv} + (1 - Frac_{couv_i}) \times TAN_{stock_i} \times FE_{stock_i}\}$$

Avec : $Frac_{couv_i}$ = part des liquides stockés dans des fosses couvertes (ratio) ;
 FE_{stock_i} = facteur d'émission de NH_3 au stockage (kg N- NH_3 /kg TAN) ;
 FA_{couv} = facteur d'ajustement associé à la couverture de fosse (ratio).

L'estimation du paramètre $Frac_{couver}$, représentant la part des liquides stockés en fosse couverte est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Pour rappel, la couverture de fosse est renseignée uniquement pour les bovins, les porcins, les ovins et les caprins.

La valeur du paramètre FA_{couver} , représentant le facteur d'ajustement associé à la couverture de fosse, est tirée du document d'orientation de l'UNECE [809]. La valeur retenue est celle associée à la modalité couverture flottante (en anglais « Plastic sheeting (floating cover) »). La réduction d'émission de NH_3 associée à cette modalité est estimée à 60%, ce qui signifie un facteur d'ajustement du facteur d'émission égal à 40%. (NB : facteur d'ajustement = 1 – facteur de réduction).

Les facteurs d'émission de NH_3 au stockage prennent les valeurs proposées par EMEP 2023.

Tableau 45 : Facteurs d'émission de N-NH₃ au stockage

		FE N-NH ₃ Liquide (kg N-NH ₃ /TANstock)	FE N-NH ₃ Solide (kg N-NH ₃ /TANstock)
Vaches laitières		0,25	0,32
Autres bovins		0,25	0,32
Porcins et truies		0,11	0,29
Caprins		0,28	0,28
Ovins		0,32	0,32
Chevaux		-	0,35
Mules et ânes		-	0,35
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-	0,08
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	-	0,08
	Poulettes	-	0,08
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,30
	Canards à gaver	0,24	0,24
	Canards à rôtir	0,24	0,24
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-	0,24
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,16	0,16
	Pintades	-	0,24
	Cailles d'élevage	-	0,24
Autres	Lapines reproductrices	0,09	0,09
	Cervidés d'élevage*	-	-
* gestion uniquement à la pâture			

Les émissions de NH_3 au stockage sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_{3\text{Stockage}} = N-NH_{3\text{Stockage}} \times \frac{17}{14}$$

D'autres émissions de composés azotés (N_2O , N_2 , NO_x) ont lieu durant le stockage, émissions qu'il est important de comptabiliser ici pour le suivi de l'azote.

Les émissions de N_2O directes sont estimées conformément au Giec 2019. La méthodologie est détaillée plus haut, dans la section « Emissions de N_2O ».

Les émissions de N_2 sont estimées conformément à la méthodologie EMEP 2023, à partir de l'équation suivante :

$$N-N_2 = TAN_{stock\ i} \times FE_{N_2}$$

Avec : FE_{N_2} = Facteur d'émission de N_2 au stockage (kg N- N_2 /kg TAN).

Les facteurs d'émission utilisés correspondent aux valeurs par défaut tirées d'EMEP 2023 et varient selon les modes de gestion des déjections animales (liquide et solide) :

- $FE_{stockage_N_2_liquide} = 0,003 \text{ kg N-N}_2/\text{kg TAN}_{stock}$;
- $FE_{stockage_N_2_solide} = 0,3 \text{ kg N-N}_2/\text{kg TAN}_{stock}$.

Les émissions de NOx sont estimées conformément à la méthodologie EMEP 2019, à partir de l'équation suivante. Le calcul détaillé est situé à la section « Emissions de NOx ».

$$N-NO_x = TAN_{stock_i} \times FE_{NO}$$

Enfin, il faut également estimer les quantités d'azote lixivié et écoulé au cours du stockage. Pour rappel, c'est à partir de ces quantités d'azote lessivé et écoulé que sont calculées les émissions indirectes de N2O liées à la lixiviation. D'après la méthodologie EMEP 2019, le lessivage de l'azote n'a lieu que pour les systèmes de gestion des déjections solide, à hauteur de 12 % du TAN stocké. Le calcul est effectué selon l'équation suivante :

$$N_{lessivé} = TAN_{stock_i} \times Part_{N_{lixiv}}$$

Avec : $Part_{N_{lixiv}} = \text{Part du TAN stocké partant dans les eaux.}$

NH₃ – Poste Stockage – Effluents et cosubstrats méthanisés

Pour les effluents partant en méthanisation, la méthodologie à suivre diffère légèrement. Les facteurs d'émission sont issus du chapitre 5B2 d'EMEP 2023 [1145], Tables 3.2 et 3.3. Contrairement aux facteurs d'émission classiquement utilisés, ces facteurs d'émission sont basés sur l'azote total. Pour les effluents d'élevage, il est cependant important de continuer à suivre l'azote total et l'azote ammoniacal. Pour les cosubstrats (CIVE, résidus de culture, déchets d'IAA...), l'azote total est calculé sur la base des quantités totales estimées dans le paragraphe « Méthanisation agricole » et en utilisant les teneurs en azote EMEP 2023 :

Liquide :	$TAN_{stock_liquide} = TAN_{ex_liquide} - N-NH_{3Bâtiment_liquide}$ $N_{stock_liquide} = N_{ex_liquide} - N-NH_{3Bâtiment_liquide}$
Solide :	$TAN_{stock_solide} = TAN_{ex_solide} - N-NH_{3Bâtiment_solide} - Paille \times F_{imm}$ $N_{stock_solide} = N_{ex_solide} - N-NH_{3Bâtiment_solide} + Paille \times T_{MS\ paille} \times T_N\ paille$
Cosubstrats :	$N_{stock_cosubstrats} = Q_{cosubstrats} \times T_N\ cosubstrats$

Avec :
Paille = quantité de paille apportée (tonnes de matière fraîche) ;
F_{imm} = facteur d'immobilisation par défaut proposé par EMEP 2023 (= 0,0067 kg/ kg de matière fraîche)
T_{MS paille} = taux de matière sèche contenue dans la paille (kg matière sèche/kg matière fraîche) ;
T_{N paille} = teneur en azote de la paille (kg N/kg de matière sèche)
Q_{cosubstrats} = Quantité de cosubstrats méthanisés en (tonnes de matière fraîche)
T_{N cosubstrats} = teneur en azote des cosubstrats (kg N/kg de matière brute)

Les émissions du pré-stockage et du stockage sont estimées sur la base du N_{stock_solide} , du $N_{stock_liquide}$ et du $N_{stock_cosubstrats}$:

$$N-NH_{3pré-stockage} = \sum_k N_{stock_k} \times FE_{pré-stockage}$$

Avec :
FE_{pré-stockage} = Facteur d'émission de N-NH₃ au pré-stockage = 0,0009 kg N-NH₃/kg N (EMEP 2023) ;
L'indice k qui distingue les effluents d'élevage liquides, solides et les cosubstrats de méthanisation

$$N-NH_{3stockage} = \sum_k N_{stock_k} \times FE_{stockage}$$

Avec : $FE_{stockage}$ = Facteur d'émission de $N-NH_3$ au stockage = 0,0266 kg $N-NH_3$ /kg N (EMEP 2023) ;
L'indice k qui distingue les effluents d'élevage liquides, solides et les cosubstrats de méthanisation

Important : ces émissions sont converties en NH_3 et rapportées en « 5B2 - Biological treatment of waste - Anaerobic digestion at biogas facilities ».

$$NH_{3total_methanisation} = \left(N-NH_{3pré-stockage} \times N-NH_{3stockage} \right) \times \frac{17}{14}$$

Ces effluents, après méthanisation et stockage, ont vocation à être épandus. D'après la méthodologie EMEP 2023, tous les effluents sortant de méthanisation sont à considérer comme des effluents liquides. A ce titre, une partie de l'azote organique est minéralisée et rejoint le réservoir d'azote ammoniacal. Ce transfert est traduit dans l'équation suivante, permettant d'estimer l'azote ammoniacal total (sous forme liquide) disponible pour l'épandage :

$$TAN_{epan_liquide_metha} = \sum_i \{ TAN_{stock_i} - (N-NH_{3pré-stockage_i} + N-NH_{3stockage_i}) + (N_{stock_i} - TAN_{stock_i}) \times F_{min} \}$$

Avec : F_{min} = Facteur de minéralisation par défaut proposé par EMEP 2023 (=0,32)
L'indice i distingue les effluents d'élevage liquides et solides

A noter : Le facteur d'émission de NH_3 des cosubstrats à l'épandage dépend de l'azote total et non de l'azote ammoniacal aussi le suivi du TAN n'est réalisé que pour les effluents d'élevage.

Il est également nécessaire d'estimer l'azote total disponible pour l'épandage. Ici on ajoute les :

$$N_{epan_liquide_metha} = \sum_k \{ N_{stock_k} - (N-NH_{3pré-stockage_k} + N-NH_{3stockage_k}) \}$$

L'indice k qui distingue les effluents d'élevage liquides, solides et les cosubstrats de méthanisation

NH₃ - Poste Epandage

En plus du « $TAN_{epan_liquide_metha}$ » présenté ci-dessus, issu des effluents méthanisés, on estime le TAN disponible des effluents d'élevage issus du stockage. Pour cela, il est nécessaire de répertorier les différentes pertes d'azote ayant eu lieu au stockage, en effectuant le bilan suivant :

Liquide :

$$TAN_{epan_liquide} = TAN_{stock_liquide} - (N-NH_{3stock_liquide} + N-N_2stock_liquide + N-NOstock_liquide + N-N_2Ostock_liquide)$$

$$N_{epan_liquide} = N_{stock_liquide} - (N-NH_{3stock_liquide} + N-N_2stock_liquide + N-NOstock_liquide + N-N_2Ostock_liquide)$$

Solide :

$$TAN_{epan_solide} = TAN_{stock_solide} - (N-NH_{3stock_solide} + N-N_2stock_solide + N-NOstock_solide + N-N_2Ostock_solide + N_{lessivé})$$

$$N_{epan_solide} = N_{stock_solide} - (N-NH_{3stock_solide} + N-N_2stock_solide + N-NOstock_solide + N-N_2Ostock_solide + N_{lessivé})$$

Important pour la section « Sols agricoles – 3D » : la somme de $N_{epan_liquide_metha}$, $N_{epan_liquide}$ et N_{epan_solide} est utilisée pour le calcul des émissions de N_2O liées à l'épandage des déjections, émissions prises en compte dans la section « Sols agricoles – 3D ».

A l'épandage, les émissions d'ammoniac dépendent à la fois du type de matériel utilisé et des délais d'incorporation post-épandage. Selon les techniques en place, des abattements plus ou moins importants peuvent être appliqués. Pour chaque espèce, le calcul des émissions est alors effectué selon l'équation suivante :

$$N-NH_3 \text{ épandage} = \sum_{i,m} \{ \text{Frac}_{\text{épan } i,m} \times \text{TAN}_{\text{épan } i} \times \text{FE}_{\text{épan } i} \times \text{FA}_{i,m} \}$$

Avec :
L'indice i distingue les déjections liquides des déjections solides ;
L'indice m représente l'association « matériel + délai » ;
Frac_{épan i,m} = Part des déjections épandue selon l'association (matériel + délais) concernée ;
FE_{épan i} = Facteur d'émission de NH₃ à l'épandage (kg N-NH₃/kg TAN_{épan}) ;
FA_{i,m} = Facteur d'ajustement de l'association (matériel + délais) concernée.

Attention : les effluents sortant de méthanisation sont assimilés à l'épandage à des effluents liquides. Le facteur d'émission des cosubstrats de méthanisation étant très faible et dépendant de l'azote total (et non du TAN) on ne lui affecte pas de facteur d'ajustement bien que l'épandage puisse être réalisé par un matériel moins émissif.

L'estimation du paramètre *Frac_{épan i,k}*, représentant la part des déjections épandue par association (matériel + délais) est réalisée différemment entre la période historique (1990-2020) et la période récente (2021-2023) dans le but d'améliorer la réactivité des données sur la période récente. Les modalités de calcul de ce paramètre sont présentées en annexe :

- L'estimation de ce paramètre pour la période 1990-2020 est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction »
- L'estimation de ce paramètre pour la période 2021-2023 est présentée en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage »

L'estimation du paramètre *FA_{i,m}* est issu de deux sources distinctes :

- Les facteurs d'abattement liés aux matériels utilisés proviennent de la guidance UNECE [809] ;
- Les facteurs d'abattements liés aux délais d'incorporation après épandage sont tirés d'une étude menée en France par l'ADEME [803].

Ces facteurs d'abattement (1-FA) sont exprimés dans nos équations en facteur d'ajustement (FA) du facteur d'émission : plus le facteur d'ajustement est faible, plus la réduction est forte.

Dans le cas des pendillards, pour une combinaison (matériel + délais d'incorporation après épandage), le choix a été fait de multiplier les deux facteurs d'ajustement. Le matériel est considéré comme technique de réduction du fait de la réduction de surface de contact effluent/air, le raccourcissement du délai d'enfouissement est lui considéré comme technique de réduction du fait de la réduction du temps de contact effluent/air.

Pour les autres combinaisons (hors pendillard), la question de la combinaison des facteurs ne se pose pas car soit les facteurs d'ajustement des matériels sont égaux à 1 (buse et rampe, épandeurs fumier, indifférencié), soit il n'y a pas de délai distingué (enfouisseur : délai forcément <4h).

Exemple : si un effluent liquide est épandu avec un pendillard mais incorporé 6 heures après épandage, on multiplie le facteur d'ajustement du pendillard (0,7) par celui du délai (0,5) et on obtient le facteur d'ajustement (FA = 0,525).

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs d'ajustement par matériel, délais et combinaisons :

Tableau 46 : Facteurs d'ajustement (FA_{i,m}) liés aux pratiques d'épandage

Matériel	Facteur d'ajustement matériel	Délais	Facteur d'ajustement délais	Facteur d'ajustement combinaison (FA _{i,m})
Buse et rampe	1	Délai 1 : < 4h	0,3	0,3
		Délai 2 : 4 < h < 12	0,5	0,5
		Délai 3 : 12 < h < 24	0,75	0,75
		Délai 4 : > 24h	0,95	0,95
		Délai 5 : sans objet	1	1
Pendillard	0,7	Délai 1 : < 4h	0,3	0,21
		Délai 2 : 4 < h < 12	0,5	0,35
		Délai 3 : 12 < h < 24	0,75	0,525
		Délai 4 : > 24h	0,95	0,665
		Délai 5 : sans objet	1	0,7
Enfouisseur	0,3			0,3
Epandeur fumier	1	Délai 1 : < 4h	0,3	0,3
		Délai 2 : 4 < h < 12	0,5	0,5
		Délai 3 : 12 < h < 24	0,75	0,75
		Délai 4 : > 24h	0,95	0,95
		Délai 5 : sans objet	1	1
Indifférencié	1	Délai 1 : < 4h	0,3	0,3
		Délai 2 : 4 < h < 12	0,5	0,5
		Délai 3 : 12 < h < 24	0,75	0,75
		Délai 4 : > 24h	0,95	0,95
		Délai 5 : sans objet	1	1

Les facteurs d'émission de NH₃ à l'épandage prennent les valeurs proposées par EMEP 2023.

Tableau 47 : Facteurs d'émission de N-NH₃ à l'épandage

		FE N-NH ₃ Liquide (kg N-NH ₃ /TANépan)	FE N-NH ₃ Solide (kg N-NH ₃ /TANépan)
Vaches laitières		0,55	0,68
Autres bovins		0,55	0,68
Porcins	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,40	0,45
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,40	0,45
	Verrats de 50 kg et plus	0,29	0,45
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,40	0,45
Truies de 50 kg et plus		0,29	0,45
Caprins		0,90	0,90
Ovins		0,90	0,90
Chevaux		-	0,90
Mules et ânes		-	0,90
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-	0,45
	Poules pondeuses d'œufs de consommation	-	0,45
	Poulettes	-	0,45
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,38
	Canards à gaver	0,54	0,54
	Canards à rôtir	0,54	0,54
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-	0,54
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,45	0,45
	Pintades	-	0,54
	Cailles d'élevage	-	0,54
Autres	Lapines reproductrices	0,69	0,69
	Cervidés d'élevage*	-	-

* gestion uniquement à la pâture

Les émissions de NH_3 à l'épandage sont obtenues de la façon suivante :

$$\text{NH}_3 \text{ épandage} = \text{N-NH}_3 \text{ épandage} \times \frac{17}{14}$$

Important : ces émissions de NH_3 à l'épandage ne sont pas comptabilisées en « Gestion des déjections animales » mais en « Sols agricoles ».

NH_3 - Poste Pâturage

Tout comme ce qui a été fait pour le bâtiment, la première étape consiste à évaluer l'azote excrété, par catégorie animale, à la pâture, à partir de l'équation suivante :

$$N_{\text{ex_pâturage}} = \text{Population}_{\text{totale}} \times SG_{\text{pâturage}} \times F_{\text{ex}}$$

Avec : $N_{\text{ex_pâturage}}$ = Quantité d'azote totale excrétée par une catégorie à la pâture (kgN) ;
 $\text{Population}_{\text{totale}}$ = Cheptel de la catégorie concernée (tête) ;
 $SG_{\text{pâturage}}$ = part de la population gérée à la pâture ;
 F_{ex} = facteur d'excrétion azotée pour la catégorie concernée (kgN/tête).

Les F_{ex} sont nationaux et sont présentés en section « Agriculture | Introduction ».

Important pour la section « Sols agricoles – 3D » : les quantités d'azote totales excrétées à la pâture ($N_{\text{ex_pâturage}}$) sont utilisées pour le calcul des émissions de N_2O prises en compte dans la section « Sols agricoles – 3D ».

L'azote excrété est ensuite converti en azote ammoniacal (TAN) :

$$\text{TAN}_{\text{ex_i}} = N_{\text{ex_i}} \times \text{TAN}$$

Avec : TAN : Proportion d'azote ammoniacal

Les émissions de NH_3 des animaux à la pâture sont estimées de la façon suivante :

$$\text{N-NH}_3 \text{ pâturage} = \text{TAN}_{\text{ex_pâturage}} \times FE_{\text{pâturage}}$$

Avec : $\text{TAN}_{\text{ex_pâturage}}$ = quantités d'azote ammoniacal excrété à la pâture ;
 $FE_{\text{pâturage}}$ = Facteur d'émission de NH_3 à la pâture/parcours (kg N-NH_3 /kg TAN).

Les facteurs d'émissions utilisés prennent les valeurs par défaut proposées par EMEP 2023, à l'exception des volailles pour lesquelles il n'y a pas de valeur par défaut au parcours. Le FE « parcours » est donc tiré de Méda *et al.* [482]. Faute de données concernant les lapines reproductrices, le FE des volailles leur est attribué. La catégorie « cervidés d'élevage » se voit attribuer la même valeur que celle de la catégorie « ovins » faute de données disponibles.

Tableau 48 : Facteurs d'émission de N-NH₃ à la pâture

	FE N-NH ₃ Pâture (kg N-NH ₃ /TANex_pâture)
Vaches laitières	0,14
Autres bovins	0,14
Porcins et truies	0,31
Caprins	0,09
Ovins	0,09
Chevaux	0,35
Mules et ânes	0,35
Volailles	0,018
Lapines reproductrices	0,018
Cervidés d'élevage	0,09

Les émissions de NH₃ à la pâture sont obtenues de la façon suivante :

$$NH_3 \text{ pâture} = N-NH_3 \text{ pâture} \times \frac{17}{14}$$

Important : ces émissions de NH₃ à la pâture ne sont pas comptabilisées en « Gestion des déjections animales » mais en « Sols agricoles ».

Emissions de particules (TSP, PM₁₀, PM_{2,5})

Le calcul des émissions de particules est fondé sur la méthodologie EMEP, qui distingue deux types d'effluents : liquide et solide. Ci-dessous pour rappel la correspondance avec les systèmes de gestion décrits en section « Agriculture | Introduction » :

Tableau 49 : Correspondances effluents EMEP et systèmes de gestion

	Lisier sans croûte naturelle	Lisier avec croûte naturelle	Fumier	Litière accumulée
Correspondance EMEP	Liquide	Liquide	Solide	Solide

Les calculs pour les émissions de PM₁₀ et de PM_{2,5} primaires sont basés sur l'équation d'EMEP/EEA 2023 [1338] suivante, adaptée pour prendre en compte le traitement de l'air (pour plus de détails, se référer à la section en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction » :

$$E_{PM} = PMA_{animal} \times \%_{bâtiment} \times [(\%_{liquide} \times EF_{liquide} + \%_{solide} \times EF_{solide}) \times ((Frac_{air} \times FA_{air} + (1 - Frac_{air})))]$$

Avec :

- E_{PM} = Emissions de PM₁₀ ou PM_{2,5} pour une catégorie animale donnée ;
- PMA_{animal} = Population Moyenne Annuelle pour une catégorie animale donnée ;
- $\%_{bâtiment}$ = Pourcentage du temps annuel en bâtiment ;
- $Frac_{air}$: part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air (ratio) ;
- $\%_{liquide}$ = Pourcentage des effluents gérés dans des systèmes liquide ;
- $\%_{solide}$ = Pourcentage des effluents gérés dans des systèmes solide ;
- $EF_{liquide}$ = Facteur d'émission pour les systèmes liquide ;
- EF_{solide} = Facteur d'émission pour les systèmes solide ;
- FA_{air} : facteur d'ajustement associé au lavage d'air (ratio).

L'estimation du paramètre $Frac_{air}$, représentant la part des animaux gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air, est présentée en annexe « A.4 Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction ». Pour rappel, le traitement de l'air est renseigné uniquement pour les porcs.

La valeur du paramètre FA_{air} , représentant le facteur d'ajustement du facteur d'émission particules associé au lavage d'air, est tirée du document d'orientation de l'UNECE [809]. La réduction d'émission de particules associée au lavage d'air est estimée à 70 %, ce qui signifie un facteur d'ajustement du facteur d'émission égal à 30 %. (NB : facteur d'ajustement = 1 – facteur de réduction)

D'après le guide EMEP/EEA 2023 [1338], il n'existe que peu de données d'émission de particules pour les animaux au pâturage/parcours, voilà pourquoi seuls des facteurs d'émission au bâtiment sont proposés. Depuis la version EMEP 2016, le tableau des facteurs d'émission Tier 2 a disparu car les FE proposés paraissaient élevés comparés à d'autres résultats, donc jugés non représentatifs. Le choix a été fait de conserver pour l'instant la méthode EMEP 2013 pour les catégories auxquelles on appliquait le Tier 2 (bovins et porcs), en attendant d'obtenir de nouvelles données. En revanche, les facteurs d'émission d'EMEP 2023 Tier 1 (tableau 3.5) [1338] sont appliqués pour les caprins, ovins, chevaux, mules et ânes, lapines reproductrices et pour la majorité des volailles, à l'exception :

- *Des poules pondeuses* : un facteur d'émission moyen est recalculé à partir des valeurs proposées par EMEP 2013 Tier 2 pour les cages et les perchoirs, EMEP 2019 ne proposant pas cette distinction. La pondération entre ces FE est faite à partir des effectifs en cage qui sont connus et fournis par l'Itavi, le reste étant assimilé à du perchoir. Le facteur moyen recalculé varie annuellement selon l'évolution des modes de gestion.
- *Des cailles* : les modes d'élevage de ces animaux sont similaires à ceux des poulets de chair, mais une correction est apportée pour tenir compte des différences de densité rencontrées entre les bâtiments de ces deux espèces.
- *Des pintades* : les modes d'élevage sont similaires à ceux des dindes mais une correction est apportée pour tenir compte des différences de densité rencontrées entre les bâtiments de ces deux espèces.

Tableau 50 : Facteurs d'émission PM utilisés

		FE TSP		FE PM10		FE PM2.5	
		Liquide	Solide	Liquide	Solide	Liquide	Solide
Vaches laitières		1,81	0,94	0,83	0,43	0,54	0,28
Autres bovins		0,69	0,52	0,32	0,24	0,21	0,16
Porcs	Porcelets non sevrés (<8kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,36	0,00	0,16	0,00	0,03	0,00
	Verrats de 50 kg et plus	1,36	1,77	0,61	0,80	0,11	0,14
	Porcs à l'engrais (>30kg)	0,70	0,83	0,31	0,37	0,06	0,07
Truies de 50 kg et plus		1,36	1,77	0,61	0,80	0,11	0,14
Caprins		0,14	0,14	0,06	0,06	0,02	0,02
Ovins		0,14	0,14	0,06	0,06	0,02	0,02
Chevaux		-	0,48	-	0,22	-	0,14
Mules et ânes		-	0,34	-	0,16	-	0,10
Volailles	Poules pondeuses d'œufs à couvrir	-	0,029-0,093	-	0,029-0,093	-	0,004-0,018
	Poules pondeuses d'œufs de consommation						
	Poulettes						
	Poulets de chair (y compris coqs et coquelets)	-	0,040	-	0,020	-	0,002
	Canards à gaver	0,14	0,14	0,14	0,14	0,02	0,02
	Canards à rôtir	0,14	0,14	0,14	0,14	0,02	0,02
	Dindes et dindons (au 1er octobre)	-	0,11	-	0,11	-	0,02
	Oies au 1er octobre (à rôtir, à gaver)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,03	0,03
	Pintades	-	0,06	-	0,06	-	0,01
	Cailles d'élevage	-	0,009	-	0,005	-	0,0005
Autres	Lapines reproductrices	0,018	0,018	0,008	0,008	0,004	0,004
	Cervidés d'élevage	-	-	-	-	-	-

* gestion uniquement à la pâture

Métaux lourds (ML)

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Polluants organiques persistants POP)

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Comparaison des résultats avec la méthode tier 2 du GIEC

Comparaison des SV

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 a été réalisée pour le paramètre VS pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2019 pour estimer les SV est la suivante :

$$SV = \left[EB \times \left(1 - \frac{dE\%}{100} \right) + (EU \times EB) \right] \times \left[\frac{1 - CENDRE}{18,45} \right]$$

Avec : *EB* = Consommation d'énergie brute (MJ/jour) ;
dE% : Digestibilité de l'énergie (%) ;
EU x EB = énergie urinaire exprimée en tant que fraction de l'*EB* ;
CENDRE = teneur en cendres du fumier.

Pour estimer le SV, les valeurs d'*EB* listées dans la section « Fermentation entérique – 3A » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

Tableau 51 : Comparaison des SV – MONDFERENT I et II / Giec 2019

	SV MONDFERENT		SV estimé à partir du Giec 2019		Variation MONDFERENT/Giec 2019 (%)	
	1990	2023	1990	2023	1990	2023
Vaches laitières	4,6	6,4	4,8	6,0	-4%	8%
Vaches nourrices	2,9	2,9	3,1	3,1	-9%	-9%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,4	2,4	10%	10%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	2,2	2,2	2,3	2,3	-4%	-4%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,0	2,0	29%	29%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,9	2,9	-11%	-11%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	2,6	2,6	2,6	2,6	-3%	-3%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	1,9	1,9	2,7	2,6	-29%	-28%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	1,8	1,8	2,3	2,3	-21%	-21%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	2,1	2,1	2,5	2,5	-17%	-17%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	2,3	2,3	2,8	2,8	-18%	-18%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	2,7	2,7	2,7	2,7	0%	0%
Veaux de boucherie	0,8	0,8	1,4	1,4	-40%	-40%
Autres femelles de moins de 1 an	0,8	0,8	1,9	1,9	-56%	-56%
Autres mâles de moins de 1 an	0,9	0,9	1,8	1,8	-50%	-51%
Chevrettes	0,4	0,4	0,4	0,4	-1%	-1%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	1,1	1,1	0,7	0,7	63%	63%
Autres caprins (y compris boucs)	0,5	0,5	0,2	0,3	102%	111%
Agnelles	0,4	0,4	0,3	0,3	15%	18%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	0,6	0,6	0,3	0,3	92%	92%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	1,0	1,0	0,6	0,6	72%	72%
Autres ovins (y compris béliers)	0,2	0,2	0,1	0,1	72%	76%

Les variations constatées sont encore à l'étude. De manière générale, les valeurs développées dans le cadre des projets MONDFERENT I et II ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représente plus une moyenne des pays développés.

Comparaison des Fex

Afin d'éprouver les méthodes MONDFERENT I et II, et conformément aux recommandations des revues précédentes, une comparaison avec la méthode de niveau 2 du Giec 2019 a été réalisée pour le paramètre Fex pour les bovins, ovins et caprins.

L'équation proposée par le Giec 2019 pour estimer les Fex est la suivante (noté Nex dans le Giec) :

$$N_{ex} = N_{consommation} \times (1 - N_{rétention})$$

Avec : $N_{consommation}$ = consommation annuelle de N par tête (kgN/animal/an) ;
 $N_{rétention}$ = fraction de consommation annuelle de N qui est retenue par l'animal.

Pour les bovins, une équation spécifique est fournie par le Giec 2019 (équation 10.33) :

$$N_{retenu} = \frac{N_{consommation}}{365} \times N_{rétention}$$

$$= \left[Lait \times \frac{\left(\frac{Lait \cdot PR\%}{100} \right)}{6,38} \right] + \left[PP \times \left[\frac{268 - \left(\frac{7,03 \times EN_{cce}}{PP} \right)}{(1000/6,25)} \right] \right]$$

Avec : Lait = production de lait (kg/animal/jour), s'applique uniquement aux vaches laitières ;
 Lait PR% : pourcentage de protéines dans le lait, calculé en tant que $(1,9 + 0,4 \times \% \text{ matières grasses})$;
 PP = prise de poids (kg/jour) ;
 EN_{cce} : énergie nécessaire à la croissance (MJ/jour).

Pour les vaches laitières : la production de lait est tirée des statistiques de la SAA [410] et la teneur en matière grasse du lait des données du contrôle laitier [1052]. On fait l'hypothèse que les vaches laitières ne prennent pas de poids : le deuxième paramètre de l'équation est nul.

Pour les autres bovins, hors vaches nourrices : la prise de poids est estimée à partir de la différence des poids finaux et initiaux fournis dans le projet MONDFERENT I, divisée par 365. L'énergie pour la croissance a été estimée selon l'équation 10.6 du Giec 2019.

Pour les autres animaux, des valeurs Nrétenion par catégorie sont fournies par défaut par le Giec 2019 (Tableau 10.20).

Le paramètre Nconsommation est quant à lui estimé à partir de l'équation proposée par le Giec 2019 :

$$N_{Consommation} = \frac{EB}{18,45} \times \left(\frac{PB\%}{100/6,25} \right)$$

Avec : EB = consommation d'énergie brute par animal (kgN/animal/an) ;
 PB% = pourcentage de valeur protéique brute dans le régime alimentaire.

Pour mener la comparaison, les valeurs d'EB listées dans la section « Fermentation entérique – 3A » ont été utilisées.

Le tableau ci-dessous récapitule par sous-catégorie les variations constatées entre les deux méthodes :

Tableau 52 : Comparaison des Fex – MONDFERENT I et II / Giec 2019

	Fex nationaux		Fex estimé à partir du Giec 2019		Variation National/Giec 2019 (%)	
	1990	2023	1990	2023	1990	2023
Vaches laitières	104,2	116,8	116,2	135,1	-10%	-14%
Vaches nourrices	107,3	108,0	75,0	75,2	43%	44%
Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	69,6	69,1	69,7	69,5	0%	-1%
Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	67,0	66,9	57,2	57,2	17%	17%
Génisses de boucherie de plus de 2 ans	50,1	49,6	50,1	50,0	0%	-1%
Mâles de type laitier de plus de 2 ans	79,1	78,6	82,8	82,7	-4%	-5%
Mâles de type viande de plus de 2 ans	77,8	77,7	66,2	66,2	17%	17%
Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	53,5	53,2	74,0	73,9	-28%	-28%
Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	51,1	51,1	55,7	55,7	-8%	-8%
Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	40,7	40,5	59,0	58,9	-31%	-31%
Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	57,8	57,6	77,7	77,6	-26%	-26%
Mâles de type viande de 1 à 2 ans	56,4	56,2	64,6	64,5	-13%	-13%
Veaux de boucherie	12,6	12,6	53,0	53,1	-76%	-76%
Autres femelles de moins de 1 an	26,5	26,8	45,6	45,6	-42%	-41%
Autres mâles de moins de 1 an	27,6	27,6	39,6	39,7	-30%	-30%
Chevrettes	7,6	7,6	8,5	8,5	-10%	-10%
Chèvres (femelles ayant mis bas)	17,2	17,2	16,2	16,2	6%	6%
Autres caprins (y compris boucs)	9,1	10,7	7,6	8,5	20%	26%
Agnelles	7,9	7,9	7,3	7,3	8%	9%
Brebis mères allaitantes (y c. réforme)	12,8	12,8	8,2	8,2	55%	55%
Brebis mères laitières (y c. réforme)	17,1	17,1	13,8	13,8	24%	24%
Autres ovins (y compris béliers)	3,9	5,3	3,6	3,8	10%	39%

Les variations constatées sont encore à l'étude. De manière générale, les valeurs nationales ont été privilégiées car jugées plus représentatives de la situation française que celles recalculées à partir de la méthode du Giec 2019 qui représente plus une moyenne des pays développés.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
21/01/2025	AnD	27/02/2025	EM

Rizières

Les conditions anaérobies liées à l'inondation partielle ou continue des rizières donnent lieu à des émissions de méthane importantes qui dépendent principalement de ces conditions d'inondation, et des apports organiques.

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3C
CEE-NU / NFR	Hors champ
SNAPc (extension Citepa)	10.01.01 à 10.01.06, 10.02.01 à 10.02.06, 10.06.01
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces de rizières	Facteur d'émission du GIEC

Niveau de méthode

Rang 1

Caractéristiques de la catégorie (uniquement pour le NID) :

Les conditions anaérobies liées à l'inondation partielle ou continue des rizières donnent lieu à des émissions de méthane potentiellement importantes qui dépendent principalement de ces conditions d'inondation, et des apports organiques. Les rizières demeurent très marginales en France, elles se cantonnent à la Camargue dont les surfaces en culture s'inscrivent en repli tendanciel depuis 1994 (accords de Marrakech) pour s'établir à 11 861 ha en 2023 ; à environ 700 hectares en Guyane française et à quelques hectares à Mayotte.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ des rizières liées à l'usage d'amendements basiques et d'urée sont rapportées dans les sections « Épandage d'amendements basiques et d'engrais contenant du carbone – 3G » et « Epandage de l'urée – 3H ».

Émissions de CH₄

Les émissions de CH₄ provenant des rizières sont estimées en utilisant le facteur d'émission proposé par le Giec [1229] au sein du chapitre 5, calculé à partir de l'équation 5.2 :

$$EF_i = EFC \times SFW \times SFp \times SFO$$

Avec : *EF_i* = Facteur d'émission journalier par ha ; *EFC* = Facteur d'émission correspondant au niveau de référence, i.e. à une situation de culture inondée en continu, sans amendements organiques ; *SFW* = Facteur de correction prenant en compte le système de gestion de l'eau pendant la période de culture ; *SFp* = Facteur de correction prenant en compte le système de gestion de l'eau avant la culture ; *SFO* = Facteur de correction prenant en compte le type et la quantité d'amendements organiques apportés.

Situation en métropole

Le facteur d'émission *EFC*, est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la métropole, il vaut 1,56 kg CH₄/ha/jour (Europe). Les différents facteurs de correction utilisés pour adapter le facteur d'émission de référence à la situation en métropole sont les suivants :

- *SFW* : prend la valeur par défaut proposée par le Giec pour le régime « irrigué », soit 0,6 ;
- *SFp* : prend la valeur par défaut proposée par le Giec pour le régime hydrique « non inondé pendant une période supérieure à 180 jours », soit 0,89. En effet, d'après les informations collectées, il y a environ 7 mois sans eau avant la mise en place d'une nouvelle culture de riz en Camargue ;
- *SFO* : il correspond à la quantité d'amendements organiques apportés, et est calculé selon l'équation du Giec suivante :

$$SFO = (1 + \sum_i Tx AO_i \times FCAO_i)^{0,59}$$

avec : *Tx AO_i* = Taux d'application de l'amendement organique *i*, en poids sec pour la paille et en poids frais pour les autres, tonnes/ha ; *FCAO_i* = facteur de conversion de l'amendement organique *i* (par rapport à son impact relatif sur la paille appliquée peu de temps avant la culture), comme au tableau 5.14 du Giec 2019.

On considère qu'en France, les seuls amendements organiques apportés sont les pailles de riz. Le taux d'application associé est estimé à partir des quantités de matières sèches des résidus de la riziculture non brûlés (cf. calcul en section « Sols agricoles – 3D »), quantités estimées annuellement et rapportées à la superficie des rizières. Ce taux est nul en début de période jusqu'en 2000, puis augmente jusqu'à osciller depuis 2005 entre 0,2 et 0,26 tonnes de matière sèche par hectare. Le facteur de conversion appliqué est celui correspondant à la modalité « paille incorporée longtemps avant la culture » du Giec 2019, égal à 0,19. En effet, les pailles de riz en Camargue sont généralement enfouies après récolte ou durant l'hiver [964], donc longtemps avant la culture suivante.

La période de culture est supposée s'étaler du 20 avril/mi-mai (semis) jusqu'à mi-septembre/mi-octobre (récolte) [663].

Le facteur d'émission obtenu varie entre 125,4 kg CH₄/ha/an en début de période et 129,0 kg CH₄/ha/an en 2023.

Situation pour l'Outre-Mer

Le facteur d'émission *EFC*, est issu des lignes directrices [1229], chapitre 5. Pour la Guyane, il vaut 1,27 kg CH₄/ha/jour (Amérique du Sud). Pour Mayotte, il vaut 1,19 kg CH₄/ha/jour (Afrique).

D'après les informations collectées, la riziculture en Guyane est irriguée depuis le début des années 1990, avec une forte mécanisation du secteur et plusieurs assecs (assèchement de la rizière en cours de culture). Le système de base consistait à produire 2 cycles par an, mais en 2007 les riziculteurs passent à un seul cycle. Ainsi, le facteur d'émission obtenu évolue dans le temps : de 1990 à 2006, il est de 80 kg CH₄/ha/an ; puis à partir de 2007, il est de 71 kg CH₄/ha/an.

Pour Mayotte, la période de culture est celle proposée par défaut par le Giec 2019. Le facteur d'émission obtenu est constant (98 kg CH₄/ha) sur toute la période.

Tableau 53. Récapitulatif des paramètres utilisés pour le calcul des facteurs d'émission du riz*

	Provence-Alpes Côte d'azur	Occitanie	Mayotte	Guyane	
				1990-2006	2007-2023
EFC	1,56	1,56	1,19	1,27	
SFW	0,6	0,6	0,6	0,55	
SFP	0,89	0,89	1,22	1,00	0,89
SFO	1 – 1,03	1 – 1,03	1,00	1,00	
AO	0 – 0,26	0 – 0,26	0	0	
FCAO	0,19	0,19	1,00	1,00	
Période de culture (jours)	151	151	113	115	
FE (kgCH ₄ /ha/an)	125 - 129	125 - 129	98	80	71

* pour les paramètres variant sur la période, les valeurs minimum et maximum sont fournies.

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O des rizières sont rapportées dans la section « Sols agricoles – 3D ».

Émissions de Gaz fluorés

Il n'y a pas d'émission attendue pour ce secteur.

Tableau 54. Surfaces de riziculture pour la métropole, la Guyane et Mayotte

	Métropole (ha)	Guyane (ha)	Mayotte (ha)	Total (ha)
1990	20 568	1 850	40	22 458
1991	21 595	3 167	40	24 802
1992	24 355	4 483	40	28 878
1993	26 405	5 800	40	32 245
1994	28 120	6 245	40	34 405
1995	26 180	6 690	40	32 910
1996	22 930	7 135	40	30 105
1997	21 570	7 581	40	29 191
1998	19 530	8 026	40	27 596
1999	18 100	8 471	40	26 611
2000	19 793	8 916	40	28 749
2001	19 052	8 937	40	28 029
2002	18 325	8 042	40	26 407
2003	18 807	6 688	40	25 535
2004	19 862	9 441	40	29 343
2005	17 544	8 530	40	26 114
2006	16 968	5 559	40	22 567
2007	17 083	4 357	40	21 480
2008	16 420	3 572	37	20 029
2009	20 532	3 299	34	23 865
2010	20 692	2 854	31	23 577
2011	21 727	1 450	28	23 205
2012	20 730	1 450	25	22 205
2013	19 008	1 500	22	20 530
2014	14 981	1 790	19	16 790
2015	14 567	1 600	16	16 183
2016	15 000	1 700	13	16 713

	Métropole (ha)	Guyane (ha)	Mayotte (ha)	Total (ha)
2017	15 310	1 824	13	17 147
2018	12 470	800	13	13 283
2019	14 337	750	13	15 100
2020	14 045	750	13	14 808
2021	12 022	750	6	12 778
2022	11 506	724	6	12 236
2023	11 861	724	7	12 592

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
21/01/2025	AnD	27/02/2025	EM

Sols agricoles

Cette section concerne les émissions dues aux pratiques agricoles (épandage des fertilisants minéraux et organiques, travail du sol). Cette section n'inclut pas les activités de combustion de l'agriculture (installations fixes et engins spéciaux de l'agriculture) incluses dans la partie énergie.

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3D
CEE-NU / NFR	3D
SNAPc (extension Citepa)	10.01.01 à 10.01.06, 10.02.01 à 10.02.06, 10.06.01, 04.06.21
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Surfaces et productions agricoles, livraisons d'engrais, épandages de boues d'épuration, épandages de composts, imports de produits organiques, populations animales	Valeurs essentiellement par défaut (Giec et Emep). Facteurs d'émissions nationaux pour les COV biotiques

Niveau de méthode

La méthode appliquée correspond au rang Giec 1 pour les émissions directes et indirectes de N_2O . Plusieurs éléments peuvent néanmoins être assimilés à du rang 2 du fait d'une description fine des cheptels, des occurrences de gestion des déjections et de la méthode pour les quantités de résidus laissés au champ. La prise en compte des facteurs d'émission du raffinement du Giec 2019 [1229] a notamment impliqué un travail important de désagrégation de données qui constitue une amélioration significative de la méthode (par rapport à l'application antérieure du Giec 2006).

La méthode correspond à une méthodologie de rang 2 Emep pour les émissions de NH_3 et de rang 1 Emep pour les particules.

La méthode correspond à une méthodologie de rang 3 Emep pour les émissions de COVNM biotiques liées à la végétation.

Caractéristiques de la catégorie (communes au NID et à l'IIR) :

Les émissions des sols agricoles sont liées aux quantités d'azote épandues. L'azote épandu peut être dispersé suivant différents modes (excrétion au pâturage, pulvérisateurs, buses-palettes, pendillards, injecteurs...) et sous différentes formes (engrais minéraux, effluents d'élevage, digestats, boues, composts, résidus de récolte). Une partie de l'azote est

volatilisée sous des formes réactives (NH_3 , Nox, N_2O principalement) ou non (N_2). Le N_2O est produit dans les sols au cours des processus de nitrification et de dénitrification.

La méthodologie développée dans les lignes directrices du Giec 2019 [1229] permet d'estimer les émissions d'origine anthropiques, c'est-à-dire issues de l'augmentation des quantités nettes d'azote apportées au niveau des sols gérés suite aux activités humaines.

Les sols cultivés reçoivent des quantités d'azote provenant de différentes origines. Les intrants considérés comprennent des fertilisants minéraux, des résidus de culture, des déjections animales, des boues de stations de traitement des eaux usées, du compost et du digestat issu de la méthanisation. Chaque source est décrite ci-dessous.

Livraisons d'azote minéral

L'azote contenu dans les fertilisants minéraux en Métropole est déterminé à partir des quantités livrées fournies par l'UNIFA [90], union des industries de la fertilisation, chargée officiellement de cette tâche par l'administration française. Afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, ces données de livraisons annuelles sont lissées sur 2 campagnes. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car elles permettent de gommer les potentiels effets de stock (livraison \neq apports) et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés).

$$\text{Apport N minéral 2021} = \frac{\text{livraisons 2019/2020} + \text{livraisons 2020/2021}}{2}$$

Depuis 2014, un nouveau type d'engrais est considéré pour le calcul des émissions de NH_3 : l'urée avec inhibiteur d'uréase. Les quantités étant, à l'heure actuelle, faibles en comparaison de l'azote total livré, elles sont comptabilisées avec l'urée classique dans le graphique ci-dessous, mais la distinction est bien mise en œuvre dans les calculs. La quantité d'urée avec inhibiteurs d'uréase est reconduite à l'identique depuis 2018 faute de données disponibles (secret statistique).

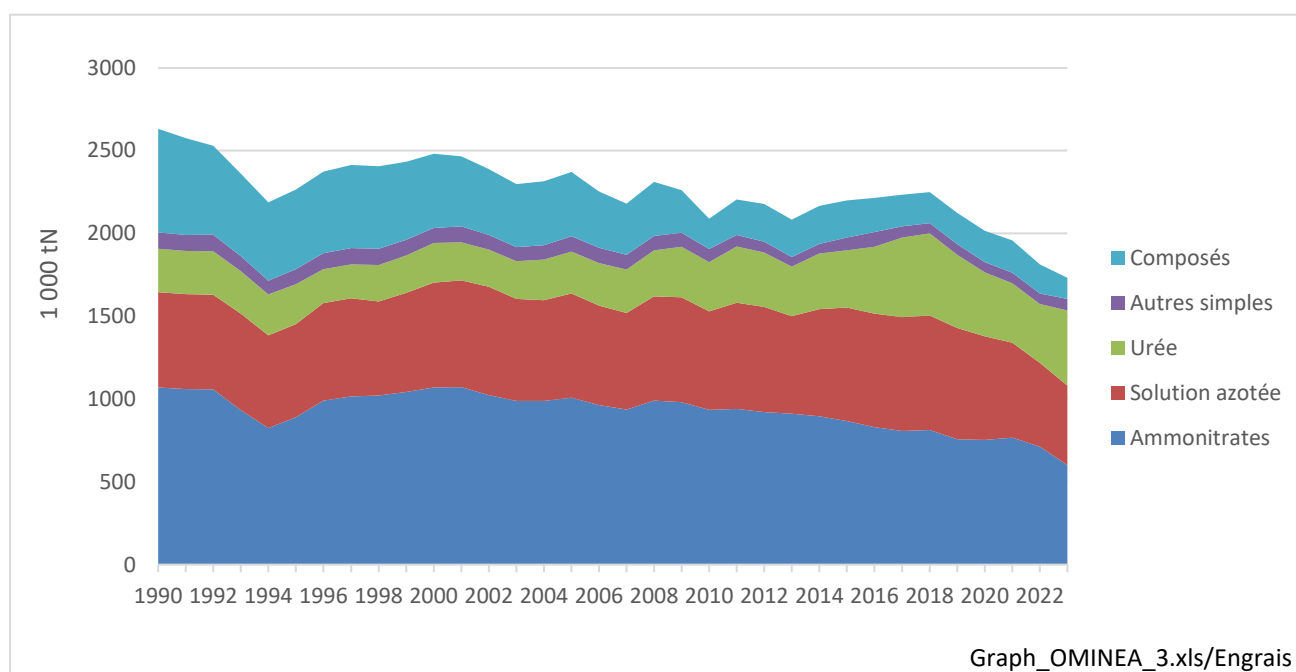


Figure 30 : Moyenne lissée sur deux campagnes des quantités d'azote livrées issues des engrais minéraux épanchés en Métropole (1 000 tN)

Pour les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne, des taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés et appliqués aux surfaces correspondantes comme suit :

$$\text{Intrants} = \sum_i \text{Surface}_i \times \text{Fertilisation}_i$$

Avec : *Intrants* = tonnes d'azote totales apportées pour un territoire ;

Surface_i = Surface de la culture *i* en hectares ;

Fertilisation_i = taux moyen de fertilisation pour la culture *i* en tonnes d'azote par hectare.

Les données utilisées sont tirées des sources suivantes :

- Les surfaces par type de culture sont disponibles dans la base Agreste [410] à partir de l'année 2000, et, faute d'autres données disponibles pour l'Outre-Mer, sont considérées constantes entre 1990 et 2000.
- Les taux de fertilisation moyens par culture sont recalculés à partir de diverses sources : l'enquête pratiques culturales de 2011 [485] fournissant des données pour la Guadeloupe et la Réunion, les données des Référentiels Technico-Economique agricole de Guyane [806] ou encore les fiches techniques fournies par la Chambre d'Agriculture de Martinique [807]. Les données pour la canne à sucre ont été mises à jour sur la base des enquêtes pratiques culturales en 2017 (inclus Martinique). Les données concernant une culture ont été étudiées pour un territoire seulement mais sont extrapolées aux autres territoires. Les valeurs retenues sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 55. Fertilisation azotée par culture en Outre-Mer

	Fertilisation azotée kgN/ha
Maïs (grain et semence)	150
Riz	179
Canne à sucre	157
Pommes de terre et tubercules	88
Banane plantain	300
Autres prunes	153
Mangue	83
Corossol, Pomme cannelle	169
Goyave, Goyavier	263
Maracuja, Fruits de la passion, Grenadille	293
Ananas	360
Avocats	103
Bananes	425
Citrons, limes, combavas	13
Clémentines, mandarines	12
Oranges, tangor	21
Pamplemousses	18

Ces apports moyens azotés par culture sont également utilisés, combinés aux surfaces par culture estimées à partir de diverses sources [1041] [1042] [1043] [1262], pour obtenir la fertilisation minérale dans les autres territoires d'Outre-mer (hors Union Européenne). Une exception est à noter : la Nouvelle-Calédonie, territoire pour lequel les apports d'azote minéral sont estimés à partir des données disponibles dans le memento agricole [1293].

Sur le graphique ci-dessous, les territoires d'Outre-mer inclus dans l'Union Européenne sont notés « DOM » ; les autres territoires d'Outre-Mer (hors Union Européenne) sont notés « COM ».

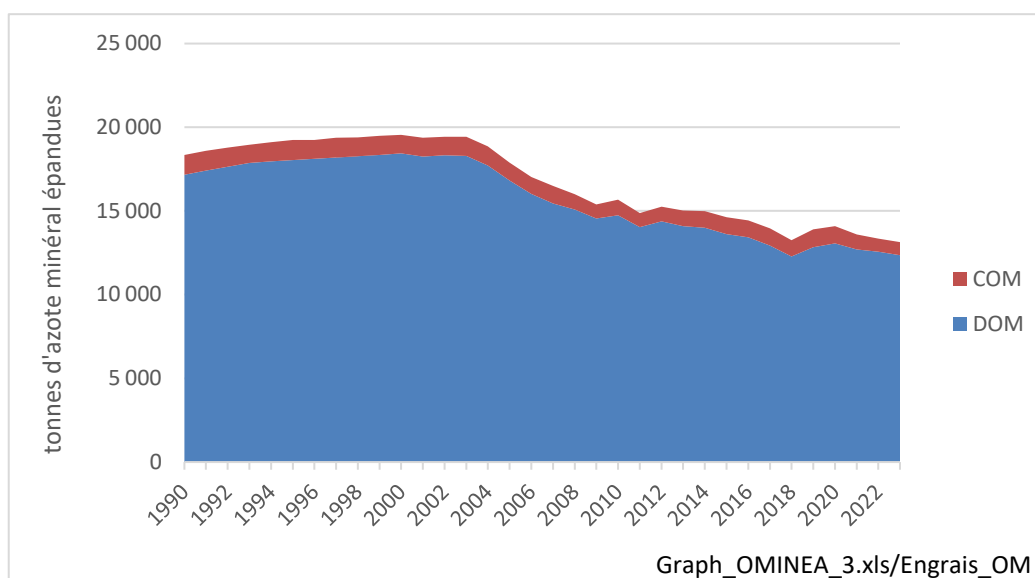


Figure 31 : Quantités d'azote issues des engrais minéraux épanchées en Outre-mer (tN)

Déjections animales : épandage et pâture

L'azote contenu dans les déjections animales produites au bâtiment et épanchées par la suite est calculé à partir de nombreuses sources. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B », et correspond à la somme des paramètres « N_épan_liquide », « N_épan_liquide_métha » et « N_épan_solide ».

L'azote contenu dans les déjections animales produites à la pâture est calculé à partir de nombreuses sources. Le calcul détaillé de ces quantités d'azote est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B », et correspond au paramètre « Nex_pâture ».

Imports d'azote des pays frontaliers

Les quantités d'azote contenues dans les déjections importées provenant des pays frontaliers à la métropole (Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie et autres pays frontaliers) sont recalculées différemment selon les périodes :

- Pour l'année 1990 : une hypothèse de stabilité a été retenue entre 1990 et 1991.
- De 1991 à 2001 : un rapport du MEDDE de 2002 [591] fournit des données d'importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas, de la Belgique-Luxembourg et « Autres », et d'exportations (totales vers tous pays) de déjections pour la période 1991-2001. Les données sont fournies sous la forme de graphique, en Mg/an. Le rapport du MEDDE [591] et le Voortgangsrapport mestbank [592] de 2002 indiquent que la majorité des déjections sont d'origine avicole. La teneur moyenne en azote des déjections importées a été estimée sur la base du Voortgangsrapport mestbank [592] de 2002 et utilisée pour les années précédentes. Cette teneur est de 29,34 kg N/tonne de déjections.
- Pour 2002 et 2003 : des données d'importations d'azote provenant de Belgique sont disponibles annuellement dans les rapports Mestrapport publiés par le VLM (Vlaamse Landmaatschappij / « agence foncière flamande ») [592]. A ces données qui varient annuellement est additionné le solde calculé pour l'année 2001 des importations en provenance d'Italie, des Pays-Bas et « Autres » [591], moins les exportations françaises. Les parts de déjections porcines et de volailles importées sont déterminées à partir des rapports VCM (Vlaamse coördinatiecentrum Mestverwerking – « centre de coordination flamand du traitement du fumier ») [1195].
- A partir de 2004 : les données des douanes [1294] sont utilisées. Ces données présentent les imports et exports pour la catégorie "Engrais d'origine animale ou végétale, même mélangés entre eux ou traités chimiquement ; engrais résultant du mélange ou du traitement chimique de produits d'origine animale ou végétale (à l'exclusion des produits présentés soit en tablettes ou formes similaires). Les différents Mestrapport publiés pour les années

post 2003 proposent également des quantités brutes et des quantités d'azote exportées. A partir de ces valeurs, on estime une teneur moyenne en azote des effluents exportés vers la France autour de 2,4%. Afin de rester conservateur, la valeur de 3% est utilisée pour convertir les données des douanes (quantités brutes) en azote.

Comme indiqué plus haut, la majeure partie des déjections importées est d'origine avicole. Le reste est attribué à des déjections porcines. Cette répartition entre déjections porcines et avicoles est définie à partir des différents Mestrapport entre 2002 et 2013. Faute d'autres données, la répartition 2002 est utilisée pour les années 1990-2001. De la même manière, la répartition 2013 est utilisée pour les années suivantes.

Résidus de culture

Les quantités d'azote retournées au sol par les résidus de cultures sont calculées selon la méthodologie proposée par le Giec 2019 [1229], à partir de différentes données :

- les statistiques de production et de superficies publiées dans la base Agreste [410] ;
- les résultats des enquêtes pratiques culturales végétales issues du service du service statistique du Ministère de l'Agriculture [485] ;
- divers paramètres de calcul comme les indices de récolte ou encore les teneurs en matière sèches des grains. Ces paramètres sont soit fournis par des instituts techniques français, soit tirés du Giec 2019.

La méthode de calcul des quantités d'azote issues des résidus est détaillée en annexe « A.6. Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture ».

Cette méthode est appliquée uniquement pour la métropole sur la base de la méthodologie Giec 2019 [1229]. Pour les territoires d'Outre-mer, faute de données disponibles, une estimation de l'azote des résidus est faite à partir du ratio « azote des résidus/surfaces cultivées » calculé pour la métropole, appliqué aux surfaces des territoires d'Outre-mer.

Épandage des boues

L'azote apporté par l'épandage des boues de traitement des eaux usées est estimé à partir des quantités de boues des stations d'épuration (en MS) épandues en France, tirées de la base de données nationale des eaux résiduaires urbaines [511], et de la quantité d'azote moyenne contenue dans les boues en France, estimée à environ 4,3% de N par tonne de matière sèche [1061] proche de la valeur par défaut (4,5 %) rapportée dans Emep. La méthodologie employée est décrite dans la section sur les déchets « Traitement des eaux - 5D ». Il est supposé qu'il n'y a pas de boues épandues en Outre-mer.

Épandage des composts

L'azote contenu dans les déchets compostés est calculé à partir des quantités de déchets traités par compostage industriel et domestique (déchets verts, ordures ménagères, biodéchets, boues etc.), disponibles dans les enquêtes bisannuelles de l'Ademe [32], et de la composition des composts en azote total, issue d'une publication de l'Ademe [537]. La méthodologie employée est décrite dans la section sur les déchets « Traitement biologique - 5B ».

Épandage du digestat

L'azote apporté par l'épandage de digestats issus de la méthanisation est estimé à partir des quantités de digestats épandues (en Matière Brute) en France métropolitaine. Les méthaniseurs actuellement en fonctionnement sont principalement basés sur la codigestion d'effluents d'élevage avec d'autres substrats organiques.

Le calcul des émissions liées à l'épandage de la fraction animale du digestat (fumiers, lisiers) est séparé de celui lié au calcul des émissions liées à l'épandage des digestats d'origine non-animale (ensilages de cultures dédiées ou de cultures intermédiaires à vocation énergétique, résidus de culture, déchets du stockage et de la transformation de céréales, déchets de collectivités tels que des déchets verts, déchets de restauration ou des boues de station d'épuration, déchets des industries agroalimentaires...). Le calcul des quantités d'azote issues de la fraction hors-effluents d'élevage des

digestats est explicité dans la partie « Agriculture | Introduction ». Il s'appuie sur une estimation de la ration totale des méthaniseurs par catégorie d'intrant et de références sur la teneur en azote de ces catégories d'intrant.

Minéralisation en lien avec les pertes de carbone

Les pertes de carbone au niveau des sols minéraux entraînent une minéralisation de l'azote, prise en compte en tant que source additionnelle d'azote émettrice de N₂O en agriculture pour les terres cultivées restant terres cultivées. Cette source d'azote supplémentaire est estimée selon l'équation proposée dans le Giec 2019 [1229] :

$\text{Azote_minéralisé (tonnes N)} = \text{Perte carbone (tonnes C)} \times 1 / R$
--

Avec : *Perte carbone : les pertes de carbone des sols minéraux au niveau des terres cultivées restant terres cultivées ;*

R : rapport C/N de la matière organique du sol

Le paramètre R prend la valeur par défaut proposée par le Giec 2019 pour les terres cultivées restant terres cultivées : 10.

Le calcul des pertes de carbone des sols minéraux au niveau des terres cultivées restant terres cultivées est décrit dans le chapitre UTCATF.

Caractéristiques de la catégorie (IIR) :

Émissions issues des pesticides

L'hexachlorobenzène (HCB) peut être présent à l'état de trace dans certains pesticides et donc être émis lors de l'application ces produits. Les données d'activité sont les données de vente de produits phytopharmaceutiques issues de la BNV-D, banque nationale des ventes réalisées par les distributeurs de produits phytopharmaceutiques [1036], disponibles à partir de 2008. Pour chaque produit phytopharmaceutique, est donnée la quantité de substance active vendue exprimée en kilogrammes, par département du point de vente. En France, les produits concernés par des traces de HCB dans leur composition sont le piclorame, le chlorothalonil, le tefluthrine & le chlorthal. Pour 2023, la donnée d'activité de 2022 est reportée.

Pour la période avant 2008, faute de donnée disponible, une estimation est faite sur la base des surfaces traitées au moins une fois avec du chlorothalonil. Ces données de surfaces sont disponibles dans les enquêtes pratiques culturales 2011 [485] pour le blé tendre, blé dur, orge, triticale, pois protéagineux, pomme de terre et vigne. Pour chacune de ces catégories, on retient donc une part des surfaces traitées au moins une fois avec du chlorothalonil. Cette part est maintenue pour la période 1990-2012. On estime ensuite un apport moyen de chlorothalonil par hectare de surface traitée en ramenant la donnée calculée pour 2011 aux surfaces estimées. On obtient une dose moyenne de 0,82 kg de chlorothalonil/ha de surface traitée. Cette dose moyenne est ensuite appliquée aux surfaces traitées 1990-2008 pour estimer la quantité de chlorothalonil utilisée sur la période.

A noter : l'approbation européenne du chlorothalonil, qui concentre la majeure partie des émissions estimées, n'a pas été renouvelée (règlement UE 2019/677 du 29/04/2019). En conséquence, les États Membres retirent les autorisations de mise en marché au plus tard le 20 novembre 2019 avec un délai de grâce le plus court possible et au plus tard le 20 mai 2020. Cela explique le fort recul depuis 2019 des émissions de HCB en provenance de cette substance.

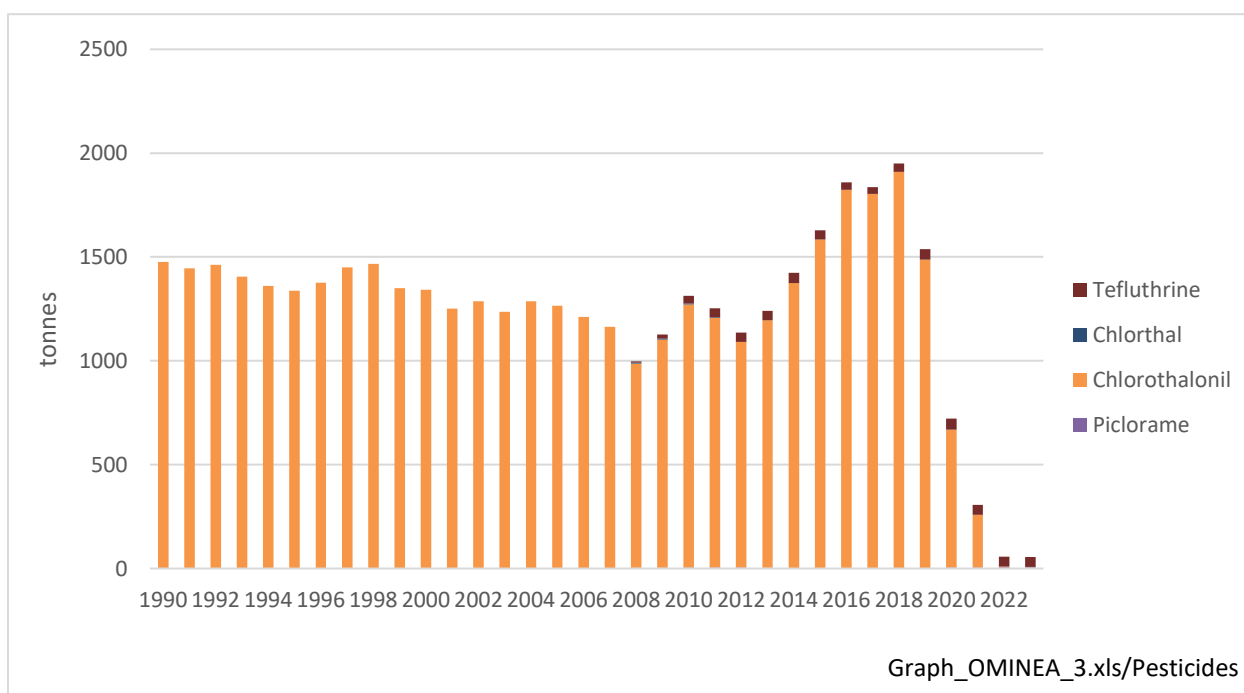


Figure 32 : Estimations des quantités de substances actives utilisées en France

Émissions biotiques de COVNM

Les formations végétales présentes dans les forêts, prairies et les cultures synthétisent naturellement des composés organiques volatils, au cours de leur croissance, en réponse à des blessures, aux variations de températures, etc. On parle de COV biotique, ou biogénique.

Ces émissions biotiques de COVNM dépendent de multiples paramètres dont le type d'essence végétale, la masse foliaire, la superficie occupée par l'essence végétale, la température et la luminosité. Les fonctions d'émission faisant intervenir ces paramètres ne sont pas linéaires et certains de ces paramètres sont fortement variables au cours de l'année (masse foliaire, température, ensoleillement), de la journée (température, ensoleillement), de la localisation (espèce végétale, température, ensoleillement), etc. La méthode de calcul des émissions prend en compte ces différents paramètres.

Les émissions biotiques de COVNM répertoriées actuellement dans l'inventaire différencient les sous-ensembles suivants : Isoprène (ISO), Monoterpènes (MT) et Autres COV (ACOV).

L'intégration de tous ces éléments est réalisée dans le modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92] développé par le Citepa. Ce modèle fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293].

Depuis l'édition 2021, les émissions de CONVM des prairies et cultures sont rapportées au sein du total national. Du fait de la structure de certaines données sources, les émissions de COVNM des forêts sont actuellement rapportées en mémo item NFR pour la CEE-NU.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Émissions de CO₂

Aucune émission de CO₂ n'est prise en compte pour le secteur 3.D conformément aux méthodologies des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Toutefois, l'hydrolyse de l'urée dans les sols et la décarbonatation des amendements basiques conduisent à des émissions de CO₂ respectivement rapportées dans les catégories 3G et 3H. En ce qui concerne le carbone contenu dans la matière organique des sols, l'intégralité de ces flux sont couverts dans le secteur sur l'utilisation des terres (UTCATF, section 4).

Émissions de N₂O

L'essentiel de la méthodologie et des facteurs d'émissions sont issus des lignes directrices du Giec 2019 [1229]. Sont distinguées :

- les émissions directes de N₂O suite à l'apport d'azote aux cultures ;
- les émissions indirectes de N₂O liées à la volatilisation de l'azote sous diverses formes réactives (NH₃ et NOx principalement) et la déposition de ces dernières et de leurs produits sur les sols ou les eaux de surface ;
- les émissions indirectes de N₂O liées au lessivage et la lixiviation de l'azote, deux phénomènes à l'origine du transport de diverses formes azotées (organiques ou minérales) sujettes à des processus de nitrification/dénitrification entraînant des émissions de N₂O.

Les émissions directes de N₂O

Les émissions directes de N₂O exprimées en kg de N-N₂O sont calculées selon l'équation 11.1 du Giec 2019 :

$$N-N_2O_{\text{directes}} = N-N_2O_{\text{entrées}} + N-N_2O_{\text{SO}} + N-N_2O_{\text{PPP}}$$

Avec : $N-N_2O_{\text{entrées}}$ = émissions de N-N₂O imputables aux entrées de N sur les sols (kg N-N₂O/an) ;
 $N-N_2O_{\text{SO}}$ = émissions de N-N₂O imputables aux sols organiques gérés (kg N-N₂O/an) ;
 $N-N_2O_{\text{PPP}}$ = émissions de N-N₂O imputables aux entrées d'urine et de fèces (kg N-N₂O/an)

Le paramètre $N-N_2O_{\text{entrées}}$ concerne l'ensemble des apports d'azote sur les sols cultivés. Il faut noter que l'équation du Giec distingue spécifiquement les apports aux rizières. Or, cette distinction n'est pas connue à l'heure actuelle, tous les apports sont comptabilisés sans distinction de culture de destination. Les émissions directes des sols cultivées sont tirées de l'équation 11.2 et 11.3 du Giec :

$$N - N_{2O_{\text{entrées}}} = \sum_i \{ (F_{SN} + F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA} + F_{CR} + F_{MOS}) \cdot FE_{1i} \}$$

Avec : F_{SN} = quantité annuelle de N des engrais synthétiques appliquée aux sols (kgN/an) ;
 F_{AM} = quantité annuelle d'effluents d'élevage appliquées aux sols (kgN/an) ;
 F_{COMP} = quantité annuelle de compost appliqué aux sols (kgN/an) ;
 F_{SEW} = quantité annuelle de boues appliquées aux sols (kgN/an) ;
 F_{OOA} = quantité annuelle d'autres apports organiques appliqués sols (kgN/an) ;
 F_{CR} = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains) (kgN/an) ;
 F_{MOS} = quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux associée aux pertes de C de la matière organique des sols (kgN/an) ;
 FE_{1i} = facteur d'émission des émissions de N₂O dues aux entrées de N (kgN-N₂O/kgN) selon le climat i .

Dans les lignes directrices du Giec 2019, FE_1 prend une valeur différente selon les zones climatiques et la source d'azote. En France métropolitaine 52 % du territoire se situe en climat humide et 48 % en climat sec selon la méthodologie du Giec [1229] (cf. section « Agriculture | Introduction »).

Emissions de N_2O des engrais minéraux : $N - N_2O_{SN}$

Le calcul d'émission pour les engrais minéraux ($N - N_2O_{SN}$) est réalisé sur la base de la carte des climats du Giec 2019 et en fonction de l'estimation des apports d'engrais minéraux au département $F_{SNd} = L \times \frac{\widehat{F_{SNd}}}{\sum_d \widehat{F_{SNd}}}$ établie dans la section « Agriculture | Introduction – Clé de répartition infranationale des apports d'azote minéraux ».

$$N - N_2O_{SN} = \sum_d F_{SNd} \cdot \{s_d \cdot FE_{1humide} + (1 - s_d) \cdot FE_{1sec}\}$$

Avec : A_d : apports d'engrais minéraux dans le département d ;
 s_d : % des surfaces du département d en zone humide ;
 $FE_{1humide/sec}$: facteur d'émission en zone humide ou sèche ;
 L : livraisons nationales d'engrais fournies par l'UNIFA

Le facteur d'émission moyen national en $N - N_2O$ est ainsi proche du précédent facteur d'émission proposé par le Giec 2006 (1%) et s'établit à 1,031 % en 2023. Celui-ci est variable dans le temps bien qu'il reste proche du niveau 2023 (variation sur la période min-max : 1,021 % - 1,036 %).

Pour l'Outre-Mer, le facteur d'émission choisi est 1,6% les régions étant situées à 100% en climat humide.

Emissions de N_2O des autres apports organiques

Le principe de calcul des émissions utilisé est le même que pour les engrais minéraux mais s'effectue à des niveaux géographiques différents.

Pour les déjections produites en France, le calcul est effectué au niveau des anciennes régions r :

$$N - N_2O_{AM} = \sum_r F_{AMr} \cdot \{s_r \cdot FE_{1humide} + (1 - s_r) \cdot FE_{1sec}\}$$

Avec : s_r : % des surfaces de la région r en zone humide

Le facteur obtenu varie peu sur la période (0,5646 % - 0,5658 %).

Pour le reste des apports (déjections importées, FRR, FSEW, FCOMP, FOOA), la pondération entre facteur d'émission en climat sec / facteur d'émission en climat humide est faite au prorata des surfaces nationales.

Les facteurs d'émission moyens pour l'année 2023 sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 56. Facteur d'émission des émissions de N_2O (kgN- N_2O /kgN) pour 2023

source azote	FE1	
	Métropole	Outre-Mer
N engrais minéraux	1,031%	1,6%
N résidus de culture	0,552%	0,6%
N compost	0,552%	0,6%
N boues	0,552%	0,6%
N déjections épandues – produites en France	0,566%	0,6%
N déjections épandues – importées	0,552%	/
N minéralisé en lien avec la perte de carbone des terres cultivées	0,552%	/

Le paramètre N-N₂O_{so} concerne les émissions directes liées aux sols organiques gérés (ou histosols cultivés). En France, quatre types de sols organiques sont considérés :

- les sols de cultures organiques en climat tempéré (Métropole)
- les prairies organiques en climat tempéré (Métropole),
- les sols de cultures organiques en climat tropical (Guyane),
- les prairies en climat tropical (Guyane).

L'équation du Giec est adaptée de la façon suivante :

$$N - N_2O_{so} = \sum_{i,j} F_{SO_{i,j}} \times FE_{2CP_{i,j}}$$

Avec : F_{SO} = la superficie annuelle des sols organiques de type i gérés dans la zone climatique j (ha) ;
 FE_{2CP} = le facteur d'émission pour les sols organiques de type i gérés dans la zone climatique j (kg N N₂O/ha) ;
 i le type de sol (culture ou prairie)
 j le type de climat (tempéré en Métropole, tropical en Guyane)

Les surfaces de sols organiques sont obtenues de manière spatialement explicite en utilisant plusieurs jeux de données cartographiques pertinents, que ce soit pour la métropole (Base de données des inventaires des tourbières en France métropolitaine [1202]) ou pour la Guyane [720]. Ces cartes sont croisées avec le modèle de suivi des terres spatialement explicite Citepa pour la métropole ou avec des cartes d'occupation du sol (Corine Land Cover) pour la Guyane afin de caractériser les surfaces par usage des terres. Les surfaces d'histosols cultivés retenues pour le calcul sont les surfaces de sols organiques précédemment décrites, classées en cultures et prairies permanentes.

Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés dans le supplément 2013 du Giec [1062] sur les zones humides (Chapitre 2 - Table 2.5 p 33) reportés pour mémoire dans le tableau ci-dessous :

Tableau 57. Facteurs d'émission des histosols cultivés - kg N-N₂O/ha/an - source : IPCC (2013) [1193]

	Cultures	Prairies	Moyen*
France Métropolitaine	13,0	1,6	4,6
Guyane	5,0	5,0	5,0

*Le facteur d'émission moyen est obtenu en pondérant les facteurs d'émission par catégorie selon les surfaces en cultures et prairies.

Le paramètre N-N₂O_{PPP} concerne les émissions directes liées aux entrées d'urine et fèces des pâturages. Ces émissions sont calculées toujours en utilisant l'équation 11.1 du Giec 2019 :

$$N - N_2O_{PPP} = F_{PPP,BVS} \times FE_{3PPP,BVS} + F_{PPP,MA} \times FE_{3PPP,MA}$$

Avec : $F_{PPP,BVS}$ = quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les bovins, volailles, suidés, au pâturage (kg N/an) ;
 $FE_{3PPP,BVS}$ = facteur d'émission pour les bovins, volailles et suidés au pâturage (kg N-N₂O/kg N) ;
 $F_{PPP,MA}$ = quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les moutons et autres animaux au pâturage (kg N/an) ;
 $FE_{3PPP,MA}$ = facteur d'émission pour les moutons et autres animaux au pâturage (kg N-N₂O/kg N).

Les paramètres $F_{PPP,BVS}$ et $F_{PPP,MA}$ ont été présentés plus haut, en section « Déjections animales : épandage et pâture », ils sont disponibles au niveau régional. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux proposés par défaut par le Giec 2019. Pour les bovins, porcins et volailles, une distinction du facteur d'émission est faite par climat (humide/sec). Pour les ovins et autres animaux, un unique facteur d'émission est proposé. Les émissions sont ainsi calculées :

$$N - N_2O_{PPP} = \sum_r N_{PPP,BVS_r} \cdot \{s_r \cdot FE_{3PPP,BVS_{humi}} + (1 - s_r) \cdot FE_{3PPP,BVS_{sec}}\} + N_{PPP,MA_r} \cdot FE_{3PPP,MA}$$

Avec : s_r : % des surfaces de la région r en zone humide

Le facteur d'émission FE3 des déjections animales à la pâture obtenu, toutes espèces confondues, varie sur la période (min-max : 0,438 % - 0,445 %). Pour 2023, il vaut 0,445 %.

Les émissions de N-N₂O directes sont converties ensuite en N₂O de la façon suivante :

$$N_2O_{directes} = N-N_2O_{directes} \times 44/28$$

Les émissions indirectes de N₂O liées à la volatilisation

Les émissions indirectes liées à la volatilisation sont calculées selon l'équation 11.9 des lignes directrices du Giec 2019 [1229] :

$$N-N_2O_{DAT} = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{GAZE}) + ((F_{ON} + F_{PPP}) \times \text{Frac}_{GAZM})] \times FE_4$$

Avec : Frac_{GAZE} = fraction de N d'engrais synthétique volatilisé sous forme de NH₃ et de NOx (kg N volatilisé/kg N appliqué) ;
 Frac_{GAZM} = fraction de N organique (engrais et pâture) volatilisé sous forme de NH₃ et de NOx (kg N volatilisé/kg N appliqué) ;
 FE_4 = facteur d'émission de N₂O dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques (kg N-N₂O / (kg N-NH₃ + N-NOx volatilisé)).

Plutôt que d'utiliser les fractions par défaut proposées par le Giec, les émissions de NH₃ et de NOx relatives à l'application d'engrais minéraux, de déjections animales, de boues, de compost et celles liées aux animaux à la pâture, sont calculées conformément à la méthode Emep 2023 [1331] détaillée en sections « Émissions de NH₃ » et « Émissions de NOx » plus bas.

On a alors :

- $\text{Frac}_{GAZE} = (N-NH_3_{SN} + N-NOx_{SN}) / F_{SN}$
- $\text{Frac}_{GAZdéjections} = (N-NH_3_{déjections} + N-NOx_{déjections}) / F_{déjections}$
- $\text{Frac}_{GAZpâture} = (N-NH_3_{pâture} + N-NOx_{pâture}) / F_{pâture}$
- $\text{Frac}_{GAZboues} = (N-NH_3_{boues} + N-NOx_{boues}) / F_{boues}$
- $\text{Frac}_{GAZcompost} = (N-NH_3_{compost} + N-NOx_{compost}) / F_{compost}$
- $\text{Frac}_{GAZdigestat} = (N-NH_3_{digestat} + N-NOx_{digestat}) / F_{digestat}$

Rappel : pour les digestats, il s'agit des produits issus de la méthanisation hors effluent d'élevage méthanisés, ces derniers étant comptabilisés au niveau des déjections.

Ces fractions recalculées varient dans le temps. Le tableau suivant présente les valeurs moyennées obtenues sur le périmètre Métropole et DOM (périmètre UE) :

Tableau 58 : Fractions de l'azote épandu qui se volatilise sous forme de NH₃ et de NOx, utilisées dans le calcul des émissions de N₂O des sols – périmètre UE

		1990	2000	2010	2020	2021	2022	2023
FracGAZE	Azote minéral épandu	9.2%	8.9%	8.9%	9.0%	8.9%	8.9%	9.5%
FracGAZdéjections	Déjections animales épandues, produites et importées	15.2%	15.2%	14.7%	13.8%	13.7%	13.6%	13.6%
FracGAZpâture	Déjections des animaux à la pâture	9.3%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%
FracGAZboues	Boues épandues	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%	11.9%
FracGAZcomposts	Composts épandus	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%
FracGAZdigestats	Digestats épandus	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%	7.8%

Le facteur d'émission lié au dépôt atmosphérique de N sur les sols et surfaces aquatiques (FE₄) évolue lui aussi en fonction de la zone climatique Giec : il vaut 1,4% en climat humide et 0,5% en climat sec. Pour la métropole, selon les types d'apports, la pondération des facteurs d'émissions sec et humide est faite à différents niveaux :

- Pour les engrais minéraux : la répartition des apports d'azote minéral par département et par climat est utilisée comme pondération. Cela ne permet pas de prendre en compte la variabilité des potentiels émissifs des différentes formes d'engrais minéral mais ce point pourra être amélioré dans les éditions futures.
- Pour les déjections animales produites en France : les émissions de NH₃ et NO_x associées sont connues au niveau régional. Ces émissions régionales sont redistribuées au prorata des surfaces par climat de la région, pour obtenir la pondération souhaitée.
- Pour l'azote des animaux à la pâture : la même méthode que celle pour les déjections animales est appliquée.
- Pour les autres apports d'azote (déjections importées, boues, composts, digestats hors effluents) : la pondération est faite au prorata des surfaces nationales par climat.

On obtient, pour l'ensemble de ces apports, un FE₄ qui varie sur la période autour de 1%. Pour l'Outre-mer, le facteur pour climat humide est utilisé (100% des territoires considérés en climat humide).

Les émissions de N-N₂O indirectes liées au dépôt atmosphérique sont converties ensuite en N₂O de la façon suivante :

$$N_2O_{DAT} = N-N_2O_{DAT} \times 44/28$$

Les émissions indirectes de N₂O liées au lessivage

Les émissions indirectes liées à la lixiviation/écoulements sont calculées selon l'équation 11.10 des lignes directrices du Giec [1229] :

$$N-N_2O_L = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP} + F_{RR} + F_{MOS}) \times \text{Frac}_{LEACH} \times FE_5$$

Avec : *Frac_{LEACH}* = fraction de l'azote minéralisé/ajouté aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements ;
FE₅ = facteur d'émission de N₂O dues à la lixiviation et aux écoulements (kg N-N₂O/kg N lessivé et écoulé).

Le paramètre *Frac_{LEACH}* est estimé en utilisant la valeur par défaut issue du Giec 2019 qui est de 0,24 kg N lessivé/kg N apporté, valeur que l'on applique uniquement aux surfaces situées en climat humide et aux surfaces irriguées. La part moyenne des surfaces irriguées est estimée à partir des données des recensements agricoles (2000 [1296], 2010 [1297], 2020 [1249]) et des enquêtes pratiques culturales 2011, 2017 et 2021 [485]. On considère sur la période qu'environ 4,8% des surfaces sont irriguées. Pour estimer la part des surfaces susceptibles de lessiver, la part des surfaces situées en zone de climat humide et la part des surfaces irriguées sont sommées. Ensuite, le calcul de l'azote lessivé est effectué à différentes échelles selon les apports :

- Pour les engrais minéraux : l'azote lessivé est estimé au niveau du département, en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec aux apports minéraux considérés épandus en zone susceptible de lessiver. Pour les surfaces situées en zone de climat humide, la part varie selon le département. En revanche, on considère que la part des surfaces irriguées est identique partout, égale à la part nationale.
- Pour les déjections animales produites en France : l'azote lessivé est estimé au niveau de la région en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec à l'azote des déjections considérées épandues en zone susceptible de lessiver. Pour les surfaces situées en zone de climat humide, la part varie selon la région. En revanche, on considère que la part des surfaces irriguées est identique partout, égale à la part nationale.
- Pour l'azote des animaux à la pâture : la même méthode que celle pour les déjections animales est appliquée.
- Pour les autres apports d'azote (déjections importées, boues, composts, digestats hors effluents, résidus, azote minéralisé) : l'azote lessivé est estimé au niveau national directement, en appliquant la part d'azote lessivé par défaut du Giec à l'azote apporté considéré épandu en zone susceptible de lessiver (climat humide et surfaces irriguées).

Pour l'Outre-mer, l'ensemble des territoires étant considéré en climat humide, la part d'azote lessivé par défaut du Giec est appliquée à l'ensemble des apports. On ne considère pas d'irrigation en Outre-mer.

Le facteur d'émission de N₂O dues à la lixiviation et aux écoulements (FE₅) utilisé est celui proposé par défaut par le Giec 2019 dans le tableau 11.3 : 0,011 kg N-N₂O/kg N lessivé.

Les émissions de N-N₂O indirectes liées dues à la lixiviation et aux écoulements sont converties ensuite en N₂O de la façon suivante :

$$N_2O_L = N-N_2O_L \times 44/28$$

Récapitulatif des sources d'azote et émissions de N₂O des sols

Les tableaux ci-dessous récapitulent les quantités d'azote apportées aux sols par source en Métropole, au sein des territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE et au sein des territoire d'Outre-mer non inclus dans l'UE, sur la période 1990-2023.

Tableau 59: Azote apporté aux sols cultivés par source en Métropole (tonnes d'azote)

	Engrais minéraux	Déjections *	Pâturage	Boues	Compost	Résidus	Digestat	Azote minéralisé en lien avec les pertes de C
1990	2 631 880	614 683	969 008	16 216	7 119	1 237 111	864	26 471
1991	2 576 401	608 286	959 426	17 085	7 238	1 339 537	864	26 792
1992	2 530 752	602 167	955 984	17 999	7 358	1 479 629	864	26 146
1993	2 361 418	603 516	950 615	18 963	7 479	1 424 658	864	26 226
1994	2 187 868	608 905	953 379	19 978	7 990	1 398 871	864	26 184
1995	2 264 988	613 994	960 201	21 048	8 537	1 321 614	864	2 179
1996	2 372 833	615 998	963 431	22 456	9 489	1 334 161	864	0
1997	2 414 800	611 898	956 078	23 863	10 364	1 404 304	864	0
1998	2 405 738	610 731	951 337	25 271	11 230	1 479 467	864	0
1999	2 432 969	606 371	953 490	23 687	13 572	1 545 604	864	0
2000	2 482 362	620 010	983 769	22 102	14 435	1 551 413	951	0
2001	2 466 649	616 030	990 883	20 518	15 617	1 444 840	951	0
2002	2 388 270	606 616	962 197	19 701	16 919	1 520 559	1 006	0
2003	2 299 057	590 830	934 001	18 884	18 327	1 174 231	1 120	0
2004	2 316 478	578 693	917 522	18 067	19 577	1 578 534	1 120	0
2005	2 371 148	575 430	908 932	18 246	20 815	1 419 999	1 147	0
2006	2 254 665	570 269	909 947	18 424	22 411	1 452 361	1 234	0
2007	2 180 591	578 147	915 670	18 603	23 207	1 644 195	1 322	17 060
2008	2 311 681	588 531	912 416	18 782	23 925	1 634 908	1 726	74 092
2009	2 262 011	576 989	909 568	18 960	24 856	1 534 863	1 873	81 620
2010	2 089 567	572 901	899 927	22 865	25 610	1 411 557	2 388	69 005
2011	2 206 362	566 659	880 170	21 401	30 028	1 365 729	3 294	43 661
2012	2 178 660	558 921	873 429	21 405	34 455	1 556 091	5 004	21 183
2013	2 084 375	557 408	880 740	18 603	35 964	1 506 224	6 451	0
2014	2 167 376	559 427	891 333	20 699	37 239	1 664 343	8 662	0
2015	2 199 549	557 085	898 214	25 849	38 882	1 450 793	10 669	0
2016	2 214 700	554 061	896 289	21 388	40 088	1 273 921	12 516	0
2017	2 234 189	546 718	885 498	23 343	41 979	1 448 865	14 603	0
2018	2 250 835	541 850	868 106	25 298	43 609	1 307 515	18 060	0
2019	2 125 147	535 435	851 917	20 698	42 704	1 299 949	23 478	0
2020	2 016 775	531 556	835 318	17 687	42 250	1 247 187	29 042	0
2021	1 958 478	524 277	815 367	20 335	39 437	1 574 382	39 108	0
2022	1 812 818	516 437	797 210	17 887	37 726	1 251 252	49 199	0
2023	1 732 954	504 914	788 452	17 944	37 816	1 465 088	57 504	0

*produites et importées

Tableau 60: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d’Outre-mer inclus dans l’UE (tonnes d’azote)

	Engrais minéraux	Déjections	Pâture	Boues	Compost	Résidus
1990	17 167	6 767	4 352	0	27	9 241
1991	17 402	6 698	4 321	0	27	10 122
1992	17 637	6 443	4 083	0	28	11 399
1993	17 872	6 292	4 013	0	29	11 680
1994	17 952	6 243	4 049	0	32	11 511
1995	18 031	6 136	4 015	0	36	10 770
1996	18 111	6 585	4 538	0	40	10 675
1997	18 190	6 536	4 610	0	40	11 041
1998	18 270	6 523	4 600	0	45	11 626
1999	18 349	6 306	4 320	0	60	12 318
2000	18 429	6 841	4 796	0	67	12 520
2001	18 253	6 752	4 991	0	70	11 573
2002	18 317	6 678	4 846	0	73	11 924
2003	18 282	6 646	4 756	0	78	9 092
2004	17 715	6 537	4 505	0	83	12 471
2005	16 808	6 198	4 396	0	122	11 126
2006	16 011	6 138	4 477	0	162	11 997
2007	15 447	5 701	3 996	0	184	13 310
2008	15 078	5 830	4 044	0	207	12 847
2009	14 555	5 661	3 944	0	279	11 750
2010	14 736	5 411	3 806	0	352	10 751
2011	14 027	5 422	3 810	0	362	9 987
2012	14 374	5 365	3 804	0	372	11 393
2013	14 080	5 130	3 675	0	442	10 790
2014	13 993	5 141	3 698	0	513	10 874
2015	13 620	5 063	3 691	0	507	9 206
2016	13 422	5 088	3 689	0	501	8 008
2017	12 933	4 994	3 707	0	503	9 022
2018	12 281	4 996	3 631	0	505	8 044
2019	12 830	4 938	3 585	0	533	8 137
2020	13 056	4 874	3 379	0	561	7 961
2021	12 694	4 523	3 036	0	567	10 010
2022	12 559	4 398	2 917	0	573	7 975
2023	12 346	4 256	2 752	0	573	9 284

Tableau 61: Azote apporté aux sols cultivés au sein des territoires d’Outre-mer non inclus dans l’UE (tonnes d’azote)

	Engrais minéraux	Déjections	Pâture	Boues	Compost	Résidus
1990	1 181	4 230	3 802	0	0	16 772
1991	1 195	4 284	3 843	0	0	18 227
1992	1 137	4 177	3 753	0	0	20 369
1993	1 085	4 089	3 592	0	0	20 712
1994	1 157	4 002	3 414	0	0	20 363
1995	1 210	4 250	3 637	0	0	19 009
1996	1 119	4 194	3 645	0	0	18 765
1997	1 175	4 143	3 657	0	0	19 329

	Engrais minéraux	Déjections	Pâturage	Boues	Compost	Résidus
1998	1 127	4 093	3 650	0	0	20 273
1999	1 134	4 092	3 741	0	0	21 392
2000	1 111	3 895	3 462	0	0	21 655
2001	1 118	3 857	3 558	0	0	20 315
2002	1 112	3 836	3 543	0	0	21 297
2003	1 148	3 793	3 500	0	0	16 120
2004	1 149	3 829	3 536	0	0	20 968
2005	1 080	3 571	3 145	0	0	18 539
2006	1 011	3 222	2 745	0	0	18 454
2007	1 045	3 273	2 799	0	0	20 305
2008	913	3 334	2 783	0	0	19 236
2009	825	3 223	2 747	0	0	17 522
2010	937	3 155	2 706	0	0	15 591
2011	840	3 086	2 644	0	0	14 592
2012	884	2 910	2 600	0	0	16 037
2013	943	2 815	2 570	0	0	15 453
2014	991	2 979	2 743	0	0	17 007
2015	999	2 790	2 530	0	0	14 837
2016	1 010	2 657	2 357	0	0	13 002
2017	1 023	2 577	2 281	0	0	14 805
2018	970	2 590	2 241	0	0	13 594
2019	1 071	2 703	2 376	0	0	13 509
2020	1 031	2 625	2 225	0	0	13 086
2021	893	2 597	2 123	0	0	16 467
2022	782	2 688	2 192	0	0	13 020
2023	782	2 690	2 204	0	0	15 260

Émissions de CH₄

Aucune émission de CH₄ n'est prise en compte pour la section « Sols agricoles – 3D » conformément aux méthodologies des lignes directrices du Giec, les émissions de CH₄ des rizières sont traitées dans la section « Rizières - 3C ».

Émissions de gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Émissions de SO₂

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Émissions de NO_x

Ces émissions sont rapportées dans les sous-codes NFR suivants (3Da1, 3Da2a, 3Da2b, 3Da2c, 3Da3).

Des émissions de NO sont estimées au niveau des sols agricoles. Elles sont associées à la présence d'azote réactif en lien avec la fertilisation des productions végétales et la présence des animaux. Ces émissions rentrent également dans le calcul des émissions indirectes de N₂O.

Les émissions de NO_x sont déterminées sur la base de la méthodologie Emep 2023 en utilisant le facteur d'émission Table 3.1 p 14 :

$$N-NO = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP}) \times FE_{NO}$$

Avec : F_{SN} = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliquée aux sols (kg N/an) ;
 F_{ON} : quantité annuelle de fumier animal, compost, digestat et boues appliqués aux sols (kg N/an) ;
 F_{PPP} : quantité annuelle d'azote des urines et fèces déposée par les animaux au pâturage (kg N/an) ;
 FE_{NO} = facteur d'émission de NO associé aux apports azotés (kg N-NO/kg N)

Les paramètres F_{ON} et F_{PPP} sont décrits dans la section « Caractéristiques de la catégorie ». Le paramètre F_{ON} couvre à la fois l'épandage des déjections (produites et importées), les boues, les digestats et les composts.

Le guide Emep propose une méthodologie par défaut de rang 1, avec un facteur d'émission provenant du tableau 6 de Stehfest et Bouwman [1194], calculé à l'échelle européenne comme la moyenne pondérée des facteurs d'émission des cultures et des prairies (0,04 kg NO₂/kg N épandu soit 0,012 kg N-NO/kg N ou 1,22 % de l'azote épandu).

Les émissions sont converties en équivalent NO₂ de la façon suivante :

$$NO_2 = N-NO \times 46/14$$

Cette valeur proposée par Emep est nettement supérieure (de + 118 %) à la valeur retenue par Stehfest et Bouwman à l'échelle mondiale (0,55 %). De récents travaux (Skiba et al. 2021 [1242]) trouvent également un facteur d'émission plus bas (0,60 %) mais soulignent que le peu de données disponibles conduit à de fortes incertitudes sur ce facteur d'émission et recommandent ainsi de poursuivre l'utilisation du facteur par défaut Emep. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas observé d'influence significative de la forme d'engrais sur les émissions de NO.

Émissions de COVNM

Aucune émission des sols eux-mêmes n'est estimée.

Les COVNM biotiques émis par la végétation sur les terres agricoles sont rapportées dans la catégorie NFR 3De « Cultivated Crops ». Ces émissions de COV biotiques sont estimées grâce au modèle COBRA (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) [92], développé par le Citepa, qui fait appel à diverses données pour caractériser l'activité de cette source [14, 292, 293] et dont les principaux éléments sont présentés ci-après.

Les algorithmes utilisés par le modèle COBRA appliquent l'équation suivante :

$$EM = e \cdot D \cdot S \cdot g$$

Avec : EM : Émissions de COVNM par essence végétale ;
 e : Taux normalisé d'émission ;
 D : Densité de feuillage ou coefficient de biomasse foliaire ;
 S : Surface recouverte par l'essence végétale ;
 g : Facteur environnemental correctif (généralement lié à la température et à la luminosité)

Les paramètres sont expliqués ci-dessous de manière succincte. Pour le détail des calculs, se reporter au rapport spécifique sur le modèle [92].

- Taux normalisé d'émission (e) : les valeurs mobilisées pour les sources non-forestières sont principalement issues d'Emep/Corinair 1996, à l'exception de trois sources : les céréales, les oléagineux et les vignes. Pour ces trois sources, des données provenant de mesures européennes (König et al, 1995) ont été utilisées.
- Densité de biomasse foliaire (D) : les valeurs mobilisées pour les sources non-forestières sont principalement issues d'Emep/Corinaire 1996.
- Surfaces des peuplements (S) : les surfaces de cultures et de prairies par département sont issues de l'Agreste, statistiques agricoles [85] remises à jour annuellement.

- Facteur environnemental correctif (g) : les algorithmes utilisés pour calculer les flux d'émissions sont ceux de Guenther [294] qui tiennent compte de la température foliaire et indirectement du rayonnement.
 - La température foliaire est assimilée dans le cadre de cet inventaire à la température ambiante. Les données de températures sont issues du réseau de RENECOFOR (REseau National de suivi à des ECosystèmes FORestiers) [293] de l'Office National des Forêts. Ce réseau est constitué d'un peu moins de trente stations de mesure de température réparties sur tout le territoire, de 1996 à nos jours. Il est complété à partir des moyennes de températures mensuelles éditées dans le CPDP [14] (valeurs de Météo France) de 1988 à 1995, grâce à une correspondance établie entre des mois de thermicité identique de la période 1996-2001. Ce qui signifie que ce sont des moyennes mensuelles de températures récentes, sélectionnées selon leur propriété à ressembler aux situations antérieures à 1996, qui ont été utilisées pour les années 1988 à 1996.
 - Le rayonnement est pris en compte sous la forme du PAR (Photosynthetically Active Radiation), utilisé dans l'équation de Guenther [294] qui correspond à une fraction du rayonnement global (RG) comprise entre 400 et 700 nm. Sa valeur est donc estimée selon $PAR = 0,45 \text{ RG}$ (Lambert [295]).

Le calcul des émissions suit donc un processus de type bottom-up spatio-temporel. Un module de calcul développé par le Citepa permet de déterminer les émissions par catégorie d'essence végétale, par mois, par département et pour les catégories de COVM : isoprène (ISO), monoterpènes (MT) et autres COV (ACOV) [296].

À noter : le calcul des émissions des COVM émis par l'élevage aux postes épandage, pâturage et parcours est décrit dans la section « Gestion des déjections animales - 3.B » mais celles-ci sont bien rapportées au sein des codes NFR liés aux sols agricoles (3Da2a épandage de déjections animales et 3Da3 pâturage).

Émissions de CO

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Émissions de NH₃

Les émissions de NH₃ liées aux sols agricoles sont calculées de la façon suivante :

$$NH_3 = \sum_i (F_{SN,i} \times FE_i) + NH_3 \text{ Epandage} + NH_3 \text{ Pâturage} + F_{boues} \times FE_{boues} + F_{compost} \times FE_{compost} + F_{digestat} \times FE_{digestat} + F_{import_déjections} \times FE_{déjections}$$

Avec : $F_{SN,i}$ = quantité annuelle de N d'engrais synthétique i appliquée aux sols (kgN/an) ;
 FE_i = facteur d'émission de NH₃ associé à l'engrais i (kg NH₃/kg N) ;
 $NH_3 \text{ Epandage}$ = émissions de NH₃ liées à l'épandage des déjections ;
 $NH_3 \text{ Pâturage}$ = émissions de NH₃ liées aux animaux à la pâture ;
 F_{boues} = quantité annuelle de N des boues appliquée aux sols (kgN/an) ;
 FE_{boues} = facteur d'émission de NH₃ associé aux boues (kg NH₃/kg N) ;
 $F_{compost}$ = quantité annuelle de N des composts appliquée aux sols (kgN/an) ;
 $FE_{compost}$ = facteur d'émission de NH₃ associé au compost (kg NH₃/kg N) ;
 $F_{digestat}$ = quantité annuelle de N des digestats appliquée aux sols (kgN/an) ;
 $FE_{digestat}$ = facteur d'émission de NH₃ associé au digestat (kg NH₃/kg N) ;
 $F_{import_déjections}$ = quantité annuelle de N des déjections importées appliquée aux sols (kgN/an) ;
 $FE_{déjections}$ = facteur d'émission de NH₃ associé aux déjections (kg NH₃/kg N).

Nous allons détailler ci-dessous l'estimation des différents termes de l'équation.

Engrais synthétiques

Les quantités d'azote apportées en Métropole fournies par l'UNIFA [90] distinguent différentes catégories d'engrais : ammonitrates, sulphate d'ammoniaque, cyanamide calcique et nitrate de chaux, urée, solutions azotées, ammoniac anhydre, autres simples et autres composés.

Le guide méthodologique Emep 2023 [1331] propose des facteurs d'émission par défaut pour chacun des types de fertilisants minéraux, en distinguant les sols à pH inférieur ou égal à 7, des sols à pH supérieur à 7. Les pH des sols sont disponibles par cantons (résolution fine) dans la Base de Données d'Analyse des Terres (BDAT)[965]. Une simulation a été

menée pour estimer la part des sols à pH inférieur ou égal à 7 des sols à pH supérieur à 7. Cette simulation a donné une répartition globalement équivalente entre ces sols, conduisant à utiliser désormais une approche simplifiée, à partir des FE moyennés entre les deux gammes de pH disponibles dans Emep.

Les facteurs résultants utilisés dans l'inventaire national sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 62 : Facteurs d'émission de NH_3 pour les engrais minéraux

Type de fertilisant	kg NH_3 / kg de N épandu
Ammoniac anhydre	0,020
Nitrate d'ammonium (Ammonitrates)	0,038
Sulphate d'ammonium	0,136
Solutions azotées	0,124
Urée	0,201
Autres simples N	0,038
Autres composés	0,136

Depuis 2014, un nouveau type d'engrais est considéré pour le calcul des émissions de NH_3 : l'urée avec inhibiteur d'uréase. Pour ces quantités d'engrais, le facteur d'émission par défaut Emep est adapté avec le facteur de réduction proposé par la guidance UNECE [809], qui indique une réduction de 70 % des émissions d'ammoniac.

Par ailleurs, les enquêtes pratiques culturales 2011, 2017 et 2021 menées par le MAA [485] ont permis d'estimer les quantités d'urée et de solution azotée enfouies directement dans les 12h :

- Dans l'enquête 2011 : la part des solutions azotées enfouies dans les 12h a été estimée au niveau national à 1,8 %, celle pour l'urée à 11,4 % ;
- Dans l'enquête 2017 : la part des solutions azotées enfouies dans les 12h a été estimée au niveau national à 7,9 %, celle pour l'urée à 14,0 %.
- Dans l'enquête 2021 : la part des solutions azotées enfouies dans les 12h a été estimée au niveau national à 7,4 %, celle pour l'urée à 14,2 %.

Ces données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- En 1990 : pas d'enfouissement dans les 12h ;
- De 1991 à 2004 : interpolation linéaire entre l'hypothèse d'absence d'enfouissement dans les 12h et les taux issus de l'enquête 2011 ;
- De 2005 à 2011 : application des taux issus de l'enquête 2011 ;
- De 2012 à 2016 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2011 et ceux issus de l'enquête 2017 ;
- En 2017 : application des taux issus de l'enquête 2017 ;
- De 2018 à 2020 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2017 et ceux issus de l'enquête 2021 ;
- A partir de 2021 : application des taux issus de l'enquête 2021.

Pour ces quantités enfouies, le facteur d'émission par défaut Emep est adapté avec la plage des facteurs de réduction proposée par les orientations UNECE [809], qui indique une réduction des émissions d'ammoniac entre 50% et 80%. La valeur retenue est la moyenne de ces valeurs, soit 65% de réduction des émissions d'ammoniac.

Pour les territoires Outre-mer, le détail des formes d'engrais appliquées n'est pas connu, seule la quantité totale d'azote recalculée l'est. Par simplification, un facteur d'émission moyen annuel, tous engrais confondus, est recalculé au niveau de la Métropole, et appliqué à l'azote minéral épandu en Outre-mer.

Épandage des déjections

Le calcul des émissions de NH_3 liées à l'épandage des déjections est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B ».

Pâturage

Le calcul des émissions de NH_3 liées aux animaux gérés à la pâture est décrit en section « Gestion des déjections animales - 3.B ».

Boues

Le facteur d'émission utilisé, tiré d'Emep 2023 [1331] est égal à 0,13 kg NH_3 /kg N des boues.

Compost et digestat

Pour les composts et le digestat (hors déjections méthanisées), le facteur d'émission utilisé est celui proposé par défaut par Emep 2023 [1331], pour les « other organic wastes », basé sur l'azote total épandu. Ce facteur d'émission est égal à 0,08 kg NH_3 /kg N épandu.

Déjections importées épandues

Le calcul des quantités d'azote importées épandues est présenté dans la section « Caractéristiques de la catégorie », et la répartition des déjections entre porcins et volailles est connue.

Les facteurs d'émission proposés par Emep 2023 sont exprimés à partir de l'azote ammoniacal (TAN). Faute de données précises sur ces déjections, leurs teneurs en TAN par rapport à l'azote total ont été recalculées à partir de données françaises [1298]. On considère pour les déjections d'origines porcines une teneur en TAN de 30%, et de 14% pour les déjections avicoles.

Émissions de particules (TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$)

Les facteurs d'émissions de niveau 1 des particules primaires sont fournis dans les lignes directrices Emep 2023 [1331, table 3-1 p 14]. Emep 2023 ne fournissant pas de facteur différencié pour les TSP (facteur égal à celui des PM_{10}), ce dernier est calculé grâce à la granulométrie utilisée dans GAINS pour les sols agricoles [484, table 3.74 page 81]. Ces facteurs d'émission sont appliqués à l'ensemble des terres arables.

Tableau 63 : Facteurs d'émission de particules pour les sols agricoles

	TSP	PM_{10}	$\text{PM}_{2,5}$
Facteur d'émission en kg/ha	28,36	1,56	0,06

Métaux lourds (ML)

Aucune émission n'est attendue pour ce secteur.

Hexachlorobenzène (HCB)

Les émissions de HCB liées à l'application des pesticides sont estimées à partir des teneurs maximales fournies dans le guide Emep 2023 (Chapitre 3Df, table 7-3 [1332]). On considère que tout le HCB présent dans la substance se volatilise lors de l'application. D'après Emep 2023 la liste des pesticides concernés sont les suivants : Atrazine, propazin, simazine, picloram, pentachloronitrobenzene (PCNB), chlorothalonil, dimethyl tetrachloroterephthalate (chlorthal), tefluthrin, lindane, pentachlorophenol (PCP) and PCP-Na.

Pour chaque type de pesticide, on multiplie la quantité de produit vendue en France par la teneur maximale fournie par Emep, qui peut varier dans le temps.

Tableau 64 : Teneurs maximales en HCB pour les produits phytosanitaires

Teneur maximale en mg/kg de HCB	1990-1999	2000-2004	2005-2009	2010-année en cours
Picloram	50			
Chlorothalonil	300	40	10	40
Chlorthal	1000	40		

À noter : le guide Emep n'indique pas de teneur en HCB pour le tefluthrin qui pourrait également contribuer aux émissions, et être un enjeu au vu des quantités vendues en France.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
22/01/2025	AnD	27/02/2025	EM

Brûlage des résidus de cultures

Cette section concerne les émissions liées au brûlage des résidus de culture. Le brûlage des résidus peut être employé pour nettoyer une parcelle, faciliter la préparation du lit de semence, lutter contre les adventices ou contre la prolifération de certaines maladies des cultures.

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3F
CEE-NU / NFR	3F
SNAPc (extension Citepa)	10.03.01 à 10.03.05
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Biomasse sèche et azote des résidus brûlés	FE des guides Giec 2019 et Emep 2023

Niveau de méthode

La méthodologie utilisée correspond à une méthode Giec de rang 2 du fait d'une estimation fine des quantités de résidus (biomasse et matière sèche).

La méthodologie utilisée correspond à une méthode Emep de rang 2 du fait d'une estimation fine des quantités de résidus (biomasse et matière sèche) et de l'utilisation de facteurs d'émission spécifiques aux espèces cultivées.

Caractéristiques de la catégorie (communes au NID et à l'IIR) :

Le brûlage de résidus de culture est une pratique interdite en France pour les grandes cultures : en effet, dans le cadre du respect de la conditionnalité (mesure de bonnes conditions agricoles et environnementales, fixées au niveau national), les agriculteurs qui demandent les aides de soutien de la politique agricole commune sont tenus de ne pas brûler les résidus de paille ainsi que les résidus des cultures d'oléagineux, de protéagineux et de céréales. À titre exceptionnel et par dérogation, ce brûlage est autorisé lorsqu'il s'avère nécessaire pour des motifs sanitaires dûment justifiés. Les règles de dérogations ont changé à partir de 2016, date pour laquelle il n'est plus possible d'obtenir une dérogation pour raisons agronomiques. Certaines surfaces sont donc encore brûlées mais cette pratique demeure peu répandue. Les principales cultures brûlées sont le lin et le riz (pailles riches en silice qui usent le matériel et possèdent un potentiel de dégradation faible). Une part significative des émissions rapportée provient du brûlage des sarments de vigne dont l'activité est tolérée (des restrictions peuvent néanmoins être émises en cas de pic de pollution) et des surfaces de canne à sucre en Outre-mer pour lesquelles le brûlage fait parfois encore partie des pratiques agronomiques.

Méthode générale d'estimation des émissions de GES (NID et IIR) :

Les émissions sont calculées à partir de l'estimation des superficies brûlées par culture, des quantités de résidus présentes après récolte pour ces cultures et des quantités de matière sèche contenue dans ces résidus. La description complète de la méthode d'estimation des résidus est présentée en annexe « A.6. Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture ».

Pour les vignes, on considère une production moyenne de 3 tonnes de sarments par hectare, avec un taux d'humidité de 50%. Ensuite, l'estimation des quantités de sarments brûlés est basée sur les enquêtes pratiques culturales du SSP 2006, 2013 et 2019 [707]. Dans les enquêtes 2006 et 2013, faute d'information spécifique sur le brûlage, la part brûlée est estimée à partir du taux de restitution des sarments à la parcelle : on considère que les sarments non restitués à la parcelle sont brûlés sur site. Dans l'enquête 2019, la part brûlée est estimée en sommant la part des sarments brûlés sur place et celle des sarments exportés de la parcelle puis brûlés.

Ces données sont utilisées de la manière suivante sur la période :

- De 1990 à 2006 : application des taux issus de l'enquête 2006 ;
- De 2007 à 2012 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2006 et ceux issus de l'enquête 2013 ;
- De 2014 à 2019 : interpolation linéaire entre les taux issus de l'enquête 2013 et ceux issus de l'enquête 2019 ;
- De 2019 à l'année en cours : application des taux issus de l'enquête 2019.

Pour la canne à sucre, l'estimation des surfaces brûlées est basée sur des publications de l'AMADEPA [708] et du CIRAD [709].

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Émissions de CO₂

Conformément aux règles de la Convention Climat, les émissions de CO₂ de la biomasse non ligneuse ne sont pas rapportées dans les inventaires nationaux car considérés inclus dans un cycle court du carbone. Les émissions de CO₂ de la biomasse ligneuse sont rapportées dans le secteur utilisation des terres.

Émissions de CH₄, N₂O

La méthodologie utilisée est celle des lignes directrices Giec 2019 [1229]. L'équation utilisée est l'équation 2.27, chapitre 2 [1229], et peut être réécrite de la manière suivante :

$$\text{Émissions} = \text{MS brûlée} \times \text{FE}$$

$$\text{MS brûlée} = \text{AGR} \times \text{FracBurnt} \times \text{Cf}$$

Avec :
 MS brûlée : Matière sèche des résidus brûlés en kg ;
 AGR : Matière sèche totale des résidus aériens (kgMS) avant export et brûlage ;
 FracBurnt : Part des surfaces brûlées (ratio)
 Cf : Facteur de combustion (part de la biomasse effectivement consommée par unité de surface brûlée) (ratio) ;
 FE : facteur d'émission (0,0027 kg CH₄ / kg MS brûlée et 0,00007 kg N₂O / kg MS brûlée, tableau 2.5 des lignes directrices du Giec 2019 [1229])

Méthode d'estimation des émissions de polluants (IIR) :

Émissions de SO₂, NO_x, COVNM, CO, NH₃, TSP, PM₁₀, PM_{2,5}, BC

La méthodologie utilisée est celle proposée dans Emep 2023 [1333]. Le guide Emep présente des facteurs d'émission tier 2 pour les cultures de blé, de maïs, d'orge et de riz, représentant environ 80% des quantités de résidus brûlées. Pour les autres cultures, le guide Emep présente uniquement des facteurs d'émission tier 1. Pour les vignes, la section 5.C.2 du guide EMEP 2023 fournit des facteurs d'émission tier 1 pour le brûlage à l'air libre [1334]. Les facteurs d'émissions sont basés sur la quantité de matière sèche des résidus des cultures brûlées. Les facteurs d'émission utilisés sont détaillés dans les tableaux suivants :

Tableau 65 : Facteurs d'émissions utilisés selon le type de résidu

Polluant	Unité	FE tier 2 blé	FE tier 2 maïs	FE tier 2 orge	FE tier 2 riz	FE tier 1 (autres cultures)	FE tier 1 brûlage à l'air libre - vergers
NO _x	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0023	0,0018	0,0027	0,0024	0,0023	0,0049
CO	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0667	0,0388	0,0987	0,0589	0,0667	0,0628
COVNM	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0005	0,0045	0,0117	0,0063	0,0005	0,001
SO _x	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0005	0,0002	0,0001	0,0003	0,0005	0,0003
NH ₃	kg.kg-1 matière sèche résidus	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0000
TSP	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0058	0,0063	0,0078	0,0058	0,0058	0,0049
PM ₁₀	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0057	0,0062	0,0077	0,0058	0,0057	0,0049
PM _{2,5}	kg kg-1 matière sèche résidus	0,0054	0,0006	0,0074	0,0055	0,0054	0,0046
BC	mg kg-1 matière sèche résidus	500	750	1200	500	500	2577

Métaux lourds (ML)

La méthodologie utilisée est celle proposée dans Emep 2023 [1334]. Le guide Emep présente des facteurs d'émission tier 2 pour les cultures de blé, de maïs, d'orge et de riz, représentant en 2018 environ 80% des quantités de résidus brûlées. Pour les autres cultures, le guide Emep présente uniquement des facteurs d'émission tier 1. Les facteurs d'émission utilisés sont détaillés dans les tableaux suivants :

Tableau 66 : Facteurs d'émissions métaux lourds

Polluant	Unité	FE tier 2 blé	FE tier 2 maïs	FE tier 2 orge	FE tier 2 riz	FE tier 1 (autres cultures)	FE tier 1 brûlage à l'air libre - vergers
Pb	mg kg-1 matière sèche résidus	0,11	0,007	0,0036	0,072	0,11	0,67
Cd	mg kg-1 matière sèche résidus	0,88	0,036	0,24	0,16	0,88	0,07

Polluant	Unité	FE tier 2 blé	FE tier 2 maïs	FE tier 2 orge	FE tier 2 riz	FE tier 1 (autres cultures)	FE tier 1 brûlage à l'air libre - vergers
Hg	mg kg-1 matière sèche résidus	0,14	0,028	0,096	0,033	0,14	0,00
As	mg kg-1 matière sèche résidus	0,0064	0,013	0,0064	0,091	0,0064	0,04
Cr	mg kg-1 matière sèche résidus	0,08	0,1	0,14	0,1	0,08	0,01
Cu	mg kg-1 matière sèche résidus	0,073	0,054	0,0036	0,088	0,073	0,14
Ni	mg kg-1 matière sèche résidus	0,052	0,036	0,011	0,045	0,052	0,00
Se	mg kg-1 matière sèche résidus	0,02	0,028	0,039	0,048	0,02	0,03
Zn	mg kg-1 matière sèche résidus	0,56	0,84	0,49	0,92	0,56	18,05

Dioxines et furannes (PCDD-F)

La méthodologie utilisée pour les dioxines est la méthodologie Tier 1 proposée dans Emep 2023 [1333], qui fournit des facteurs d'émission basés sur la quantité de matière sèche des résidus des cultures brûlées.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

La méthodologie utilisée pour les HAP est la méthodologie proposée dans Emep 2023 [1333]. Le guide Emep présente des facteurs d'émission tier 2 pour les cultures de blé, de maïs, d'orge et de riz.

Polychlorobiphényles (PCB)

Ces émissions ne sont pas estimées actuellement.

Hexachlorobenzène (HCB)

Ces émissions ne sont pas estimées actuellement.

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
22/01/2025	AnD	27/02/2025	EM

Épandage d'amendements basiques et d'engrais contenant du carbone

Cette section concerne les émissions de CO₂ liées à l'épandage d'amendements basiques en agriculture et liées à l'épandage d'engrais contenant des carbonates.

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3G – 3I
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension Citepa)	100601 / Chaulage – Épandage CAN
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Quantités d'amendements basiques épandues et quantités d'ammonitrates épandues	Facteurs d'émission par défaut du Giec

Niveau de méthode

La méthode appliquée est de rang Giec 1.

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Le chaulage, c'est-à-dire l'apport au sol d'amendements basiques (roche calcaire broyée, chaux vive, scorie) est pratiqué depuis très longtemps en agriculture. Il permet de lutter contre l'acidification, phénomène qui diminue la fertilité du sol. Les apports sont de plusieurs types : calcaire broyé, dolomie, chaux vive chaux, magnésienne ou chaux éteinte. Les apports sous forme de calcaire et de dolomie entraînent des émissions de CO₂ lors de la décarbonatation des carbonates.

Suite à la revue ESD 2020, une source supplémentaire a été incluse, à partir de la soumission d'inventaire 2021. Cette catégorie ne fait pas l'objet d'un rapportage obligatoire. Il s'agit des apports d'engrais contenant du carbone, tels que le calcium ammonium nitrate. Cet apport entraîne des émissions de CO₂ lors de la décarbonatation des carbonates. Les émissions sont estimées de la même manière que pour le chaulage (utilisation d'engrais comme donnée d'activité et facteur d'émission basé sur la teneur en carbone).

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Les livraisons d'amendements basiques sont fournies par l'UNIFA [90]. Sont considérés les amendements crus (calcaire + dolomie + Maërl), les amendements mixtes, les amendements engrais, les écumes de sucreries et les autres amendements. Les livraisons d'ammonitrates (tonnes de produit et tonnes d'azote) sont également fournies par l'UNIFA, elles incluent les quantités de calcium ammonium nitrate CAN (ammonitrates bas dosage (N ≤ 28 %)).

La méthodologie inclut également les émissions de CO₂ liées aux écumes de sucreries. Les écumes de sucreries constituent un co-produit lié au procédé de raffinage du sucre utilisé en tant qu'amendement basique en agriculture. Des recherches sur ces produits ont montré que les écumes de sucreries contiennent une part importante d'eau qu'il est donc nécessaire de prendre en compte pour estimer la quantité réelle de carbonate de calcium contenue dans les écumes épandues. Après une recherche bibliographique, il a été considéré que les écumes de sucreries sont en moyenne composées de 24 % de CaO ce qui correspond à 43% de CaCO₃ [535]. Par ailleurs, il faut noter que des émissions de CO₂ sont prises en compte au niveau des sites de production de sucre (auto-producteur de chaux). Ces émissions ne constituent pas un double-compte dans les inventaires, les émissions au niveau des sites de production et les émissions au niveau des terres agricoles constituant des émissions distinctes.

Les formats de rapportage exigent d'effectuer une séparation entre les amendements calcaires et dolomitiques. Cependant, certains amendements épandus en France sont mixtes : mélange de calcaire et de dolomie, ou mélange d'amendement cuits et crus.

Les quantités d'amendements sont réparties de la façon suivante :

Tableau 67 : Répartition des amendements carbonés

	Calcaire	Dolomie
Amendement calcaire pulvérisé, broyé ou concassé	100 %	
Amendement calco-magnésien pulvérisé, broyé ou concassé	50 %	50 %
Maërl pulvérisé, broyé ou concassé	100 %	
Amendement calcique mixte	50 %	
Amendement magnésien mixte		50 %
Amendements engrais	25 %	25 %
Carbonate de calcium issu de la production de pâte à papier	100 %	
Dolomie pulvérisée, broyée ou concassée		100 %
Ecumes de sucreries	100 %	

Le total de l'allocation n'est pas de 100% pour les amendements engrais car ils sont constitués pour moitié d'amendements cuits (décarbonés). Pour les écumes de sucreries, ce sont bien les quantités de CaCO₃ recalculées qui sont rapportées dans la catégorie calcaire, comme expliqué précédemment.

Émissions de CO₂

Amendements carbonés

Les émissions de CO₂ liées à l'épandage d'amendements carbonés sont estimées grâce au Giec 2019 [1229].

$$\Delta \text{CLime} = M_{\text{Limestone}} \times \text{EF}_{\text{Limestone}} + M_{\text{Dolomite}} \times \text{EF}_{\text{Dolomite}}$$

Avec : ΔCLime = Émission annuelle de carbone due à l'application d'amendements carbonés, t C/an ;
 M = Quantité d'amendements calcaires (CaCO₃) ou dolomitique (CaMg(CO₃)₂), t C/an ;
 EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour CaCO₃, 13% pour CaMg(CO₃)₂)

Calcium Ammonium Nitrate

Comme mentionné plus haut, les données de livraisons fournies par l'UNIFA sont utilisées. Comme cela est fait pour les estimations des émissions azotées de la catégorie 3D_agricultural soils, afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, les données de livraisons annuelles sont lissées sur 2 campagnes. Ces données lissées sont jugées plus représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs car elles permettent de gommer les potentiels effets de stock (livraison ≠ apports) et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés).

$$\text{Apport 2021} = \frac{\text{livraisons } 2019/2020 + \text{livraisons } 2020/2021}{2}$$

A partir de cette quantité lissée d'azote des ammonitrates et des poids molaires du nitrate d'ammonium (NH_4NO_3), on obtient le tonnage de nitrate d'ammonium :

$$\text{Tonnes de } \text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{tonnes de N lissées Ammonitrates} \times \text{MM}_{\text{NH}_4\text{NO}_3} / (\text{MM}_\text{N} \times 2)$$

Avec : MM = Masse molaire (80 g/mol pour le NH_4NO_3 et 14 g/mol pour le N)

La part des composants calcaire ou dolomite est ensuite déduite par différence entre les tonnes lissées de produits (incluant du calcaire et de la dolomie) et les tonnes estimées de NH_4NO_3 :

$$\text{Tonnes Calcaire ou dolomite} = \text{tonnes de Produit lissées Ammonitrates} - \text{tonnes de } \text{NH}_4\text{NO}_3$$

On en déduit les émissions de CO_2 :

$$\Delta\text{CAN} = \text{M}_{\text{Calcaire ou dolomite}} \times \text{moyenne (EF}_{\text{Dolomite}} ; \text{EF}_{\text{Calcaire}})$$

Avec : ΔCAN = Emission annuelle de carbone due à l'application d'ammonitrates (AN), t C/an ;
 M = Quantité de calcaire ou dolomite contenue dans les AN, t C/an ;
 EF = Facteur d'émission, t C/t amendement (12% pour CaCO_3 , 13% pour $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Les émissions de CO_2 totales sont obtenues ainsi :

$$\text{CO}_2 (\text{t CO}_2/\text{an}) = (\Delta\text{CLime} + \Delta\text{CAN}) \times 44/12$$

Émissions de CH_4

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de N_2O

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de Gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie

Date de mise à jour	Responsable	Date de validation	Vérificateur
22/01/2025	AnD	27/02/2025	EM

Epandage de l'urée

Cette section concerne les émissions de CO₂ liées à l'épandage d'urée en agriculture. Les émissions de N₂O et NH₃ sont rapportées et décrites dans la section « Sols agricoles – 3D ».

Correspondance dans divers référentiels

CCNUCC / CRT	3H
CEE-NU / NFR	-
SNAPc (extension Citepa)	100601 / Urée
CE / directive IED	Hors champ
CE / E-PRTR	Hors champ
CE / directive GIC	Hors champ

Approche méthodologique

Activité	Facteurs d'émission
Quantité d'urée épandue (sous forme d'urée pure et de solutions azotées)	FE des lignes directrices 2006 [799] (pas de raffinement 2019)

Niveau de méthode

La méthodologie utilisée correspond à une méthode de rang 1 du Giec.

Caractéristiques de la catégorie (NID) :

Cette catégorie concerne les émissions de CO₂ liées à l'hydrolyse de l'urée consécutive à l'épandage d'engrais sous forme uréique en agriculture. La forme uréique est contenue dans les engrais granulés de type urée et dans les engrais nommés solutions azotés qui contiennent 50% de leur azote sous forme uréique.

Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre (NID) :

Émissions de CO₂

Les quantités d'urée épandues sont estimées à partir des données de livraisons d'urée (tN) et de solutions azotées (tN) rapportées par l'UNIFA [90]. Afin de limiter les brusques variations liées aux fluctuations interannuelles du prix des denrées agricoles et de l'azote minéral, les données de livraison sont lissées sur 2 années. Ces données lissées sont jugées plus

représentatives de la consommation annuelle des agriculteurs : elles permettent de gommer les potentiels effets de stock et de recentrer les usages sur l'année civile et non sur la période de campagne (du 1er juillet au 30 juin pour les engrais azotés). On suppose une répartition égale entre l'urée et l'ammonitrate au sein de la solution azotée. On convertit ensuite ces livraisons (tN) en tonnes, à l'aide des masses molaires de l'urée et de l'azote, pour pouvoir appliquer des facteurs d'émissions du Giec.

L'équation 11.13 des lignes directrices Giec 2006 [799] (pas de mise à jour dans le raffinement 2019 [1229]) est utilisée avec un facteur d'émission de 0,2 kgC-CO₂/kg [799].

$$E_{CO_2} = M \times EF \times 44/12$$

Avec : *E*CO₂ : Emissions annuelles de CO₂ liées à l'épandage d'urée (t CO₂/an) ;
M : Masse d'urée (t/an) ;
EF : Facteur d'émission (tC-CO₂/t) ;
 44/12 : Conversion des tC-CO₂ en tCO₂.

Émissions de CH₄

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie.

Émissions de N₂O

Les émissions de N₂O sont rapportées et décrites dans la section « Sols agricoles – 3D ».

Émissions de Gaz fluorés

Aucune émission n'est attendue pour cette catégorie

Références utilisées

- [14] CPDP (Comité Professionnel Du Pétrole, valeurs de Météo France)
- [85] SCEES - AGRESTE, Statistique agricole annuelle
- [90] UNIFA – Les livraisons de fertilisants minéraux en France – Publication annuelle
- [92] Citepa - PAJOT K., GABORIT G. FONTELLE-J-P. - Estimation annuelle des émissions de COVNM des sources biotiques dans la basse atmosphère France (modèle COBRA) - Mai 2003
- [293] RENECOFOR (Réseau National de 141 écosystèmes ÉCOsystèmes FORestiers) – Communication annuelle de données de températures diurnes et nocturnes
- [294] G-ENTHER A-B - Seasonal and spatial variation in natural volatile organic compound emissions. Ecological Application, 1997, vol. 7, pp 34-45
- [295] LAMBERT - Influence du climat et de la disponibilité en azote sur la croissance printanière du ray-grass anglais. 2001, Université catholique de Louvain – Faculté des sciences agronomiques – Laboratoire d'écologie des prairies.
- [296] Citepa - Logiciel COBRA version 2002 (Composés Organiques de la Biomasse Rejetés dans l'Atmosphère) – [32] ADEME - Inventaire des installations de traitement des déchets (enquête périodique ITOM)
- [362] VERMOREL M., JOUANY J.P., EUGENE M., SAUVANT D., NOBLET J, DOURMAD J.Y. – Evaluation quantitative des émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France. INRA prod. Anim., 2008, 21 (5), 403-418.
- [400] I.E.O.M. Institut d'Emission d'Outre-Mer, rapport annuel
- [401] I.E.D.O.M. Institut d'Emission des Départements d'Outre-mer, rapport annuel
- [410] SSP – AGRESTE. Données téléchargeables sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/agreste-donnees-en-ligne>
- [468] CORPEN - Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager. Influence de l'alimentation et du niveau de production. Groupe "Alimentation animale" Sous-groupe « Vaches laitières », 1999
- [469] CORPEN - Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance ou à l'engrais, issus des troupeaux allaitants et laitiers, et à leur système fourrager, 2001
- [470] CORPEN - Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre, zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites, 2003
- [471] CORPEN - Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections, 2006
- [473] William MARTIN-ROSSET - Nutrition et alimentation des chevaux. Editions QUAE, 2012
- [476] Biomasse Normandie - Evaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités. Lot 3 : Effluents d'élevage. Rapport final, 2002
- [477] CNIEL, Institut de l'élevage - Observatoire de l'alimentation des vaches laitières. Données 2007

- [478] Fichier réalisé par l'Institut de l'Elevage suite à une extraction des données des PMPOA 1 et 2. Communication du 31/01/2011
- [480] Résultats des Enquêtes Bâtiment 1994, 2001 et 2008. Service de la statistique et de la prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement de Territoire
- [482] B. Meda, P. Robin, C. Aubert, C. Rigolot, J.-Y. Dourmad and M. Hassouna, – MOLDAVI: A dynamic model simulating nutrient and energy flows from broiler rearing systems. A paraître dans Animal Sciences
- [484] IIASA, Klimont Z, Cofala J, Bertok I, Amann M, Hees C, Gyrfas F. - Modelling particulate emissions in Europe, A framework to estimate reduction potential and control costs. Interim report IR-02-076. December 2002, table 3.74
- [485] MASA / SSP –Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 2000, 2005, 2011, 2017, 2021
- [486] Citepa – Méthodologie d'estimation des quantités de matière sèche et d'azote contenues dans les résidus de culture en France, 2013.
- [503] CORPEN – Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles. Groupe alimentation animale, sous-groupe aviculture, 1996
- [504] CORPEN – Estimation des rejets d'azote - phosphore - calcium - cuivre et zinc par les élevages avicoles. Mise à jour des références CORPEN - Volailles de 2006, 2012, 61p.
- [505] IFIP – GTE : Evolution des résultats moyens nationaux
- [508] EUGENE M., DOREAU M., LHERM M., VIALARD D., FAVERDIN F., SAUVANT D. – Rapport préliminaire du projet MONDFERENT « Emissions de méthane par les bovins en France », 2012, 57p. à paraître.
- [509] EUGENE M. – Outil de calcul accompagnant le rapport préliminaire du projet MONDFERENT « Emissions de méthane par les bovins en France », 2012, non publié.
- [510] SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S., SERMENT A., BROUDISCOU L. – « Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants » – Inrae Prod. Anim., 24, 2011, 429-442
- [511] MEDDE/DEB – Base de Données sur les Eaux Résiduelles Urbaines, 05/03/2012
- [537] ADEME – Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets, 2005
- [591] MEDDE – 2002. Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités, 2002, p 51-52. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.biomasse-normandie.org/IMG/pdf/rapport.pdf>.
- [592] Mestrapports, Vlaamse Landmaatschappij - Disponibles à l'adresse suivante : <https://www.vlaanderen.be/publicaties/mestrapport>
- [655] Aubert et Coutelet, 2013. Les rejets d'azote et de phosphore par les élevages de lapins : évolution et perspectives. TeMA n°28 - octobre/novembre/décembre 2013
- [656] Giec – Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 10
- [657] CIV, 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire
- [658] Inrae, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables Inrae 2007
- [662] Enquêtes TERUTI, 1992-2003, Service Statistique et Prospective du Ministère de l'Agriculture.

- [663] La culture du riz en Camargue <http://www.rizdecamargue.com/section/culture/une-r%C3%A9gion-un-m%C3%A9tier>
- [707] SSP – Résultats des Enquêtes Pratiques Culturelles 2006 (viticulture), Résultats des Enquêtes Viticulture 2013 et 2019
- [708] AMADEPA – Le brûlage de la canne à sucre en Martinique : évolution, motivations, impacts. De la nécessité d'un engagement collectif, 2007
- [709] CIRAD – LA canne à sucre et l'environnement à la Réunion, 2005
- [720] Cubizolle, H., Mouandza, M. M., & Muller, F. (2013). Mires and Histosols in French Guiana (South America): new data relating to location and area. *Mires and Peat*, 12(3), 1-10.
- [759] <http://outils.ifip.asso.fr/CritStand/CourbeCroit/Default.aspx>
- [760] Agreste, 1999. La cuniculture française - Enquête cuniculture 1994. Les cahiers de l'Agreste novembre 1999 n°42 et 43.
- [786] Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, 2015, Paris, 26 pages.
- [793] Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. *Animal*, 4, 1401-1412
- [794] SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S. – « Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants » – *Inrae Prod. Anim.*, 22, 2009, 375-384
- [796] EUGENE M., MANSARD L. – Rapport final du projet MONDFERENT 2 « Emissions de méthane entérique et MOND des petits ruminants en France », 2015, non publié.
- [797] EUGENE M., MANSARD L. – Outil de calcul accompagnant le rapport du projet MONDFERENT 2 «Emissions de méthane entérique et MOND des petits ruminants en France», 2015, non publié.
- [798] Base de données SINOE – ADEME
- [799] Giec – Lignes directrices 2006, Volume 4, Chapitre 11
- [800] Groot Koerkamp, 1993. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling.
- [801] Acquisition de facteurs d'émissions d'ammoniac en élevages de volailles - Rapport final. ITAVI/ADEME. 11 décembre 2015. P. 30/45
- [803] Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030. ADEME. Juillet 2013
- [806] RTE Guyane - Référentiel Technico-Economique agricole' 2002 et 2012
- [807] Fiches d'Itinéraires Technique - Chambre d'Agriculture de Martinique, 2014
- [809] Options for Ammonia Mitigation - Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen
- [961] Institut de l'élevage, juin 2014. Alimentation des ovins : rations moyennes et niveaux d'autonomie alimentaire.
- [964] Riziculture - La paille de riz Camarguaise - Pratiques au champ et filières de valorisation pour un développement durable. Inra, Cemagref, 2009.

- [965] Base de Données d'Analyses des Terres – BDAT, GIS SOL
- [966] Hassouna M., Meda B., Chantal A., Dourmad J-Y., Garcia Launay F. Excretions of organic matter and nitrogen of poultry and pig productions to assess gas emissions, MONDFERENT 2. Novembre 2015, non publié
- [980] Résultats des Enquêtes Pratiques d'élevage, 2015. Service de la Statistique et de la Prospective Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.
- [981] Institut du Porc, 2010. Porc performances 2009.
- [982] IDELE, 2004. Une nurserie adaptée aux besoins des animaux.
- [983] IDELE, Octobre 2016. Estimation des flux d'azote associés aux ovins, aux caprins, aux équins et à leurs systèmes fourragers.
- [984] Institut Français du Cheval et de l'Equitation (IFCE). Bases de données du SIRE et de l'Observatoire Economique et Social du Cheval (<http://statscheval.haras-nationaux.fr>)
- [985] Institut Français du Cheval et de l'Equitation (IFCE), 2012 et 2016. Annuaire ECUS.
- [986] EUGENE M., SAUVANT D., NOZIERE P., VIALARD D., OUESLATI K., LHERM M., MATHIAS E., DOREAU M. A new Tier 3 method to calculate methane emission inventory for ruminants. Journal of Environmental Management 231 (2019) 982-988.
- [987] Communication annuelle ITAVI. Données d'effectifs des poulets de chair par mode de production (export, standard, lourd, CCP, bio, label rouge) et des poules pondeuses par mode de production (au sol, bio, en cage, label rouge, plein air).
- [989] Levasseur 2003, 2006. Etat des lieux du traitement des lisiers de porcs en France
- [990] Lessirard 2007. La filière porcine française et le développement durable
- [991] Bilan UGPVB. Données 2013 : 421 stations de traitement de lisier de porc en service. Enquête auprès des groupements de producteurs de porcs
- [992] UGPVB 2016, 2017. Rapport d'activité
- [995] LAGADEC S., LANDRAIN P., BELLEC F., MASSON L., DAPELLO C., GUINGAND N., 2015. Enquête sur 31 laveurs d'air de porcherie en Bretagne, clés d'amélioration de l'efficacité sur l'abattement de l'ammoniac. Journées de la Recherche Porcine en France, 47:177-182.
- [1036] Données des ventes de produits phytopharmaceutiques issues de la BNV-D, https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/ventes-de-pesticides-par-departement/#_données consultées le 19/06/2019
- [1037] INSEE. Tableaux économiques régionaux - Plusieurs années.
- [1038] MAA/SSP. Les comptes régionaux, départementaux et par catégorie d'exploitations de l'agriculture - Plusieurs années.
- [1039] DAVAR. Recensement général agricole (RGA) Nouvelle Calédonie - 2002 ; 2012.
- [1040] Institut de la Statistique et des études économiques Nouvelle Calédonie. Productions agricoles en Nouvelle Calédonie - Plusieurs années.
- [1041] Institut de la statistique de Polynésie française. Recensement général agricole (RGA) Polynésie française - 1995

- [1042] Direction de l'Agriculture (DAG) Polynésie française. Recensement général agricole (RGA) Polynésie française – 2012
- [1043] Service territorial de la Statistique et des Etudes Economiques (STSEE) Wallis et Futuna. Recensement général agricole (RGA) Wallis et Futuna - 2001 ; 2014.
- [1044] DAAF Mayotte. Le poulet de chair à Mayotte - Analyse de la filière. Mars 2016.
- [1045] DAAF Mayotte. Conjoncture et évolution des prix des produits agricoles. Février 2017.
- [1046] DAAF Mayotte. Etudes d'Informations Statistiques agricoles menées en 2016. Janvier 2017.
- [1047] INSEE - Structures agricoles. 1998.
- [1051] Sauvart D. (Inrae). La production de méthane dans la biosphère : le rôle des animaux d'élevage. Le courrier de la Cellule Environnement n°18 (décembre 1992).
- [1052] IDELE. Résultats du Contrôle Laitier France (bovins, ovins, caprins). Plusieurs années.
- [1138] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 3B Manure Management.
- [1139] 1788 - Inventaire régional Polynésie française, Citepa. 2020.
- [1145] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Section 5B2 Biological treatment of waste – anaerobic digestion at biogas facilities.
- [1157] AURA-EE (AURA Energie Environnement), Cartographie des unités de méthanisation, 2017.
- [1158] ADEME Bourgogne Franche-Comté, Etat des lieux de la méthanisation en Bourgogne-Franche-Comté, chiffres et repères, mars 2017.
- [1159] AILE, Cartes et chiffres clés Bretagne et Pays de la Loire : état des lieux de la méthanisation au 1er janvier 2020
- [1160] Observatoire Environnement Bretagne (OEB), 2020. Base de données sur les installations de méthanisation en Bretagne (<https://bretagne-environnement.fr/installations-methanisation-bretagne-evolution-datavisualisation>)
- [1161] ADEME Centre Val de Loire, Cartographie des unités de méthanisation en Centre Val de Loire, 2019.
- [1162] Chambre d'agriculture Grand Est, Etat des lieux des méthaniseurs, 2019. (<http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3-rex-suivi-methaniseurs-chambre-agriculture.pdf>)
- [1163] Chambre d'agriculture Hauts de France, Etat des lieux des méthaniseurs, 2020
- [1164] Institut d'aménagement et d'urbanisme – Bilan de la méthanisation en Ile-de-France, 2020
- [1165] Chambre d'agriculture Normandie, Bilan des unités de méthanisation, 2020. (<https://normandie.chambres-agriculture.fr/conseils-et-services/preserver-lenvironnement/energies/produire-de-lenergie/methanisation/plan-methanisation-normandie/>)
- [1166] ADEME Occitanie, Carte des unités de méthanisation en fonctionnement, 2017.
- [1167] Collectif Métha'Synergie , 2020.
- [1168] Agence Régionale d'Évaluation Environnement & Climat (AREC), Etat du développement de la méthanisation en nouvelle-aquitaine, Enquête pour l'année de production en 2018, publication en 2020.
- [1193] IPCC, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands

- [1194] Stehfest, E., Bouwman, A.F., 2006. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 207–228. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9000-7>
- [1195] VCM enquête operationele stand van zaken mestverwerking in vlaanderen, Vlaamse coördinatiecentrum Mestverwerking, <https://www.vcm-mestverwerking.be/nl/kenniscentrum/1919/bibliotheek> [dernier accès : 21/01/2022]
- [1202] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012. Les tourbières en France métropolitaine. CGDD
- [1229] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use
- [1230] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. « Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement », 2019.
- [1231] Martin-Rosset, W., Vermorel, M., Fleurance, G. et Doligez, P., « Evaluation et prévision de différentes sources de pollution issues de l'élevage et de l'utilisation du cheval. 39ème Journée de la Recherche Equine », 2013.
- [1236] Bilans de fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne- Rhône-Alpes
- [1237] AILE, Etat des lieux de la méthanisation en Bretagne
- [1238] Schéma Régional Biomasse Grand Est, Mars 2021, v9 - Ademe, Préfecture Grand Est, Solagro, Indiggo, Biomasse conseil
- [1239] AREC, Bilan de fonctionnement 2020 des unités de méthanisation en Ile de France - Rapport complet - février 2022
- [1240] Chambre d'agriculture de Normandie, 2021, Qualité agronomique des digestats en Normandie, Guide technique, Décembre 2021.
- [1241] DREAL Pays de la Loire, Analyse des bilans de fonctionnement 2019 des installations de la filière biogaz en Pays de la Loire
- [1249] Recensement agricole 2020. Données communiquées par le MASA fin 2022, en attente de publication.
- [1250] Références d'excrétions azotées Itavi, mise à jour 2021, en cours de publication.
- [1251] CNIEL, 2018. Le pâturage des vaches laitières françaises – Etat des lieux de la pratique pour l'ensemble des territoires français.
- [1252] Site internet Web-agri pour les durées de lactation en vaches allaitantes. <https://www.web-agri.fr/alimentation-animale/article/208210/courbe-de-lactation-d-une-vache-allaitante>
- [1255] Performances techniques et indicateurs économiques en poules pondeuses. Itavi, multiples années.
- [1259] Devun et al (2011). Fourrages conservés et modes de récolte : la situation selon les systèmes d'élevage en France.
- [1262] Plan de développement agricole durable à Saint-Pierre et Miquelon, 2018. CACIMA, Chambres d'agricultures, Salva Terra
- [1293] DAVAR – Mémento agricole Nouvelle-Calédonie (annuel). <https://davar.gouv.nc/secteur-rural-statistiques-agricoles/le-memento-agricole>

- [1294] Données douanes - Import / Export engrais organiques. https://www.douane.gouv.fr/la-douane/opendata?f%5B0%5D=categorie_opendata_facet%3A458
- [1295] Esnouf A., Brockmann D., Cresson R., 2021. Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles - Rapport d'ACV. INRAE Transfert, 170pp.
- [1296] AGRESTE, Recensement agricole 2000
- [1297] AGRESTE, Recensement agricole 2010
- [1298] Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, 83 pages.
- [1315] Inra, 2018. Alimentation des ruminants, Editions Quae, Versailles, France, 728 p.
- [1316] Cniel, 2018. Le pâturage des vaches laitières françaises.
- [1322] Marsac, S., Heredia, M., Labalette, F., Delaye, N., Levasseur, P., Capdeville, J., Gervais, F., Ponchant, P., 2018. ELBA: A National reference tool for for agricultural biomasse resource assessment in France. <https://elba.arvalis-ext.com/>
- [1323] FranceAgriMer, 2020. L'Observatoire National des Ressources en Biomasse - Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition décembre 2020.
- [1324] IDELE, ITAVI, ITCF, ITP, 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme.
- [1325] Comité Régional Bâtiment Bretagne, Institut de l'Élevage, Groupe Traite Pays de la Loire, 2007. Choisir une installation de traite.
- [1326] IDELE, 2019. Calcul des capacités de stockage des effluents d'élevage ruminant, équin, porcin, avicole et cunicole, Méthodes et outils.
- [1327] IFIP, 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs - Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porc.
- [1328] INSEE, 2016, Mode de traitement des déchets en 2016 Enquête sur la production de déchets non dangereux dans l'industrie - Insee Résultats
- [1329] Ademe, 2024, SEA Métha Suivi d'exploitation annuel méthanisation. Extraction d'une partie de la base de données communiquée au Citepa dans le cadre des inventaires.
- [1330] HUANG Y., NOZIERE P., SOUVIGNET P., DELABY L. Estimation simplifiée des interactions digestives au sein des rations des vaches laitières à partir du système d'alimentation Inra 2018. Rencontre Recherche Ruminants, 2024.
- [1331] EMEP 2023, Chapitre 3.D - Crop production and agricultural soils
- [1332] EMEP 2023, Chapitre 3.D.f- Agriculture Other including use of pesticides
- [1333] EMEP 2023, Chapitre 3.F - Field burning of agricultural residues
- [1334] EMEP 2023, Chapitre 5.C.2- Open burning of waste
- [1338] EMEP 2023, Chapitre 3.B - Manure Management
- [1344] Citepa, Fncuma, Fnedt, 2022, Travaux d'amélioration des inventaires nationaux de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques par une meilleure prise en compte des agroéquipements. Rapport d'étude.

Agriculture | Annexes

A.1. Systèmes de gestion des déjections animales (SGDA)

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les bovins, porcins, ovins et caprins // Annexe du NID et de l'IIR

Les données des enquêtes bâtiments d'élevage (1994, 2001, 2008) et pratiques d'élevage (2015) sont retraitées afin de déterminer la part des animaux gérés dans chacun des systèmes suivants :

- Pour les bovins : lisier avec croûte naturelle, lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), litière accumulée (pendant moins d'un mois pour les vaches laitières et pendant plus d'un mois pour les autres bovins), pâture.
- Pour les autres animaux : lisier sans croûte naturelle, fumier (stockage solide), pâture.

Définition de capacités

Les données des enquêtes sont fournies selon une catégorisation qui est globalement différente de celle proposée dans la SAA. Pour faciliter la lecture, on nomme la catégorisation des enquêtes « capacité ». Plusieurs cas peuvent être rencontrés :

La capacité concerne une seule catégorie animale de la SAA : la correspondance est faite directement entre capacité et catégorie SAA ;

La capacité concerne plusieurs catégories animales de la SAA : les données de la capacité sont attribuées à chaque catégorie animale de la SAA ;

La catégorie animale de la SAA est concernée par plusieurs capacités : les données des capacités concernées sont pondérées pour être représentatives de la catégorie animale de la SAA.

Le tableau ci-dessous répertorie les différentes correspondances effectuées entre les capacités des enquêtes bâtiment (1994, 2001, 2008) et les catégories animales de la SAA.

NB : Lorsqu'une capacité concerne plusieurs catégories animales, elle est répétée pour faciliter la lecture.

Tableau 68 : Correspondances entre "capacité" des enquêtes bâtiment et catégorie animale de la SAA

Capacité des enquêtes bâtiment	Conversion de la capacité vers la catégorie animale SAA	Catégorie animale de la SAA
Vaches laitières	1,00	Vaches laitières
Vaches nourrices	1,00	Vaches nourrices
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans
Bovins en engraissement	1,00	Génisses de boucherie de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type laitier de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type viande de plus de 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans

Capacité des enquêtes bâtiment	Conversion de la capacité vers la catégorie animale SAA	Catégorie animale de la SAA
Bovins en engraissement	1,00	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans
Bovins d'élevage ou maigres	1,00	Mâles de type viande de 1 à 2 ans
Veaux de boucherie	1,00	Veaux de boucherie
Autres bovins de - 1 an	1,00	Autres femelles de moins de 1 an
Autres bovins de - 1 an	1,00	Autres mâles de moins de 1 an
Truies en attente de saillie	0,04	Truies de 50 kg et plus
Truies gestantes	0,79	Truies de 50 kg et plus
Truies en maternité	0,16	Truies de 50 kg et plus
Truies en maternité	1,00	Porcelets non sevrés (<8kg)
Porcelets en post- sevrage	1,00	Porcelets sevrés de 8 à 30 kg
Porcs en engraissement	1,00	Porcs à l'engrais de 30 kg et plus
Porcs autres	1,00	Verrats de 50 kg et plus
Brebis laitières	1,00	Brebis mères laitières (y c. réforme)
Autres ovins d'élevage laitiers	0,34	Agnelles
Agneaux en engraissement	1,00	Autres ovins (y compris béliers)
Brebis viandes	1,00	Brebis mères allaitantes (y c. réforme)
Autres ovins d'élevage viandes	0,66	Agnelles
Chèvres	1,00	Chèvres (femelles ayant mis bas)
Autres caprins d'élevage	1,00	Chevrettes
Chevreaux en engraissement	1,00	Autres caprins (y compris boucs)

Les coefficients suivants, appliqués pour les truies, proviennent de l'Ifip – Institut du porc [981] :

Tableau 69 : Paramètres utilisés pour la pondération des capacités truies

	Moyenne nationale
Intervalle sevrage – 1ère saillie (jours)	6,2
Taux de fécondation en 1ère saillie (%)	89%
Durée gestation (jours)	114,5
Durée du cycle sexuel (intervalle entre deux ovulations) (jours)	21
Age des porcelets au sevrage (jours)	24,3

Ces données nous permettent de faire les hypothèses suivantes concernant les durées passées à chaque stade :

- En attente de saillies : 6,2 jours,
- Gestantes : $89 \% \times 114,5 + (1 - 89 \%) \times (114,5 + 21) = 116,8$ jours,
- Maternité : 24,3 jours.

L'expression de ces résultats en pourcentage du temps passé donne alors les chiffres proposés dans le Tableau 68.

Les coefficients appliqués pour les agnelles correspondent à une moyenne de valeurs. La première valeur est issue de Vermorel et al. [362] qui fournit des données d'effectifs pour l'année 2007 distinguant les agnelles laitières (agnelage à 13 mois) et les agnelles allaitantes (agnelage à 15 mois). La seconde valeur est issue du Recensement Agricole 2020 [1249] qui fournit des données d'effectifs pour l'année 2020 en distinguant les effectifs lait des effectifs viande pour les agnelles.

Dans les pratiques d'élevage (2015), la terminologie des capacités a été modifiée. Les correspondances suivantes ont été appliquées :

Tableau 70 : Correspondances entre les capacités des enquêtes bâtiment et les libellés des pratiques d'élevage

Capacité des enquêtes bâtiment	Correspondance pratiques d'élevage
Vaches laitières	Vaches laitières
Vaches nourrices	Vaches allaitantes
Bovins d'élevage ou maigres	Génisses de renouvellement
Bovins en engraissement	Autres bovins de boucherie
Veaux de boucherie	Veaux de boucherie
Autres bovins de - 1 an	Jeunes bovins de moins de 8 mois
Truies en attente de saillie	Truies non saillies
Truies gestantes	Truies en gestation
Truies en maternité	Truies en maternité
Porcelets en post- sevrage	Porcelets en post-sevrage
Porcs en engraissement	Porcs à l'engrais
Porcs autres	Pas de correspondance
Brebis laitières	Brebis laitières
Autres ovins d'élevage laitiers	Agnelles de renouvellement (sans distinction)
Agneaux en engraissement	Agneaux
Brebis viandes	Brebis nourrices
Autres ovins d'élevage viandes	Agnelles de renouvellement (sans distinction)
Chèvres	Chèvres
Autres caprins d'élevage	Chevrettes
Chevreaux en engraissement	Pas de correspondance

Lorsqu'il n'y a pas de correspondance dans les pratiques d'élevage 2015, les modes de gestion sont maintenus constants, égaux à ceux de 2008. C'est le cas pour les verrats et les autres caprins (y compris boucs).

Pour les agnelles, la distinction entre les laitières et les allaitantes n'est plus fournie dans les pratiques d'élevage 2015 : les coefficients précités ne sont alors plus appliqués.

Définition des types de sol

Les enquêtes bâtiment fournissent des informations sur la répartition des animaux par type de sol, catégorisés par capacité (voir ci-dessus). Les types de sols déclarés varient selon les capacités. L'objectif est ensuite de faire le lien entre type de sol et type de déjections produites.

L'attribution des types de déjections produites par type de sol a été faite :

- Pour les bovins : avec l'appui de l'Institut de l'Élevage (IDELE)
- Pour les porcins : avec l'appui de l'Institut du Porc (IFIP)
- Pour les ovins et les caprins : dans les enquêtes bâtiment, les types de sol proposés sont tous des sols de type fumier.

Tableau 71 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches laitières

Vaches laitières				% Pâture	% Lisier avec croûte naturelle	% Lisier sans croûte naturelle	% Litière accumulée < 1 mois	% Stockage solide
Plein-air intégral				100%	0%	0%	0%	0%
Stabulation (ou étable) entravée	avec litière			0%	0%	0%	0%	100%
	sans litière			0%	0%	100%	0%	0%
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte	pente paillée			0%	0%	0%	0%	100%
	litière accumulée	aire d'exercice raclée	fumier	0%	0%	15%	7%	78%
			lisier	0%	60%	0%	7%	33%
		aire d'exercice caillebotis (lisier)		0%	0%	60%	7%	33%
		aire paillée intégrale		0%	0%	0%	17%	83%
	logettes	aire d'exercice bétonnée	fumier	0%	0%	25%	0%	75%
			lisier	0%	100%	0%	0%	0%
		aire d'exercice caillebotis		0%	0%	100%	0%	0%
	pente paillée	alimentation distribuée		0%	10%	15%	0%	75%
		alimentation silo libre-service		0%	15%	15%	0%	70%
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte	litière accumulée	système fumier	alimentation distribuée	0%	10%	13%	7%	71%
			alimentation silo libre-service	0%	15%	11%	7%	67%
		système lisier	alimentation distribuée	0%	60%	0%	7%	33%
			alimentation silo libre-service	0%	60%	0%	7%	33%
	logettes	système fumier	alimentation distribuée	0%	10%	23%	0%	68%
			alimentation silo libre-service	0%	15%	21%	0%	64%
		système lisier	alimentation distribuée	0%	100%	0%	0%	0%
			alimentation silo libre-service	0%	100%	0%	0%	0%

Tableau 72 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut de l'Elevage - Vaches allaitantes et autres bovins

Vaches allaitantes et autres bovins				% Pâture	% Lisier avec croûte naturelle	% Lisier sans croûte naturelle	% Litière accumulée > 1 mois	% Stockage solide
Plein-air intégral				100%	0%	0%	0%	0%
Stabulation (ou étable) entravée	avec litière			0%	0%	0%	0%	100%
	sans litière			0%	0%	100%	0%	0%
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte	pente paillée			0%	0%	0%	0%	100%
	litière accumulée	aire d'exercice raclée	fumier	0%	0%	13%	14%	73%
			lisier	0%	50%	0%	14%	36%
		aire d'exercice caillebotis (lisier)		0%	0%	50%	14%	36%
		aire paillée intégrale		0%	0%	0%	29%	71%
	logettes	aire d'exercice bétonnée	fumier	0%	0%	25%	0%	75%
			lisier	0%	100%	0%	0%	0%
		aire d'exercice caillebotis		0%	0%	100%	0%	0%
	pente paillée	alimentation distribuée		0%	10%	15%	0%	75%
		alimentation silo libre-service		0%	15%	15%	0%	70%
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte	litière accumulée	système fumier	alimentation distribuée	0%	10%	10%	14%	66%
			alimentation silo libre-service	0%	15%	9%	14%	62%
		système lisier	alimentation distribuée	0%	50%	0%	14%	36%
			alimentation silo libre-service	0%	50%	0%	14%	36%
	logettes	système fumier	alimentation distribuée	0%	10%	23%	0%	68%
			alimentation silo libre-service	0%	15%	21%	0%	64%
		système lisier	alimentation distribuée	0%	100%	0%	0%	0%
			alimentation silo libre-service	0%	100%	0%	0%	0%

Les types de sol des enquêtes bâtiment pour les porcins ont été simplifiés dans le tableau ci-dessous : certaines distinctions supplémentaires étaient en effet proposées mais n'impactent pas sur la détermination du type de déjection, ni sur les quantités de paille apportées.

Tableau 73 : Attribution des types de déjections produites par type de sol avec l'appui de l'Institut du Porc

Catégories d'animaux		Type de sol simplifié	Types de déjections
Truies en attente de saillie, gestantes ou en maternité	Plein air		100% plein air
	Semi plein-air		100% lisier
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis total ou caillebotis partiel	100% lisier
		Sol béton ou légèrement paillé et raclé	100% fumier
		Sol paillé (litière accumulée)	100% fumier
Post-sevrage	Plein air		100% plein air
	Semi plein-air		100% lisier
	En maternité	(les porcelets restent dans le local maternité après sevrage)	100% lisier
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou total	100% lisier
		Sol béton ou légèrement paillé et raclé	100% fumier
		Sol paillé (litière accumulée)	100% fumier
Engraissement	Plein air		100% plein air
	Semi plein-air		100% lisier
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou caillebotis total	100% lisier
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	100% fumier
		Sol paillé (litière accumulée)	100% fumier
Autres porcs	Plein air		100% plein air
	Semi plein-air		100% lisier
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis total ou partiel	100% lisier
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	100% fumier
		Sol paillé (litière accumulée)	100% fumier

Mise en cohérence des séries

Dans l'enquête pratiques d'élevage, tout comme pour les capacités, la terminologie des types de sol a été modifiée. Le Citepa a retraité les données disponibles pour obtenir les correspondances avec les types de sol des enquêtes bâtiment.

Les résultats de l'enquête pratiques d'élevage 2015 sont fournis au niveau des nouvelles régions et au niveau national. En revanche, les résultats ne sont pas fournis pour l'ensemble des nouvelles régions mais uniquement pour celles dans lesquelles les espèces sont le plus présentes. Par exemple, pour les vaches laitières, les données sont fournies au niveau national, ainsi que pour la Bretagne, la Normandie et les Pays de la Loire. Ces 3 régions représentent plus de la moitié des effectifs pour l'année enquêtée (2015).

Pour les bovins, les résultats proposent une répartition des animaux pour :

- La stabulation : libre, entravée, box ou logette ;
- La nature du sol : litière paillée, litière sciure ou copeaux, pente paillée, caillebotis, matelas ou tapis, autre ;
- Les caractéristiques de l'aire d'exercice : distincte, couverte, mode d'évacuation (raclée fumier, raclée lisier, caillebotis, autres)

Les retraitements effectués par le Citepa se décomposent en plusieurs étapes :

- Etape 1 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre stabulation entravée et stabulation non entravée ;
- Etape 2 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre litière, caillebotis et matelas ;
- Etape 3 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire d'exercice distincte et non distincte ;
- Etape 4 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire d'exercice couverte et non couverte ;

- Etape 5 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre logettes, pente paillée et litière accumulée ;
- Etape 6 : calcul du pourcentage de répartition des animaux entre aire raclée fumier, aire raclée lisier, aire caillebotis.

A noter : des données issues du Recensement agricole 2020 ont pu être transmises pour intégration dans l'inventaire [1249]. Ont été valorisées ici les données d'effectifs gérés en plein-air intégral pour les vaches laitières et allaitantes. La dernière donnée disponible concernant le système en plein-air intégral datait de l'enquête 2008. Par souci de simplification, la valeur issue du recensement agricole 2020 a été attribuée à l'année 2015. Pour la période 2008-2015, les données ont été interpolées. La valeur du recensement 2020 est ensuite maintenue sur la période 2015-année en cours.

Tableau 74 : Premiers retraitements des données pratiques d'élevage 2015 par le Citepa pour les bovins

Données disponibles dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015				Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	Etape 5	Etape 6
Stabulation (total = 100%)	Libre								
	Entravée			% Entravé					
	Box ou logettes							% Logettes	
Nature du sol (total = 100%)	Litière paillée				% Litière				
	Litière sciure ou copeaux				% Litière				
	Pente paillée				% Litière			% Pente paillée	
	Caillebotis				% Caillebotis				
	Matelas ou tapis				% Matelas				
	Autre				Non pris en compte				
	Aire d'exercice	Élevage avec aire d'exercice distincte					% Aire d'exercice distincte		
Part des aires d'exercice couvertes						% Aire d'exercice couverte			
Répartition des aires d'exercice selon le mode d'évacuation des déjections (total = 100%)		Raclée fumier							% Raclée fumier
		Raclée lisier							% Raclée lisier
		Caillebotis							% Caillebotis
		Autre							
Solde recalculé Citepa			% Non entravé		% Aire d'exercice non distincte	% Aire d'exercice non couverte	% Litière accumulée		

Tableau 75 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 (et recensement agricole 2020) - Bovins

Types de sols des enquêtes bâtiment				Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015	
Plein-air intégral			Attribution du pourcentage issu du Recensement Agricole 2020		
Stabulation (ou étable) entravée	avec litière			% Entravée x % Litière	
	sans litière			% Entravée x (% Caillebotis+ % Matelas)	
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte	pente paillée			% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Pente paillée	
	litière accumulée	aire d'exercice raclée	fumier	% Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Raclée fumier	
			lisier	% Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Raclée lisier	
		aire d'exercice caillebotis (lisier)		% Non entravée x % Aire d'exercice distincte x % Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée x % Caillebotis	
		aire paillée intégrale		% Non entravée x % Aire d'exercice non distincte x Aire d'exercice couverte x % Litière accumulée	
	logettes	aire d'exercice bétonnée	fumier	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Litière	
			lisier	% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Matelas	
		aire d'exercice caillebotis		% Non entravée x % Aire d'exercice couverte x % Logettes x % Caillebotis	
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte	pente paillée		Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Pente paillée	
			Alim silo libre-service		
	litière accumulée	système fumier	Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Litière accumulée x %Litière	
			Alim silo libre-service		
		système lisier	Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Litière accumulée x (% Caillebotis + % Matelas)	
			Alim silo libre-service		
	logettes	système fumier	Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Logettes x % Litière	
			Alim silo libre-service		
système lisier		Alim distribuée	% Non entravée x % Aire d'exercice non couverte x % Logettes x (% Caillebotis + % Matelas)		
		Alim silo libre-service			

A noter : pour les systèmes distinguant le type d'alimentation (distribuée ou silo libre-service), la distinction n'étant pas disponible dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015, la valeur agrégée des pratiques d'élevage 2015 est répartie entre ces deux modes au prorata de la dernière répartition connue, provenant des enquêtes bâtiment (2008).

Pour les porcs, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Caillebotis intégral,
- Caillebotis partiel,
- Litière accumulée avec paille.

Pour faire correspondre ces types de sol à ceux des enquêtes bâtiment, les modalités caillebotis intégral et partiel ont été fusionnées. Les correspondances suivantes ont été effectuées :

Tableau 76 : Correspondances entre types de sol des enquêtes bâtiment et retraitements Citepa sur les pratiques d'élevage 2015 - Porcs

Catégories animales	Types de sols des enquêtes bâtiment		Retraitements spécifiques des données sur les pratiques d'élevage 2015
Truies en attente de saillie, gestantes ou en maternité	Plein air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Semi plein-air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis total ou caillebotis partiel	% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel
		Sol béton ou légèrement paillé et raclé	% Litière accumulée avec paille
		Sol paillé (litière accumulée)	
Post-sevrage	Plein air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Semi plein-air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	En maternité	Les porcelets restent dans le local maternité après sevrage	Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou total	% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel
		Sol béton ou légèrement paillé et raclé	% Litière accumulée avec paille
		Sol paillé (litière accumulée)	
Engraissement	Plein air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Semi plein-air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis partiel ou caillebotis total	% Caillebotis intégral + % Caillebotis partiel
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	% Litière accumulée avec paille
		Sol paillé (litière accumulée)	
Autres porcs	Plein air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Semi plein-air		Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
	Bâtiment fermé (entièrement couvert)	Sol caillebotis total ou partiel	Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
		Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	Pas de données exploitables : report de la valeur 2008
		Sol paillé (litière accumulée)	Pas de données exploitables : report de la valeur 2008

A noter : pour les systèmes distinguant les sols paillés des sols légèrement paillés ou non, la distinction n'étant pas disponible dans les enquêtes pratiques d'élevage 2015, la valeur agrégée des pratiques d'élevage 2015 est répartie entre ces deux modes au prorata de la dernière répartition connue, provenant des enquêtes bâtiment (2008).

Pour les ovins, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Plein air intégral,
- Litière intégrale,
- Caillebotis.

A la différence des enquêtes bâtiment, les enquêtes pratiques d'élevage proposent donc désormais pour les ovins des systèmes en lisier (caillebotis) et des systèmes de plein air intégral.

Pour les caprins, les résultats des pratiques d'élevage 2015 proposent une répartition des animaux selon les types de sol suivants :

- Litière intégrale,
- Caillebotis.

A la différence des enquêtes bâtiment, les enquêtes pratiques d'élevage proposent donc désormais pour les caprins des systèmes en lisier (caillebotis).

Les schémas ci-dessous présentent les sources utilisées (résultats des enquêtes) et principaux retraitements par grande catégorie animale : bovins, porcins, ovins, caprins.

Figure 33 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les bovins

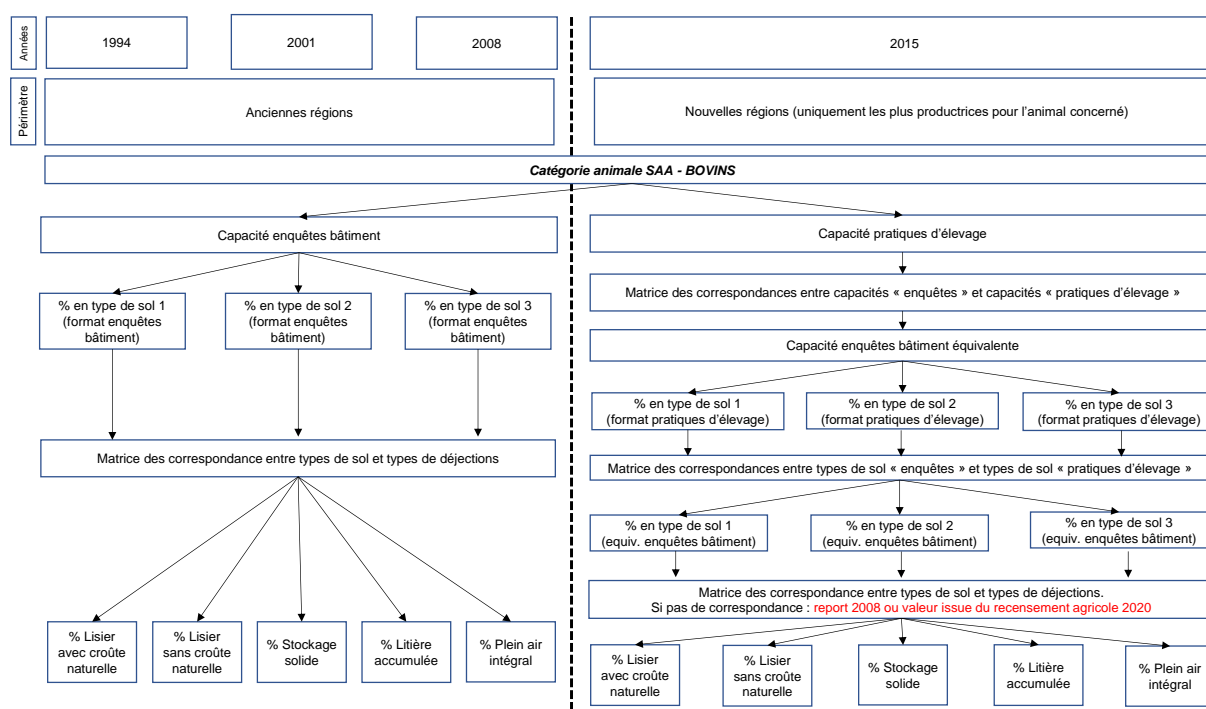


Figure 34 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les porcins

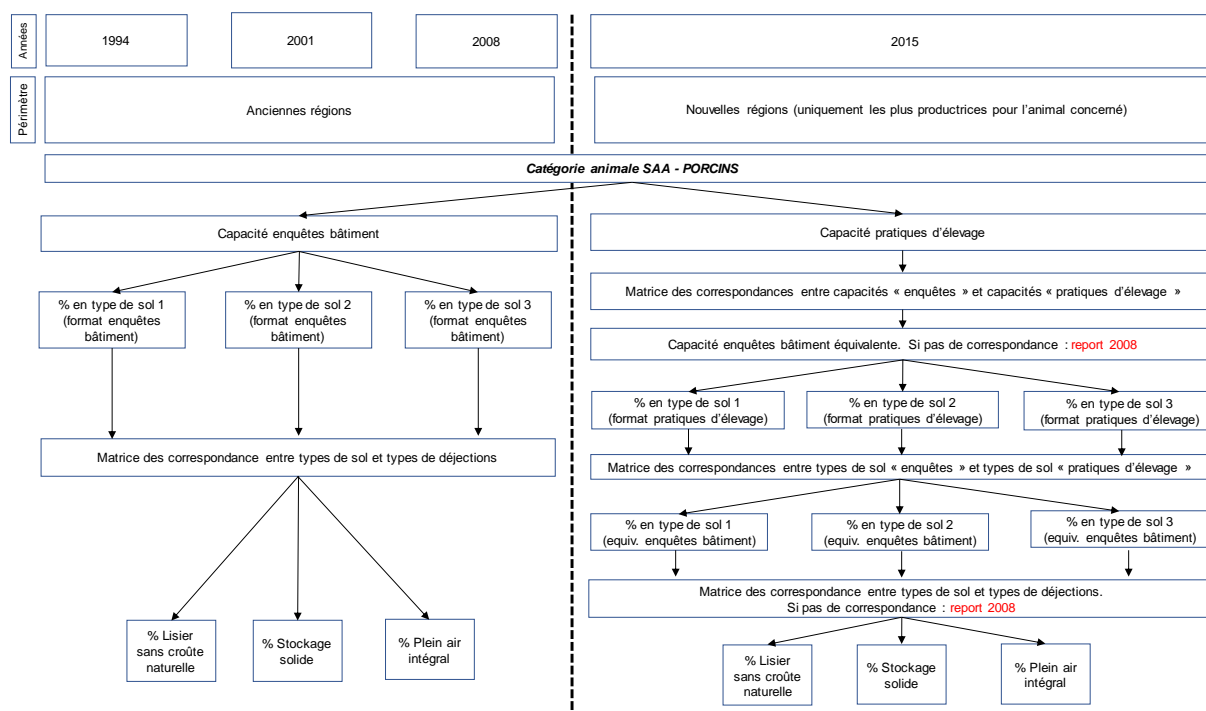


Figure 35 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les ovins

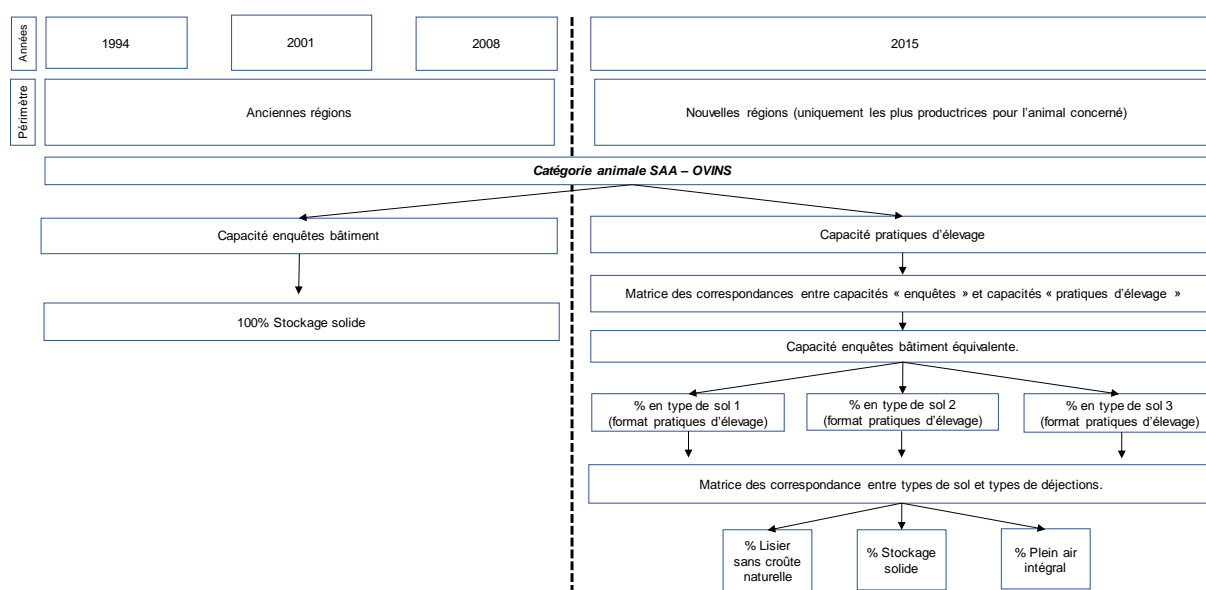
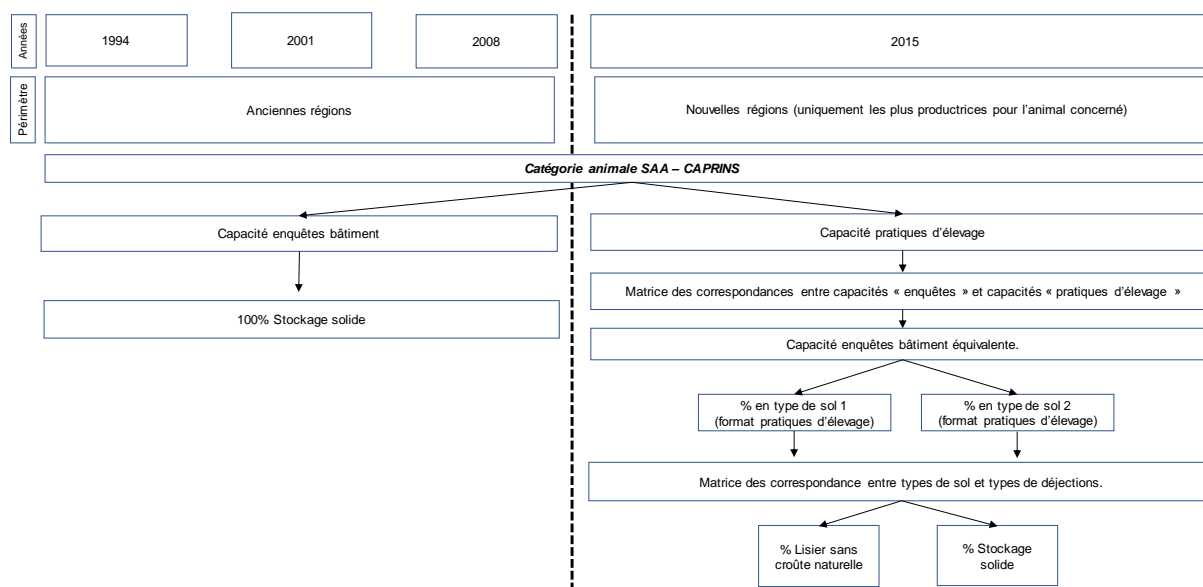


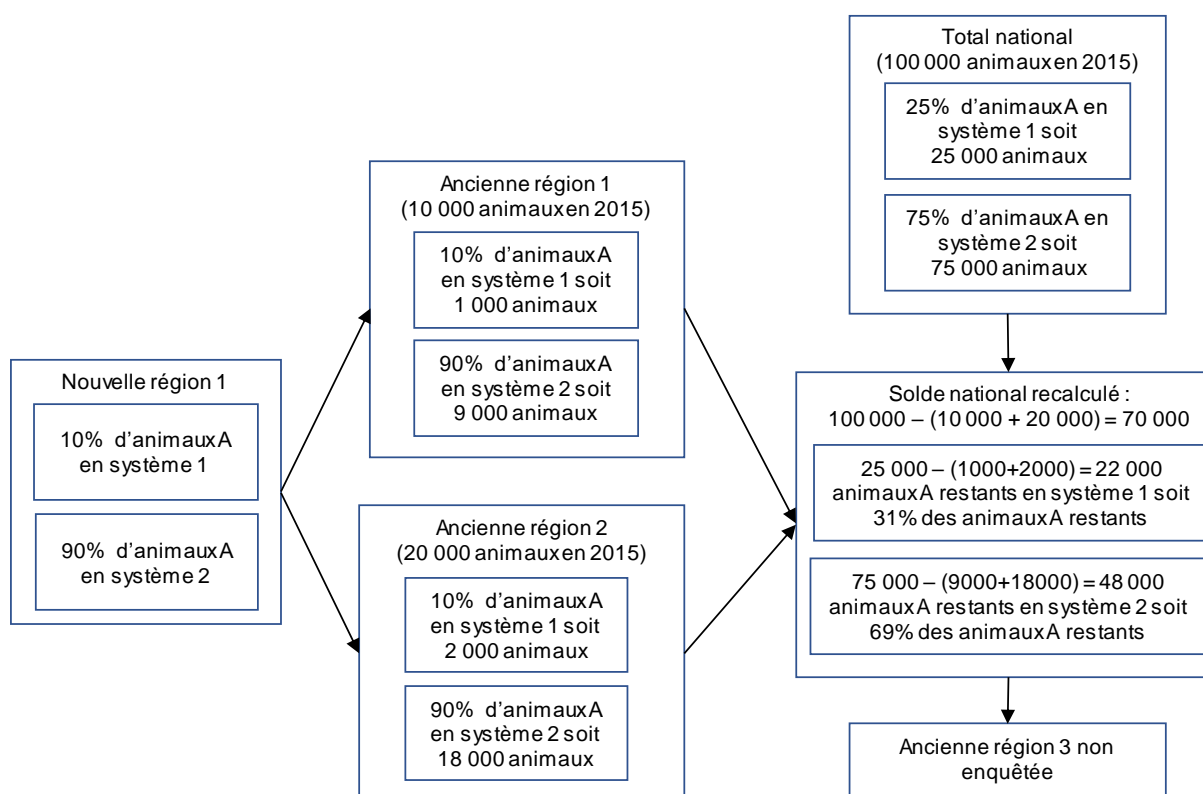
Figure 36 : Sources et retraitements des données d'enquêtes pour les caprins



A ces différents retraitements vient s'ajouter la complexité de la couverture géographique. En effet, comme mentionné plus haut, les résultats des enquêtes pratiques d'élevage sont restitués au niveau national et pour les principales nouvelles régions productrices. Pour compléter la couverture géographique de ces résultats, les retraitements suivants ont été apportés :

- Etape 1 : traitement des données pour les nouvelles régions enquêtées. La répartition des animaux par système de gestion des déjections est connue. Ces pourcentages de répartition pour les nouvelles régions, pouvant regrouper plusieurs anciennes régions, sont appliqués à l'ensemble des anciennes régions pertinentes.
- Etape 2 : recalcul du solde national. Les animaux répartis par système de gestion pour les régions connues sont soustraits des effectifs nationaux répartis par système de gestion.
- Etape 3 : recalcul des pourcentages de répartition pour les régions manquantes. Les pourcentages de répartition par système de déjection sont calculés à partir des effectifs recalculés à l'étape 2. Ces pourcentages sont appliqués pour les régions non enquêtées.

Figure 37 : Illustration fictive du retraitement des données effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage



Une fois ces différents retraitements effectués, on obtient bien pour les bovins, porcins, ovins et caprins, 4 données de répartition des animaux par système de gestion des déjections par ancienne région : 1994, 2001, 2008, 2015.

Ces données sont utilisées de la façon suivante sur la période :

Tableau 77 : Traitement des données sur les systèmes de gestion des déjections sur la période

		1990 - 1994	1995 - 2000	2001	2002 - 2007	2008	2009-2014	2015 - année en cours	
Bovins	% Plein air intégral	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Donnée issue du recensement 2020	
	% Systèmes autres que le plein-air intégral	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
Porcins	% Plein air intégral	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Données 2008	Données 2008	
	% Systèmes lisier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001 - 2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2008 (selon les sous-systèmes)	Données 2015 (selon les sous-systèmes)
	% Systèmes fumier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2008 (selon les sous-systèmes)	Données 2015 (selon les sous-systèmes)
Ovins	% Plein air intégral	0%	0%	0%	0%	0%	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
	% Systèmes lisier	0%	0%	0%	0%	0%	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
	% Systèmes fumier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
Caprins	% Systèmes lisier	0%	0%	0%	0%	0%	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	
	% Systèmes fumier	Données 1994	Interpolation linéaire 1994-2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008	Interpolation linéaire 2008-2015	Données 2015	

Temps de présence au bâtiment

Parmi les systèmes présentés plus haut figure le plein-air intégral. Pour ce système, le temps de présence au bâtiment est nul et l'ensemble des déjections produites est attribué au système « pâture/parcours ». Pour les autres systèmes, le temps de présence au bâtiment n'est pas forcément de 100%. Le pourcentage du temps passé en dehors des bâtiments pour ces systèmes doit être estimé et les déjections produites au cours de ce temps passé à l'extérieur viendront s'ajouter au système « pâture/parcours ».

- Pour les bovins et les ovins

Le temps passé en bâtiment a été estimé à l'aide des durées d'hébergement fournies dans les enquêtes bâtiment 2001 et 2008 [480]. L'enquête bâtiment 1994 ainsi que l'enquête pratiques d'élevage 2015 [980] ne contiennent pas cette information.

Ces durées de présence des animaux en bâtiment sont fournies en « jours temps plein » ce qui correspond au nombre de jours d'hébergement continu pendant la période hivernale. Le temps passé en bâtiment pour la traite pendant l'été et les périodes de transition sont donc exclues des durées d'hébergement fournies. Ainsi, pour les vaches laitières, 4h d'hébergement ont été rajoutées par jour non-hébergé afin de prendre en compte le temps passé en bâtiment pour la traite. Les périodes de transition (périodes de l'année où les bovins ne sortent que temporairement, surtout au printemps et à l'automne) ont été prises en compte grâce aux données fournies par l'observatoire de l'alimentation des vaches laitières [477].

Ces données sont utilisées de la manière suivante sur la période de 1990 à l'année en cours :

Tableau 78 : Traitement des données sur les temps d'hébergement sur la période

	1990 - 1994	1995 - 2000	2001	2002 - 2007	2008 – année en cours
Bovins	Données 2001	Données 2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008
Ovins	Données 2001	Données 2001	Données 2001	Interpolation linéaire 2001-2008	Données 2008

- Pour les porcins

Les enquêtes bâtiment ne fournissent pas de durées d'hébergement : les animaux gérés en bâtiment se voient attribuer 100% de leur temps au bâtiment. Seules les déjections des animaux en systèmes d'élevage plein air intégral (voir plus haut) seront attribuées au mode « pâture/parcours » intégralement.

- Pour les caprins

Les durées d'hébergement ont été fournies par l'Institut de l'Elevage [478], à partir des données des bases PMPOA 1 et 2. Ces données sont disponibles uniquement pour l'année 2007, mais le détail régional est connu. Faute d'autres données disponibles, les données 2007 sont considérées constantes dans le temps et utilisées pour toute la période.

Quantités de paille apportées

Pour les bovins et les porcins, des tables de correspondances réalisées par l'Institut de l'Elevage, le SSP (service statistique du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire) et l'Institut du porc ont permis de connaître les quantités de paille utilisées par mode de stabulation/type de sol provenant des enquêtes bâtiment. Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par capacité « enquête bâtiment » (voir plus haut), par type de logement, pour les bovins.

Tableau 79 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Bovins

Type de logement	Capacité enquête bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Stabulation (ou étable) entravée avec litière	Vaches laitières	2,5
	Vaches nourrices	2,5
	Bovins d'élevage	2
	Bovins d'engraissement	2
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation (ou étable) entravée sans litière	Vaches laitières	0
	Vaches nourrices	0
	Bovins d'élevage	0
	Bovins d'engraissement	0
	Veaux	0
	Autres	0
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, pente paillée	Vaches laitières	5
	Vaches nourrices	4,5
	Bovins d'élevage	4
	Bovins d'engraissement	4
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire d'exercice raclée, fumier	Vaches laitières	7,5
	Vaches nourrices	5,5
	Bovins d'élevage	4
	Bovins d'engraissement	4
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire d'exercice raclée, lisier	Vaches laitières	6
	Vaches nourrices	5
	Bovins d'élevage	3,5
	Bovins d'engraissement	3,5
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire d'exercice caillebotis (lisier)	Vaches laitières	6
	Vaches nourrices	5
	Bovins d'élevage	3,5
	Bovins d'engraissement	3,5
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, litière accumulée, aire paillée intégrale	Vaches laitières	9
	Vaches nourrices	7
	Bovins d'élevage	5
	Bovins d'engraissement	5
	Veaux	2
	Autres	2
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, logettes, aire d'exercice bétonnée, fumier	Vaches laitières	3
	Vaches nourrices	2,5
	Bovins d'élevage	2
	Bovins d'engraissement	2
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, logettes, aire d'exercice bétonnée, lisier	Vaches laitières	0,5
	Vaches nourrices	0,3
	Bovins d'élevage	0,2

Type de logement	Capacité enquête bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
	Bovins d'engraissement	0,2
	Veaux	0,5
	Autres	0,5
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte, logettes, aire d'exercice caillebotis	Vaches laitières	0,5
	Vaches nourrices	0,3
	Bovins d'élevage	0,2
	Bovins d'engraissement	0,2
	Veaux	0,5
	Autres	0,5
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, pente paillée, alimentation distribuée	Vaches laitières	5
	Vaches nourrices	4,5
	Bovins d'élevage	4
	Bovins d'engraissement	4
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, pente paillée, alimentation silo en libre-service	Vaches laitières	5
	Vaches nourrices	4,5
	Bovins d'élevage	4
	Bovins d'engraissement	4
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système fumier, alimentation distribuée	Vaches laitières	8,5
	Vaches nourrices	6,5
	Bovins d'élevage	5
	Bovins d'engraissement	5
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système fumier, alimentation silo en libre-service	Vaches laitières	7
	Vaches nourrices	6
	Bovins d'élevage	4,5
	Bovins d'engraissement	4,5
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système lisier, alimentation distribuée	Vaches laitières	6
	Vaches nourrices	5
	Bovins d'élevage	3,5
	Bovins d'engraissement	3,5
	Veaux	1
	Autres	1
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, litière accumulée, système lisier, alimentation silo en libre-service	Vaches laitières	9
	Vaches nourrices	7
	Bovins d'élevage	5
	Bovins d'engraissement	5
	Veaux	2
	Autres	2
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système fumier, alimentation distribuée	Vaches laitières	4
	Vaches nourrices	3,5
	Bovins d'élevage	3
	Bovins d'engraissement	3
	Veaux	1,5
	Autres	1,5

Type de logement	Capacité enquête bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système fumier, alimentation silo en libre-service	Vaches laitières	4
	Vaches nourrices	3,5
	Bovins d'élevage	3
	Bovins d'engraissement	3
	Veaux	1,5
	Autres	1,5
Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte, logettes, système lisier, alimentation distribuée	Vaches laitières	0,5
	Vaches nourrices	0,3
	Bovins d'élevage	0,2
	Bovins d'engraissement	0,2
	Veaux	0,5
	Autres	0,5
Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	Vaches laitières	0,5
	Vaches nourrices	0,3
	Bovins d'élevage	0,2
	Bovins d'engraissement	0,2
	Veaux	0,5
	Autres	0,5

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par capacité « enquête bâtiment » (voir plus haut), par type de logement, pour les porcins.

Tableau 80 : Quantités de paille à apporter par type de logement et par capacité - Porcins

Capacité bâtiment	enquête	Types de logement	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Truies en attente de saillie		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé	0,5
		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée)	1,7
Truies gestantes		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé	0,5
		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée)	1,7
Truies en maternité		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton ou légèrement paillé et raclé	2
		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sol béton (litière accumulée)	2
Porcs en post sevrage		Sol béton ou légèrement paillé et raclé	0,12
		Sol paillé (litière accumulée) sur paille ou sciure accumulée	0,3
Porcs en engraissement ou pré-engraissement		Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	0,3
		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sur paille ou sciure accumulée	1,9
Autres porcs		Bâtiment fermé (entièrement couvert), Sol béton (légèrement paillé ou non) raclé	0,3
		Bâtiment fermé (entièrement couvert), sur paille ou sciure accumulée	1

Les quantités de paille pour les bovins et les porcins étant attribuées par mode de logement et capacité, elles sont utilisées sur la période de la même manière que celles relatives à la répartition par systèmes de gestion des déjections (voir Tableau 77).

Pour les caprins et les ovins, les quantités de pailles utilisées ont été fournies par l'Institut de l'Elevage et le SSP. Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par catégorie animale, pour les ovins.

Tableau 81 : Besoins en paille par catégorie animale - Ovins

Catégories d'animaux	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Brebis, agneaux non sevrés et béliers	1,6
Agnelles	0,75
Agneaux	0,15

Dans la SAA, les béliers sont comptabilisés avec les agneaux. Un retraitement a été effectué pour pondérer les apports de paille de cette catégorie mixte, au prorata des effectifs différenciés (béliers/agneaux) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020. Le choix a été fait de moyenner les proratas pour ces deux années afin d'obtenir une pondération constante sur la période. Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

Tableau 82 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Ovins

Capacités enquêtes bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Brebis laitières	1,60
Autres animaux d'élevage laitiers	0,75
Brebis viandes	1,60
Autres animaux d'élevage viandes	0,75
Agneaux en engraissement	0,28

Le tableau ci-dessous présente les quantités de paille à apporter par jour en kg, par catégorie animale, pour les caprins.

Tableau 83 : Besoins en paille par catégorie animale - Caprins

Catégories d'animaux	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Chèvres et boucs	1,5
Nurserie	0,25
Chevrettes	0,75
Chevreaux	0,25

Pour assurer la cohérence avec les capacités des enquêtes bâtiment et la statistique agricole, les retraitements suivants ont été effectués :

- Pour les chèvres : la correspondance est directe,
- Pour les chevrettes : on considère que les chevrettes passent 6% de leur vie en nurserie, d'après les données tirées d'une publication de l'IDELE [982]. La pondération est alors faite entre les apports en nurserie et les apports pour les chevrettes.
- Pour les autres caprins (y compris boucs) : la pondération est faite entre les boucs et les chevreaux au prorata des effectifs différenciés (boucs/chevreaux) fournis dans Vermorel et al. [362] pour l'année 2007 et dans le recensement agricole [1249] pour l'année 2020. Le choix a été fait de moyenner les proratas pour ces deux années afin d'obtenir une pondération constante sur la période.

Les quantités de paille résultantes, exprimées par capacité des enquêtes bâtiment, sont les suivantes :

Tableau 84 : Besoins en paille par capacité enquêtes bâtiment - Caprins

Capacités enquêtes bâtiment	Besoin en paille par animal par jour (en kg)
Chèvres	1,50
Autres animaux d'élevage	0,72
Chevreaux en engraissement	0,66

Les quantités de paille pour les ovins et les caprins étant attribuées par capacité, elles sont utilisées sur la période de la même manière que celles relatives à la répartition par systèmes de gestion des déjections (voir Tableau 77).

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les équins// Annexe du NID et de l'IIR

Temps de présence au bâtiment

Il a été considéré que les équins passent en moyenne 5 mois en bâtiment, sur la base d'un rapport sur les effluents animaux paru en 2002 [476]. Faute d'autres données disponibles, cette donnée est considérée constante dans le temps et utilisée pour toute la période.

Mode de gestion des déjections

Les systèmes lisiers n'existent pas en France, donc 100% des systèmes sont considérés en fumier.

Quantités de paille apportées

Pour les équins, les quantités de paille journalières retenues proviennent d'EMEP/EEA 2023 [1338].

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les volailles// Annexe du NID et de l'IIR

Temps de présence au bâtiment

Les temps d'hébergement sont déduits des facteurs d'excrétion azotée des documents Corpen (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement), qui distinguent la part azotée au parcours de celle excrétée en bâtiment. Il existe trois versions du Corpen pour les volailles : 1996 [503], 2006 [471] et la mise à jour de 2012 [504]. Ces guides fournissent les parts d'excrétions au parcours pour respectivement 40, 78 et 80 catégories de volailles, alors que la SAA ne compte que 10 catégories. Ainsi, pour calculer les parts d'excrétions au parcours à partir du Corpen, il faut connaître les effectifs pour chaque catégorie Corpen, puis calculer un facteur d'émission pondéré pour les 10 catégories de la SAA. Pour cela, les effectifs nationaux fournis pour 46 catégories de volailles par les enquêtes bâtiments 2008 [480] ont été utilisés, en faisant l'hypothèse, faute de données supplémentaires, que les répartitions entre les 46 populations de volailles sont constantes entre 1996 et 2012. Les catégories de volailles et les périmètres d'étude ayant variés entre les versions, certaines données aberrantes ont été corrigées par une interpolation entre les deux valeurs de 1996 et 2012. En 2022, l'ITAVI a mis à jour les facteurs d'excrétion azotée de 82 catégories de volailles sur la base de la nomenclature Corpen [1250]. En croisant ces nouvelles données avec les effectifs par catégorie détaillée du recensement agricole [1249], nous estimons une mise à jour de l'excrétion azotée des volailles de l'inventaire ainsi que la part au parcours à partir de 2020.

Les temps d'hébergement utilisés sur la période de 1990 à l'année en cours sont les suivants :

- de 1990 à 1996 : les données utilisées sont celles de 1996 ;
- de 1997 à 2005 : interpolation linéaire entre les données de 1996 et celles de 2006 ;
- en 2006 : les données utilisées sont celles de 2006 ;
- de 2007 à 2011 : interpolation linéaire entre les données de 2006 et celles de 2012 ;
- de 2012 : les données utilisées sont celles de 2012 ;

- 2013 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2012 et celles de 2020 ;
- 2020 à dernière année d'inventaire : les données utilisées sont celles de 2020 ;

Mode de gestion des déjections

Des parts de fumier et de lisier ont été affectées à chaque catégorie animale. Ces correspondances sont très simples puisque généralement, une catégorie animale correspond à un effluent. En effet, hormis pour les canards et les oies, toutes les volailles ont été allouées à des systèmes sur fumier.

Pour les canards et les oies, la répartition des effluents entre système fumier et lisier est effectuée à partir des documents du Corpen qui fournissent des excréments azotés avec une part de lisier et une part de fumier déterminées, pour les années 1996, 2006 et 2012. Ces données sont interpolées de la même manière que les temps d'hébergement (cf. ci-dessus).

Actuellement, les systèmes « fientes » (très fréquents en poules pondeuses) sont assimilés aux systèmes basés sur le fumier, car pour l'instant, aucun facteur d'émission spécifique aux systèmes fiente n'est disponible dans les lignes directrices.

Quantités de paille apportées

Pour les volailles, les quantités de paille apportées ne sont pas comptabilisées.

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les lapines// Annexe du NID et de l'IIR

Temps de présence au bâtiment

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760] mais elle ne fournit pas de durées d'hébergement : les animaux gérés en bâtiment se voient attribuer 100% de leur temps au bâtiment.

Mode de gestion des déjections

Pour les lapines reproductrices, une seule enquête a été réalisée en 1994 [760]. La répartition entre fumier et lisier est maintenue constante, égale à 1994, pour toute la période.

Quantités de paille apportées

Ces quantités ne sont pas comptabilisées faute de données disponibles.

Systèmes de gestion des déjections animales – Traitement des données pour les cervidés d'élevage// Annexe du NID et de l'IIR

En Nouvelle-Calédonie, l'élevage des cervidés est considéré comme extensif. Faute de données plus précises, l'hypothèse est faite d'une gestion à 100% à la pâture.

A.2. Fermentation entérique des vaches laitières et estimation du SV

Les émissions de CH₄ entérique des vaches laitières sont estimées selon une méthode nationale produite par l'Inrae et publiée dans la revue « Journal of Environmental Management » (Eugene, et al (2019) [986]).

Cette méthode mobilise la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI), à partir de laquelle il est possible d'estimer les émissions de CH₄ entérique selon l'équation suivante :

$$EF = MODI \times FCM_e \times 365 / 1000$$

Avec : *EF* : facteur d'émission de CH₄ entérique (kg CH₄/tête/an) ;
MODI : matière organique digestible ingérée (kg/tête/an) ;
FCMe : facteur de conversion en méthane entérique (g CH₄/kg MODI)

Cette équation est utilisée au niveau des anciennes régions, en se basant sur des vaches « types » et en mobilisant différentes sources d'informations présentées au fil de cette section, qui détaille également les étapes de la modélisation mise en place.

Echelle d'application du modèle – géographique et temporel

L'ensemble des calculs est effectué au niveau des anciennes régions. Pour chaque ancienne région, le troupeau régional est modélisé à partir de 4 vaches considérées « type » : primipare avec mise bas septembre, primipare avec mise bas mai, multipare avec mise bas septembre, multipare avec mise bas mai. La pondération entre ces vaches types est fixe pour l'ensemble des régions et l'ensemble de la période : on considère que 30% des vaches sont primipares et qu'un tiers des vaches mettent bas en mai.

Les émissions sont à rapporter sur un pas de temps annuel. Cependant, la plupart des vaches laitières en France fonctionnent selon des cycles temporels supérieurs à un an : l'intervalle vêlage-vêlage classiquement rencontré est d'environ 400 jours. Par simplification pour la modélisation, ce cycle de 400 jours est adapté ici pour correspondre à la temporalité demandée pour le rapportage, à savoir 365 jours. Ainsi, a été considéré pour chacune des vaches type un cycle de 365 jours à la fin duquel intervient le vêlage. Ce cycle est découpé en 305 jours de lactation et 60 jours de tarissement, avec 37 semaines de gestation. Le pas de temps considéré pour le calcul est la semaine.

Caractéristiques des animaux

Pour estimer les besoins des vaches laitières et/ou les émissions de CH₄ entérique, deux principaux paramètres relatifs aux animaux sont à considérer : le poids vif et le rendement laitier.

Pour le poids vif : une grille de correspondance poids/rendement laitier selon la parité a été établie sur la base des hypothèses formulées dans le projet MONDFERENT [508][509]. Les hypothèses suivantes sont retenues :

Parité	Rendement lait (kg/tête)	Poids vif (kg/tête)	Parité	Rendement lait (kg/tête)	Poids vif (kg/tête)
Primipare	1 333	510	Multipare	2 250	565
Primipare	2 333	525	Multipare	3 000	580
Primipare	3 000	535	Multipare	4 000	600
Primipare	4 000	550	Multipare	5 000	620
Primipare	5 000	565	Multipare	6 000	640
Primipare	6 000	580	Multipare	7 000	660
Primipare	7 000	595	Multipare	8 000	680
Primipare	8 000	610	Multipare	9 000	700
Primipare	9 000	625	Multipare	10 000	720

Primipare	10 000	640

Multipare	11 000	740
Multipare	12 000	760

Pour le rendement laitier : la statistique agricole annuelle (SAA) fournit la production de lait annuelle par ancienne région [410]. D'après des échanges avec l'Inrae, cette statistique représenterait environ 92% de la production réelle de lait (n'incluant pas le lait tété par les veaux et le lait non vendu). La production réelle de lait est estimée en divisant la production totale issue de la SAA par 0,92. Cette production réelle est ensuite répartie entre les différents cas types en considérant un rendement des multipares à 1,35 fois celui des primipares, hypothèse également issue d'échanges avec l'Inrae. La période de mise bas n'est pas jugée impactante pour le rendement laitier.

Répartition entre bâtiment et pâture

Par simplification, le modèle établi ici fixe les mois passés au pâturage pour l'ensemble des régions et pour l'ensemble de la période. Les vaches sont considérées à la pâture de mi-mars à fin octobre. Cette attribution entre bâtiment et pâture est décorrélée de l'estimation du temps passé à la pâture présentée dans la section générale. Il s'agit ici de simplifier les hypothèses, cette attribution impactant uniquement l'index d'activité présenté plus bas pour le calcul des besoins d'entretien.

Estimation des besoins

L'estimation des besoins des vaches laitières est faite selon la méthode présentée dans l'ouvrage Inrae « Alimentation des ruminants » de 2018 [1315]. Sont ainsi estimés les besoins pour l'entretien, la croissance, la production de lait et la gestation, tels que définis dans les équations suivantes. Ces besoins sont estimés en UFL (Unité Fourragère Lait) par jour.

$$\text{Besoin pour l'entretien} = 0,0536 \times PV^{0,75} \times I_{act}$$

Avec : PV : poids vif (kg/tête) ;
 I_{act} : index d'activité.

L'index d'activité retenu pour les mois passés à la pâture est de 1,1 (pâturage de pleine) et de 0,975 pour les mois passés au bâtiment (moyenne stabulation libre et stabulation entravée).

$$\text{Besoin pour la croissance} = 3,14 - (0,077 \times \text{Age})$$

Avec : Age exprimé en mois.

Ce besoin pour la croissance est uniquement estimé pour les primipares que l'on considère comme démarrant le cycle au moment de leur premier vêlage, en faisant l'hypothèse d'un âge moyen à 27,5 mois.

$$\text{Besoin pour la production de lait} = PL \times [0,42 + [0,0053 \times (TB - 40)] + [0,0032 \times (TP - 31)]$$

Avec : PL : production de lait (kg/jour) ;
 TB : taux butyreux (g/kg) ;
 TP : taux protéique (g/kg)

La production de lait journalière est estimée à partir de la production annuelle de la vache type (voir section Caractéristique des animaux) répartie par semaine de lactation selon les courbes proposées dans l'ouvrage Inra [1315]. Pour rappel, on considère ici une lactation sur 305 jours. Les taux butyreux et protéiques sont fixés respectivement à 40 et 32 pour l'ensemble des régions et de la période.

$$\text{Besoin pour la gestation} = 0,000695 \times PV_{veau} \times \exp^{(0,116 \times SG)}$$

Avec : PV_{veau} : poids du veau attendu à la naissance (kg) ;
 SG : semaine de gestation

Le poids du veau attendu à la naissance est fixé à 45 kg pour l'ensemble des régions et de la période.

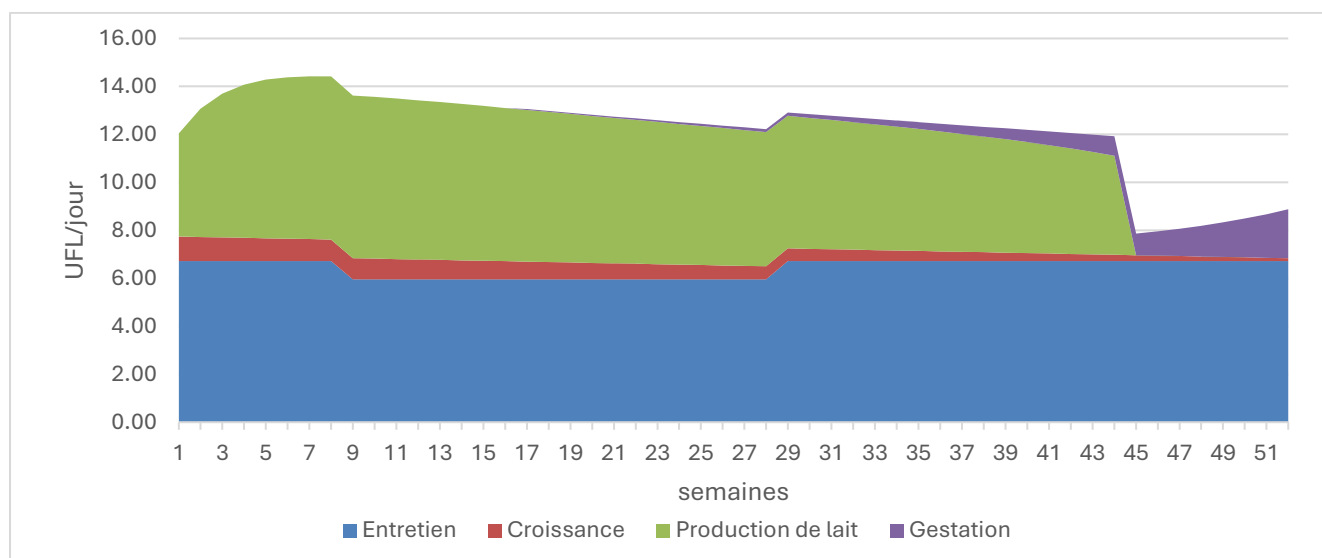


Figure 38 : Exemple – Evolution des besoins journaliers en UFL par semaine d'une primipare mise bas septembre sur l'année, avec un rendement laitier d'environ 6000 kg lait/an.

Ces besoins, exprimés en UFL, sont ensuite convertis en mégajoules (MJ) de la façon suivante :

Besoins totaux (UFL) = Besoin entretien + Besoin croissance + Besoin production de lait + Besoin gestation

Besoins (MJ) = Besoins totaux (UFL) x 1760 (kcal/UFL) x 4,185 (kJ/kcal) / 1000

Prise en compte des rations

En 2018, le Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (Cniel) a publié un document [1316] dans lequel sont présentées les compositions moyennes des rations régionales des vaches laitières en 2017 selon la saison, établies à partir des données de l'Observatoire de l'alimentation des vaches laitières françaises, à partir d'un réseau suivi de 14 840 élevages.

Le graphique suivant reprend ces données pour la moyenne France :

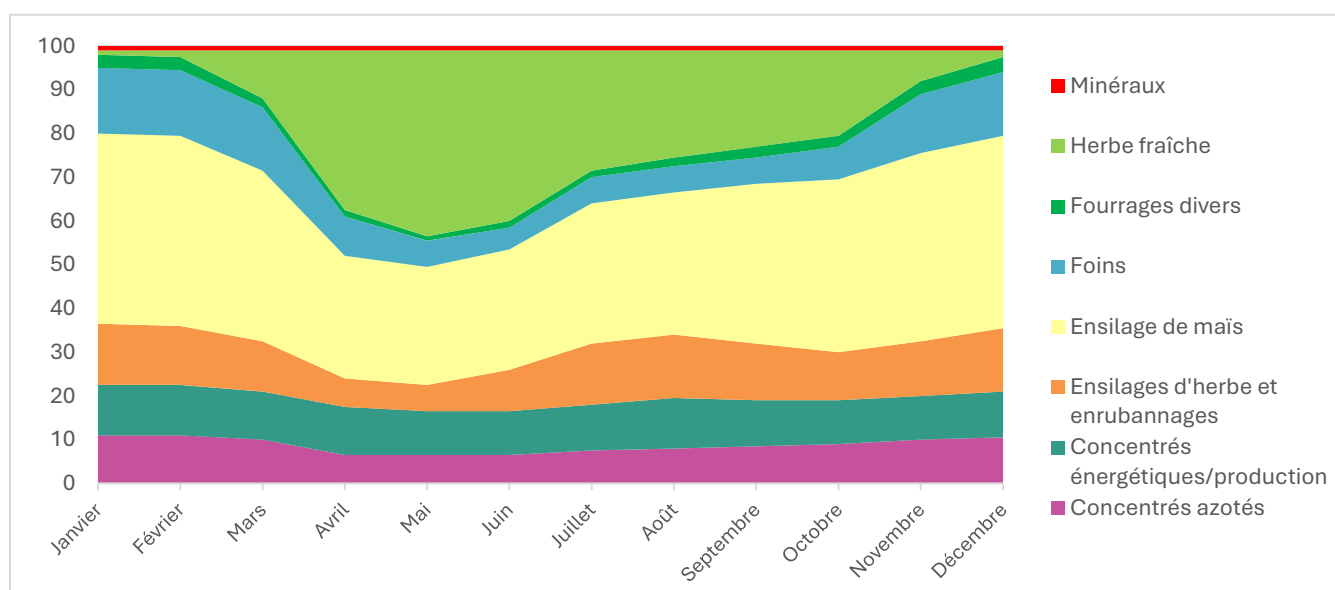


Figure 39 : Composition de la ration moyenne vache laitière France sur l'année

Le document du Cniel présente des rations moyennes pour les grandes régions suivantes : Auvergne-Limousin, Charentes-Poitou, Centre, Grand-Est, Grand-Ouest, Nord-Picardie, Normandie, Sud-Ouest, Sud-Est. Une carte est présentée dans le

document pour mieux identifier les zones concernées. Une moyenne française est également proposée (voir ci-dessus).

L'attribution suivante de ces rations a été faite au niveau des anciennes régions :

Tableau 85 : Attribution des rations Cniel par anciennes régions

Région (format anciennes régions)	Attribution ration
Île-de-France	Grand-Est
Champagne-Ardenne	Grand-Est
Picardie	Nord-Picardie
Haute-Normandie	Normandie
Centre	Centre
Basse-Normandie	Normandie
Bourgogne	Grand-Est
Nord-Pas-de-Calais	Nord-Picardie
Lorraine	Grand-Est
Alsace	Grand-Est
Franche-Comté	Grand-Est
Pays de la Loire	Grand-Ouest
Bretagne	Grand-Ouest
Poitou-Charentes	Charentes Poitou
Aquitaine	Sud-Ouest
Midi-Pyrénées	Sud-Ouest
Limousin	Auvergne-Limousin
Rhône-Alpes	Sud-Est
Auvergne	Auvergne-Limousin
Languedoc-Roussillon	Sud-Ouest
Provence-Alpes-Côte d'Azur	Sud-Est
Corse	Moyenne France

Caractérisation des aliments

Les rations précédemment mentionnées font apparaître divers grands ensembles d'aliments qu'il s'agit ensuite de caractériser : teneur en énergie, matière organique, digestibilité, Pour cela, les tables Inra 2018 situées à la fin de l'ouvrage [1315] ont été mobilisées.

Pour chaque grand ensemble intervenant dans la ration (herbe fraîche, foin, concentré, ...), un certain nombre d'aliments listés dans ces tables a été retenu pour établir une valeur moyenne pour chaque ensemble des variables recherchées. Par exemple, pour l'ensemble « foin », ce sont les valeurs de 25 types de foin qui ont été moyennées.

Le tableau suivant présente les valeurs retenues par grand ensemble pour les principales variables d'intérêt :

Tableau 86 : Teneurs moyennes retenues des aliments composant les rations

Aliments de la ration	UFL (UFL/kg MS)	dMO (%)	MO (g/kg MS)	dE (%)	MAT (g/kg MS)
Herbe fraîche – qualité ++ (avril, mai, juin)	1.01	78.00	884.57	74.57	171.71
Herbe fraîche (autres mois)	0.94	72.75	903.75	69.55	159.25
Fourrages divers	0.67	57.62	911.40	54.18	93.40
Foin	0.74	62.00	907.56	58.52	117.52
Ensilage de maïs	0.94	71.76	952.80	68.98	78.40
Ensilages d'herbe et enrubannages	0.84	67.69	894.95	63.75	134.95
Concentrés énergétiques/production	1.19	85.50	980.50	83.00	109.50
Concentrés azotés	1.12	81.17	928.50	81.00	454.33

dMO : coefficient apparent de la digestibilité de la matière organique ; MO : matière organique ; dE : coefficient apparent de la digestibilité de l'énergie ; MAT : Matières azotées totales (N x 6.25).

Calcul de la MSI et de la MODI avec prise en compte des interactions digestives

Le principe de la méthode consiste à considérer que les besoins des animaux sont bien couverts par les rations apportées. On effectue ainsi une première estimation de la quantité de Matière Sèche Ingérée (MSI) en divisant les besoins précédemment estimés (UFL/jour) par la teneur en UFL de la ration (UFL/kg MS).

Cependant, cette estimation ne permet pas de prendre en compte les interactions digestives. Ces interactions digestives vont réduire l'énergie apportée par la ration : pour s'assurer une couverture totale des besoins, l'énergie apportée par la ration estimée précédemment doit être révisée pour intégrer cette énergie liée aux interactions. Une prise en compte simplifiée de ces interactions est faite ici, à partir du système d'équations suivant produit par l'Inrae [1330] :

$$\begin{cases} MSI = \frac{(Besoins + Energie_{interaction})}{UFL_{ration}} \\ Energie_{interaction} = -0.764 + 1.438 * PC - 0.127 * NI + 0.214 * NI^2 \\ NI = \frac{MSI * 100}{PV} \end{cases}$$

Avec :
MSI : matière sèche ingérée (kg MS/jour) ;
Besoins : besoins totaux précédemment estimés (UFL/jour) ;
Energie_{interaction} : énergie des interactions digestives (UFL/jour) ;
UFL_{ration} : teneur en énergie de la ration (UFL/kg MS) ;
NI : niveau d'ingestion (MSI/100kgPV) ;
PC : part de concentrés (%) ;
PV : poids vif (kg)

Les interactions digestives modifient la digestibilité de la ration, effet estimé de manière simplifiée à partir des équations suivantes établies par l'Inrae [1330] :

$$\begin{aligned} MODI \text{ (kg/jour)} &= (MSI \times MO_{ration} / 1000 \times dMO_{ration} - MODI_{interaction}) \\ MODI_{interaction} \text{ (kg/jour)} &= -0.756 + 0.945 * PC - 0.024 * NI + 0.161 * NI^2 \end{aligned}$$

Avec :
MSI : matière sèche ingérée (kg MS/jour) ;
MO_{ration} : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS) ;
dMO_{ration} : coefficient apparent de digestibilité de la matière organique (%) ;
NI : niveau d'ingestion (MSI/100kgPV) ;
PC : part de concentrés (%)

Facteur de conversion en méthane entérique

Le facteur de conversion en méthane est calculé selon l'équation suivante :

$$FCMe = 45.42 - 6.66 \times NI + 0.75 \times NI^2 + 19.65 \times PC - 35.0 \times PC^2 - 2.69 \times NI \times PC$$

Avec :
FCMe : facteur de conversion en méthane entérique (g CH₄/kg MODI) ;
NI : niveau d'ingestion (kg matière sèche ingérée / jour / % poids vif) ;
PC : part de concentrés dans la ration (%).

Cette équation générique intra-expérimentale prend en compte les effets des interactions digestives sur le CH₄ et la MODI. Elle est issue d'une large base de données (450 éléments de données) regroupant des résultats expérimentaux d'émission de CH₄ et de digestibilité, mesurés dans des chambres calorimétriques avec des bovins et des petits ruminants nourris avec une grande variété de régimes, excluant les régimes supplémentés en lipides ou en additifs, pour lesquels l'émission de CH₄ dépend de facteurs autres que la digestibilité. Dans cette équation, le niveau d'ingestion utilisé prend en compte les interactions digestives comme exposé précédemment.

Calcul du facteur d'émission de CH₄ entérique

Le facteur d'émission est estimé selon l'équation suivante :

$$EF = MODI \times FCMe \times 365 / 1000$$

Dans cette équation, la MODI utilisée est celle corrigée pour prendre en compte les interactions digestives.

Estimation de l'excrétion carbonée (SV)

Les émissions de CH₄ liées à la gestion des déjections sont estimées à partir de l'excrétion carbonée des animaux, qui correspond au paramètre SV (solides volatiles). Ce paramètre SV est estimé de la façon suivante :

$$SV = SV \text{ fèces} + SV \text{ urines}$$

Le SV fèces correspond, dans la méthode Inrae appliquée ici, à la Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI). La MONDI est estimée selon l'équation suivante :

$$SV \text{ fèces} = MONDI = MOI - MODI$$

$$MOI = MSI \times MO_{\text{ration}} / 1000$$

Avec : *MOI* : matière organique ingérée (kg/jour) ;
MODI : matière organique digestible ingérée corrigée des interactions digestives (kg/jour) ;
MSI : matière sèche ingérée corrigée des interactions digestives (kg/jour) ;
MO_{ration} : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS).

Le paramètre SV urine est estimé selon l'équation proposée dans le Giec [1229], à partir de l'énergie brute ingérée :

$$SV \text{ urine} = (0,04 \times EB) \times (MO_{\text{ration}} / 1000 / 18,45).$$

$$EB = MSI \times EB_{\text{ration}} \times 4,185 \text{ (kJ/kcal)} / 1000$$

Avec : *EB* : énergie brute ingérée (MJ/jour) ;
MO_{ration} : teneur en matière organique de la ration (g/kg MS) ;
EB_{ration} : teneur en énergie brute de la ration (kcal/kg MS)

A.3. Fermentation entérique des autres bovins et estimation du SV

Pour les bovins, les facteurs d'émissions sont tirés du projet Mondferent I conduit par l'Inrae [508][509]. Plusieurs catégories d'autres bovins ont été étudiées, considérées comme représentatives des situations d'élevages en France. A chaque catégorie est associée une race, une masse moyenne, un rendement laitier le cas échéant, ainsi que des besoins énergétiques.

Le tableau ci-dessous répertorie les poids vifs moyens par catégorie bovine fine.

Tableau 87 : Poids vif moyen par catégorie bovine fine

		Poids vif moyen (kg/tête)
Autres bovins	Vaches nourrices	655
	Génisses laitières de renouvellement de plus de 2 ans	583
	Génisses nourrices de renouvellement de plus de 2 ans	576
	Génisses de boucherie de plus de 2 ans	606
	Mâles de type laitier de plus de 2 ans	652
	Mâles de type viande de plus de 2 ans	652
	Génisses laitières de renouvellement de 1 à 2 ans	422
	Génisses nourrices de renouvellement de 1 à 2 ans	432
	Génisses de boucherie de 1 à 2 ans	445
	Mâles de type laitier de 1 à 2 ans	486
	Mâles de type viande de 1 à 2 ans	517
	Veaux de boucherie	168
	Autres femelles de moins de 1 an	205
	Autres mâles de moins de 1 an	205

La méthodologie proposée permet d'estimer les émissions de CH₄ entérique par l'équation de Sauvant et al. 2011 [510] à partir de la Matière Organique Digestible Ingérée (MODI) :

$$\text{CH}_4 \text{ (g/kg PV/jour)} = 0,083 + 0,025 \times \text{MODI (g/kg PV/jour)}$$

Avec : PV = Poids vif moyen sur la période concernée (kg)

La MODI est calculée à partir de l'Energie Métabolisable Ingérée, selon l'équation suivante :

$$\text{MODI (g)} = \text{EMI (kcal)} / (\text{EMI/MODI}) \text{ (kcal/g)}$$

Avec : EMI/MODI = Ratio énergie métabolisable sur matière organique digestible (kcal/g).

Le ratio EMI/MODI est légèrement variable selon les types de productions et le mode d'alimentation. Il a pu être déterminé en utilisant des données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] (qualité de fourrage, niveaux d'ingestion, concentrés et lipides), par grand type de production.

Zoom sur l'alimentation des bovins – Extrait du document CIV [657]

« Pour actualiser les connaissances sur le sujet, l'Institut de l'Élevage a réalisé une étude pour le CIV (Centre d'Information des Viandes). Les consommations de fourrages et d'aliments concentrés de plus 660 exploitations spécialisées en bovin lait et bovin viande ont été analysées.

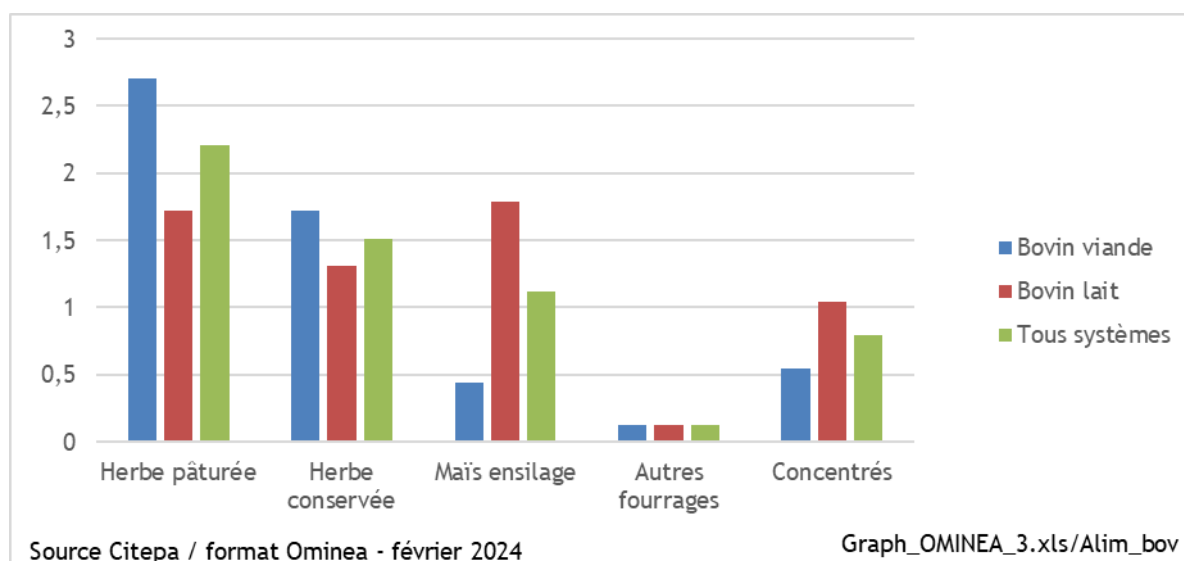
Ces fermes sont représentatives de la diversité des systèmes d'élevages français en lien notamment avec les différents types de production et la variété des territoires valorisés. Elles sont suivies annuellement dans le cadre du dispositif Réseaux d'Élevage conduit en partenariat avec les Chambres d'Agriculture et les EDE (Etablissement Départemental de l'Élevage). Les données qui en sont issues fournissent des éléments relativement précis sur les pratiques d'élevage et l'alimentation des troupeaux.

Les quantités de fourrages et d'aliments concentrés, ramenées à l'UGB (Unité Gros Bovin) ont été calculées pour chaque exploitation. Les moyennes ont été faites par grands types de systèmes de production. Les résultats ont ensuite été extrapolés au niveau français en calculant une ration moyenne nationale à partir des rations moyennes des différents systèmes, pondérés selon leur représentativité au niveau national.»

Ainsi, les rations présentées dans ce document sont bien jugées représentatives des élevages français.

Les rations moyennes obtenues par grand système sont les suivantes :

Figure 40 : tMS/UGB/an par grand système (CIV, 2012)



Ces rations sont ensuite combinées avec les caractéristiques moyennes de ces différents aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658].

A noter : les valeurs présentées ci-dessous sont bien des moyennes d'un ensemble d'éléments (par exemple, pour l'herbe pâturée, 23 fourrages verts sont moyennés).

Tableau 88 : Caractéristiques retenues par grande catégorie d'aliment

	UEM (UE/kg)	UEL (UE/kg)	UEB (UE/kg)	UFL (UFL/k g)	UFV (UFV/k g)	MO	dMO	EB (kj)	EM(kj)	MOD (g/kg)	EM/MO D
Fourrages (pâturage)	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	897,0	72,2	18 116	10 332	647,0	3,81
Ensilage d'herbes	1,5	1,1	1,2	0,7	0,6	907,6	62,0	18 230	8 639	562,9	3,66
Foins	1,5	1,1	1,2	0,8	0,7	895,0	67,8	18 608	9 614	606,7	3,78
Paille	2,4	1,6	1,8	0,5	0,3	916,7	44,7	17 963	5 905	409,3	3,45
Ensilage de maïs	1,3	1,0	1,1	0,9	0,8	952,5	71,7	18 615	10 683	682,9	3,74
Céréales	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2	980,0	87,0	18 321	12 977	852,7	3,64
Sous-produits	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	930,2	78,7	18 715	11 697	731,4	3,82
Tourteaux	0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	926,9	82,3	19 461	12 074	763,2	3,78

A noter : la MODI est ensuite corrigée pour tenir compte des interactions digestives liées au pourcentage de concentrés de la ration.

$$\text{MODI corrigée (g)} = \text{MODI (g)} + 1,2 - 0,0226 \times \text{PCO}$$

Avec : $\text{PCO} = \text{Proportion de Concentré dans la ration}$.

L'EMI est quant à elle estimée à partir de l'Energie Nette Ingérée, divisée par le facteur de conversion « k », associé à la perte d'énergie sous forme de chaleur. Il est considéré constant par type de production.

$$\text{EMI (kcal)} = \text{ENI (kcal)} / k$$

Avec : $k = \text{Rendement moyen d'utilisation de l'EMI de la ration}$

Enfin, l'ENI est estimée à partir des besoins énergétiques des animaux (dépendant entre autres du type de production : lait ou viande), calculés en UF (Unité Fourragère) et convertis en ENI selon les équations suivantes [658] :

$$\text{EN}_{\text{lait}} (\text{kcal}) = \text{UFL} (\text{kcal}) \times 1\,700$$

$$\text{EN}_{\text{viande}} (\text{kcal}) = \text{UFV} (\text{kcal}) \times 1\,820$$

Avec : $\text{UFL} = \text{Unité Fourragère Lait}$, $\text{UFV} = \text{Unité Fourragère Viande}$

Les catégories de bovins étudiées permettent d'obtenir une vision jugée représentative de l'élevage français.

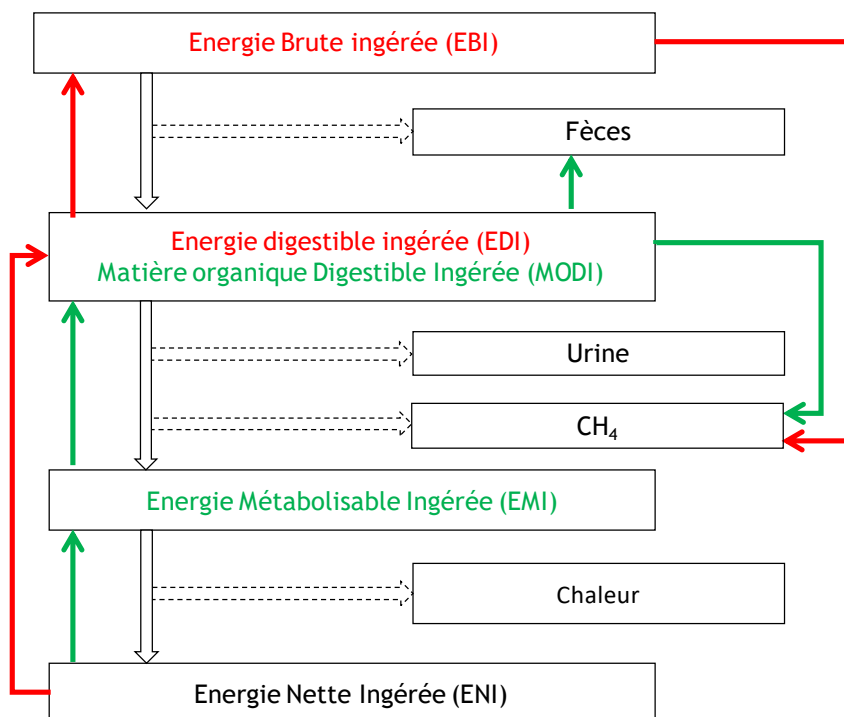
Les données de rationnement moyen à l'échelle nationale [657] combinées avec les caractéristiques moyennes des aliments tirées des tables rouges de l'Inrae [658], permettent également de calculer les quantités de Matière Organique Non Digestible Ingérée (MONDI), grâce à un ratio MONDI/MODI calculé par type de production (lait/viande) et par mode d'alimentation (auge/pâturage). Ce ratio MONDI/MODI est appliqué à la MODI pour obtenir la MONDI. La MONDI ainsi calculée correspond aux fèces (MONDI fèces), et ne tient pas compte de la MONDI des urines (MONDI urines).

Pour le calcul des émissions de méthane issues de la gestion des déjections (3B), le Giec préconise l'utilisation du paramètre Solides Volatiles (SV), évalué à partir de l'énergie brute, de la digestibilité de la ration, de la teneur en cendre des fumiers (part non volatile) et de l'énergie perdue dans les urines. La méthode MONDFERENT I diffère également ici de celle du Giec car elle est fondée sur l'utilisation des MONDI et non des énergies. Dans la méthodologie MONDFERENT I, l'hypothèse est faite que la matière organique contenue dans les urines n'émettra que très peu de CH₄ : le SV urine est alors négligé dans les calculs. Des recherches complémentaires sont à effectuer pour estimer les potentiels méthanogènes de la matière organique contenue dans les urines. On obtient donc :

$$\text{SV} = \text{SV}_{\text{fèces}} + \text{SV}_{\text{urine}}, \text{ avec } \text{SV}_{\text{fèces}} = \text{MONDI}_{\text{fèces}} \text{ et } \text{SV}_{\text{urine}} = 0$$

Le schéma suivant illustre les principes de cette méthode (en vert), ainsi que celle proposée par le Giec (en rouge).

Figure 41 : Schéma comparatif de la méthode de la méthode MONDFERENT I (vert) avec la méthode Giec 2019 (rouge)



Les facteurs d'émission de méthane entérique calculés sont constants dans le temps pour les 14 catégories animales d'autres bovins. Ces facteurs par sous-catégorie sont listés plus bas (section « Récapitulatif - Facteurs d'émission de CH₄ entérique et paramètres associés ») et une comparaison a été effectuée avec les valeurs recalculées par la méthode Giec 2019 [1229] (voir plus bas). Cependant, du fait de la variation annuelle des effectifs de ces catégories animales, le facteur d'émission de méthane entérique pour la catégorie agrégée « autres bovins » peut varier annuellement.

Les émissions totales sont calculées en multipliant les facteurs d'émission par les données de cheptels, tirées de la SAA [410].

A.4. Données d'activité pour l'estimation des taux d'application des pratiques de réduction

Lavage d'air dans les bâtiments porcins

En 2015, une enquête « pratiques d'élevage » a été menée par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire [980], s'inscrivant dans la continuité des enquêtes bâtiment menées en 1994, 2001 et 2008. Elle concerne les bovins, les porcins, les caprins, les ovins et les volailles et est disponible à l'échelle des nouvelles régions. Une description plus détaillée de cette enquête est disponible en section « Agriculture | Introduction ».

Parmi les paramètres présentés dans les résultats de cette enquête, sont rapportés :

- les pourcentages de « lavage de l'air, brumisation, cooling, biofiltre ou autre » pour les capacités porcines suivantes : truies en gestation, truies en maternité, truies non saillies, porcelets en nurserie, porcelets en post-sevrage et porcs à l'engrais ;
- les pourcentages de « lavage de l'air, cooling, biofiltre ou autre » pour les capacités volailles suivantes : poulets standards, poulets lourds, dindes et poules pondeuses d'œuf pour la consommation, ces dernières étant distinguées selon le mode d'élevage (bio, plein air, sol, cage).

Ces informations ne sont en revanche pas disponibles pour les bovins, ovins et caprins. Pour une définition plus détaillée des capacités, se reporter à l'annexe « A.1 Systèmes de gestion des déjections animales ».

Après discussions avec la profession, il a été considéré que le lavage d'air n'était pas rencontré en bâtiment volailles. Aucune réduction en volailles n'est donc associée à cette pratique.

Dans la SAA, les catégories animales peuvent différer des capacités proposées dans l'enquête pratiques d'élevage. Les retraitements suivants ont été apportés :

Pour les truies : elles sont toutes regroupées en une catégorie dans la SAA, quel que soit leur stade. Les données tirées des enquêtes pratiques d'élevage doivent alors être pondérées. Cette pondération est précisée en section « Agriculture | Introduction ».

Pour les verrats : faute de données disponibles dans les enquêtes, les valeurs recalculées pour les truies leur sont attribuées.

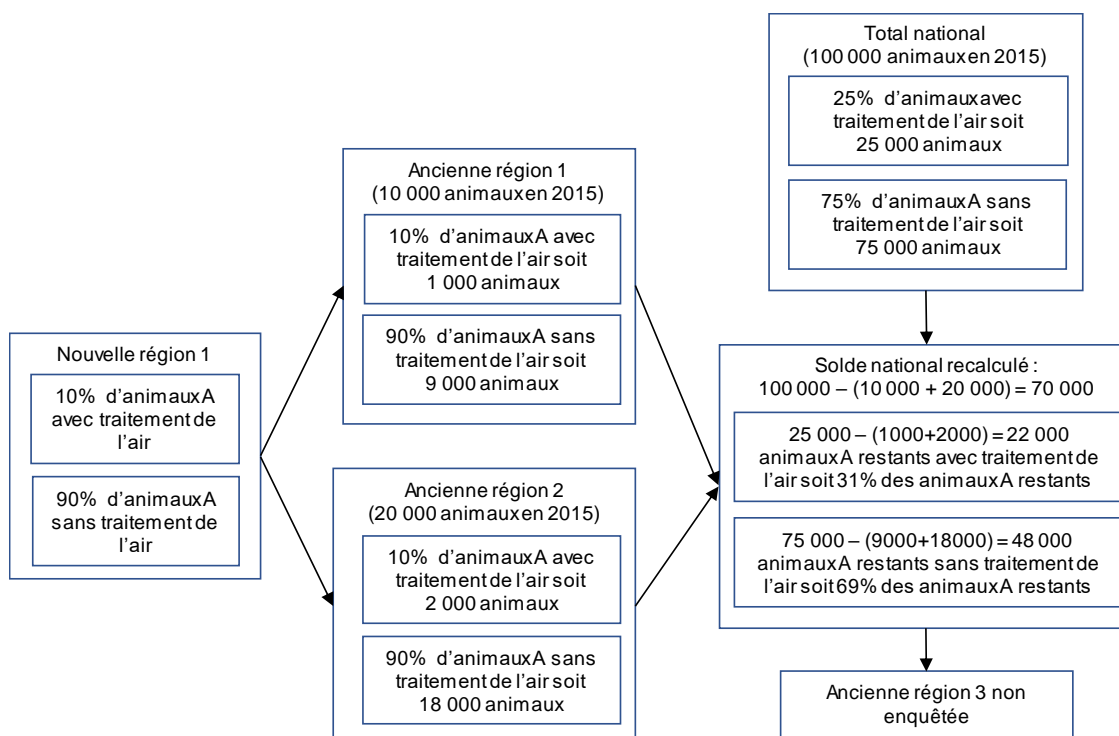
On considère que les pourcentages présentés dans les résultats des enquêtes s'appliquent directement aux effectifs (cheptels) gérés au bâtiment.

Ces pourcentages sont disponibles au niveau national et pour les nouvelles régions les plus productrices, qui sont, en porcins : Bretagne, Pays de la Loire, Hauts-de-France. Pour compléter la couverture géographique des résultats et effectuer les calculs au niveau des anciennes régions, les retraitements suivants ont été apportés (pour plus de détails sur le périmètre géographique, se reporter à la section « Agriculture | Introduction ») :

- Etape 1 : traitement des données pour les nouvelles régions enquêtées. Les pourcentages de traitement de l'air sont connus. Ces pourcentages pour les nouvelles régions, pouvant regrouper plusieurs anciennes régions, sont appliqués à l'ensemble des anciennes régions pertinentes et permettent ainsi de définir la part des animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air.
- Etape 2 : recalcul du solde national. Les animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air pour les régions connues sont soustraits des effectifs nationaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air.

- Etape 3 : recalcul des pourcentages de répartition pour les régions manquantes. Les pourcentages d'animaux gérés dans des bâtiments avec traitement de l'air sont calculés à partir des effectifs recalculés à l'étape 2. Ces pourcentages sont appliqués pour les régions non enquêtées.

Figure 42 : Illustration fictive du retraitement des données de traitement de l'air en bâtiments porcins effectué pour mettre en cohérence le périmètre géographique des enquêtes pratiques d'élevage



Les résultats des données retravaillées pour les porcins sont les suivants :

Tableau 89 : Pourcentages recalculés des effectifs porcins élevés en bâtiment avec traitement de l'air par grande région productrice et solde national

% des effectifs gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air	Bretagne	Pays de la Loire	Picardie (désormais Hauts-de-France)	Nord-Pas-de-Calais (désormais Hauts-de-France)	Solde national
Porcelets non sevrés (<8kg)	1,2%	3,7%	1,8%	1,8%	1,2%
Porcelets en post sevrage (8kg à 30kg)	0,8%	1,6%	0,9%	0,9%	1,2%
Porcs à l'engrais (>30kg)	0,5%	1,7%	1,3%	1,3%	1,2%
Verrats de 50 kg et plus	1,2%	3,7%	1,8%	1,8%	1,1%
Truies de 50 kg et plus	1,2%	3,7%	1,8%	1,8%	1,1%

Faute de données disponibles avant 2015, des hypothèses ont été formulées pour estimer les taux d'application du traitement de l'air pour le passé :

Tableau 90 : Attribution des taux d'application de traitement de l'air sur la période

	1990	1991 - 2004	2005 - année en cours
% des effectifs gérés dans un bâtiment avec traitement de l'air	0%	Interpolation linéaire 1990 - 2005	Données 2015

Traitement des lisiers porcins par nitrification-dénitrification

Pour estimer les abattements liés à la nitrification-dénitrification, il faut pouvoir estimer les quantités d'azote ammoniacal traitées.

Les premières stations de nitrification-dénitrification ont été mises en service en France en 1998 [990]. Depuis, de nombreuses autres stations ont vu le jour. Des données relatives aux quantités traitées peuvent être trouvées au sein de différentes sources. Elles concernent uniquement les lisiers porcins.

Les publications de Levasseur [989] fournissent, pour les années 2003 et 2005, le nombre de stations en Bretagne, et le nombre total de stations en France. Elles fournissent également les quantités d'azote résorbées, mais uniquement pour la Bretagne (2003 et 2005).

La publication de Lessirard [990] fournit le nombre de stations et les quantités d'azote résorbées en Bretagne pour l'année 2007 ;

Les publications de l'UGPVB (Union des Groupements de Producteurs de Viande de Bretagne) [991][992] [1342] fournissent le nombre de stations en Bretagne pour les années 2013, 2016 et 2019. L'UGPVB a également fourni les quantités d'azote résorbées en Bretagne pour 2010, 2013, 2015, 2016 et 2019.

Ces différentes données nous permettent de formuler des hypothèses de manière à estimer le nombre de stations de nitrification-dénitrification sur la période :

Tableau 91 : Résumé des modes d'estimation du nombre de stations de traitement par nitrification-dénitrification sur la période

	En Bretagne	Hors Bretagne	Total France
1990-1997	0	0	0
1998-2002	Interpolation linéaire 1997 - 2003	Calcul du différentiel (France - Bretagne)	Interpolation linéaire 1997 - 2003
2003	Données [989]		Données [989]
2004	Moyenne 2003,2005		Moyenne 2003,2005
2005	Données [989]		Données [989]
2006	Moyenne 2005,2007		Somme des stations Bretagne + Hors Bretagne
2007	Données [990]		
2008- 2012	Interpolation linéaire 2007 - 2013		
2013	Données [991]		
2014	Interpolation linéaire 2013 - 2015		
2015	Données [992]		
2016	Données [1342]		
2017 -2018	Interpolation linéaire 2016 - 2019		
2019	Données [1342]		
2020-2023	Report de la donnée 2019		

L'azote résorbé dans les publications de l'UGPVB correspond à la fois à l'azote volatilisé sous forme de N_2 dans les stations de nitrification-dénitrification, mais aussi à l'azote volatilisé sous d'autres formes ou encore à l'azote exporté vers d'autres régions.

Pour estimer l'azote résorbé par nitrification-dénitrification, ont été considérées uniquement les modalités de traitement nommées « biologique simple » et « biologiques complet » car on considère bien, pour ces modalités, que l'azote résorbé est volatilisé en N_2 . En moyenne, on a 90 % de l'azote résorbé relevant de ces modalités en Bretagne. Ce pourcentage est également appliqué aux données d'azote résorbé issues des publications de Levasseur et Lessirard, afin d'éviter toute surestimation de ces quantités. Pour la Bretagne, les quantités d'azote résorbées sont donc recalculées avec ce pourcentage. Pour les stations hors Bretagne, faute de données disponibles, on retient la valeur de 18 tN résorbées par station et par an, correspondant à la valeur observée avant 2003 en Bretagne.

A noter : pour la Bretagne, cette valeur recalculée d'azote résorbé par station a évolué sur la période, passant de 18 tN/station/an en 1998 à 25 tN/station/an en 2017.

Les quantités d'azote résorbées sont estimées de la façon suivante sur la période :

Tableau 92 : Résumé des modes d'estimation de l'azote résorbé par nitrification-dénitrification sur la période

Azote résorbé (tN)	En Bretagne	Hors Bretagne	Total France
1990-1997	0	0	0
1998-2002	Interpolation linéaire 1997 - 2003	Application du ratio moyen (18 tN/station/an) au nombre de stations recalculé	Somme des stations Bretagne + Hors Bretagne
2003	Données [989] x 90%		
2004	Moyenne 2003,2005		
2005	Données [989] x 90%		
2006	Moyenne 2005,2007		
2007	Données [990] x 90%		
2008- 2012	Interpolation linéaire 2007 - 2013		
2013	Données [991] x 90%		
2014-2015	Interpolation linéaire 2013 - 2016		
2016	Données [1342] x 90%		
2017-2018	Interpolation linéaire 2016 - 2019		
2019	Données [1342] x 90%		
2020-2023	Report de la donnée 2019		

Couverture de fosse à lisier

Parmi les paramètres présentés dans les résultats de l'enquête « pratiques d'élevage » de 2015 [980] (voir description plus détaillée en section « Agriculture | Introduction »), les pourcentages des fosses couvertes par mode de couverture (avec toit, avec bâche et mât central, avec bâche flottante, sous dalle, non couverte) sont rapportés pour les bovins (détail disponible pour certaines catégories et toutes catégories confondues), les porcins (toutes catégories confondues), pour les ovins (élevages de brebis laitières) et pour les caprins (toutes catégories confondues).

Parmi les différents modes de couverture proposés dans les enquêtes, seules les couvertures avec bâche et mât central et celles avec bâche flottante ont été retenues comme pratiques de réduction des émissions de NH_3 .

On considère que les pourcentages de fosses couvertes présentés dans les résultats des enquêtes sont une bonne approximation du pourcentage des quantités de lisier (et en particulier d'azote ammoniacal contenu dans les lisiers) stockées selon les différentes couvertures renseignées. Ainsi, ces pourcentages seront appliqués directement aux quantités d'azote ammoniacal stockées des lisiers pour les catégories concernées. De plus, la distinction par sous-catégories n'étant pas disponible, ces pourcentages sont appliqués à l'ensemble des sous-catégories de l'espèce concernée (bovins, porcins, ovins, caprins).

Ces pourcentages sont disponibles au niveau national et pour les nouvelles régions les plus productrices, qui varient selon les espèces. La distinction régionale a été utilisée en porcs uniquement (détail disponible pour les régions Pays de la Loire et Bretagne).

Pour les bovins, ovins et caprins : la part des fosses couvertes est estimée directement au niveau national et appliquée à l'ensemble des régions.

Pour les porcins : la part des fosses couvertes est estimée pour les régions Pays de la Loire et Bretagne, puis le solde national est réparti entre les autres régions au prorata des effectifs gérés en lisier.

De nouvelles données issues du recensement agricole 2020 [1249] ont pu être intégrées. Ce dernier fournit les capacités totales des fosses en 2020 (toutes espèces confondues), ainsi que la capacité totale des fosses avec couverture artificielle souple imperméable (bâche...) (toutes espèces confondues également). Faute de détails concernant les catégories

animales, cette capacité totale 2020 couverte est ensuite répartie au prorata des capacités couvertes 2015 au niveau régional. Cela permet malgré tout d'intégrer une évolution sur les années récentes.

Les résultats des données retravaillées sont les suivants :

Tableau 93 : Pourcentages des lisiers stockés en fosse couverte pour les bovins, porcins, caprins et ovins en métropole pour 2015 et 2020

	Bovins		Porcins		Caprins		Ovins	
	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
Ile-de-France	1%	40%	1%	59%	12%	100%	5%	93%
Champagne-Ardenne	1%	11%	1%	15%	12%	100%	5%	41%
Picardie	1%	14%	1%	8%	12%	98%	5%	40%
Haute-Normandie	0%	8%	1%	24%	12%	100%	5%	45%
Centre	1%	32%	1%	36%	17%	100%	5%	74%
Basse-Normandie	0%	3%	1%	12%	12%	76%	5%	26%
Bourgogne	1%	12%	1%	11%	12%	97%	5%	32%
Nord-Pas-de-Calais	1%	7%	1%	4%	12%	49%	5%	22%
Lorraine	1%	12%	1%	16%	12%	100%	5%	41%
Alsace	1%	5%	1%	6%	12%	47%	5%	14%
Franche-Comté	1%	3%	1%	5%	12%	34%	5%	8%
Pays de la Loire	1%	10%	2%	14%	12%	69%	5%	14%
Bretagne	1%	4%	3%	10%	12%	42%	5%	13%
Poitou-Charentes	1%	11%	1%	13%	9%	88%	0%	0%
Aquitaine	1%	14%	1%	12%	9%	63%	0%	0%
Midi-Pyrénées	1%	11%	1%	11%	12%	72%	5%	5%
Limousin	1%	9%	1%	13%	9%	72%	0%	0%
Rhône-Alpes	1%	12%	1%	14%	9%	76%	5%	5%
Auvergne	1%	45%	1%	51%	9%	100%	5%	5%
Languedoc-Roussillon	1%	5%	1%	5%	12%	39%	5%	5%
Provence-Alpes-Côte d'Azur	1%	1%	1%	1%	12%	4%	5%	2%
Corse	2%	0%	1%	0%	12%	0%	5%	0%
Total national (Métropole)	1%	10%	2%	12%	12%	65%	2%	5%

A noter : la part des fosses couvertes en ovins et caprins paraît très élevée, mais pèse finalement peu dans le total national car ces espèces sont peu gérées en système liquide.

Faute de données disponibles avant 2015, des hypothèses ont été formulées pour estimer les taux d'application des couvertures de fosse pour le passé :

Tableau 94 : Attribution des taux d'application de la couverture de fosse sur la période

	1990	1991 - 2014	2015	2016-2019	2020 – année en cours
% des lisiers stockés en fosse couverte (bâche et mât central + bâche flottante)	0%	Interpolation linéaire	Données 2015	Interpolation linéaire	Données 2020

Modes d'épandage moins émissifs – Matériel d'épandage et délai d'enfouissement

Pour estimer les abattements d'émission de NH_3 liés aux modalités d'épandage, il faut pouvoir estimer les quantités d'azote ammoniacal épandues par type d'association « matériel + délais d'incorporation ». Ce paramètre est nommé $\text{Frac}_{\text{épan } i,m}$ dans la méthodologie générale dont l'équation est présentée en section « Gestion des déjections animales - 3.B » ainsi que ci-dessous pour rappel.

$$N\text{-NH}_3 \text{ épandage} = \sum_{i,m} \left\{ \text{Frac}_{\text{épan } i,m} \times \text{TAN}_{\text{épan } i} \times \text{FE}_{\text{épan } i} \times \text{FA}_{i,m} \right\}$$

L'estimation du paramètre $\text{Frac}_{\text{épan } i,m}$ est réalisée différemment entre la période historique (1990-2020) et la période récente (2021-2023) dans le but d'obtenir un paramètre annualisé à partir de 2021.

Le calcul de la part de l'azote épandu selon le matériel d'épandage et le délai suit une méthodologie prenant en compte trois informations distinctes :

- 1) Les résultats d'enquêtes pratiques culturales
- 2) L'azote des digestats de méthanisation agricole
- 3) Un modèle d'évolution du parc de tonnes à lisier (à partir de 2021)

(1) Les enquêtes pratiques culturales

Les données utilisées issues des résultats d'enquêtes nommées « pratiques culturales » conduites pour les années 2011, 2017 et 2021 [485] – fournies par le service des statistiques du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire – permettent de connaître, au niveau régional, les quantités d'azote apportées (en tonnes d'azote) par type d'effluent, par matériel et délais d'épandage.

Les combinaisons connues sont listées dans le tableau suivant.

A noter : pour rendre le tableau plus lisible, les délais d'incorporation post-épandage en heures sont numérotés de la manière suivante :

- Délais 1 : < 4 h ;
- Délais 2 : 4 < h < 12 ;
- Délais 3 : 12 < h < 24 ;
- Délais 4 : > 24 h ;
- Délais 5 : sans objet.

Tableau 95 : Combinaisons des pratiques tirées des enquêtes Pratiques Culturales 2011, 2017 et 2021

Catégorie animale	Type d'effluent	Matériel	Délais
Bovins	Lisier	Buse et rampe	1 à 5
		Pendillard	1 à 5
		Enfouisseur	1
		Indifférencié	1 à 5
	Fumier	Epandeur fumier	1 à 5
		Indifférencié	1 à 5
Porcins	Lisier	Buse et rampe	1 à 5
		Pendillard	1 à 5
		Enfouisseur	1
		Indifférencié	1 à 5
	Fumier	Epandeur fumier	1 à 5
		Indifférencié	1 à 5
Volailles*	Fumier, Fientes ou lisier	Buse et rampe	1 à 5
		Pendillard	1 à 5

Catégorie animale	Type d'effluent	Matériel	Délais
Autres	Fumier, lisier, compost, digestats, boues de station d'épuration, etc.**	Enfouisseur	1
		Epandeur fumier	1 à 5
		Indifférencié	1 à 5
		Buse et rampe	1 à 5
		Pendillard	1 à 5
		Enfouisseur	1
		Indifférencié	1 à 5
		Epandeur fumier	1 à 5
		Indifférencié	1 à 5
<i>* Pour les volailles, la distinction liquide/solide n'est pas faite dans les enquêtes. Le type de produit est déduit du type de matériel. Ainsi pour les volumes épandus par épandeur à fumier et par un matériel indifférencié sont considérés solides, le reste des effluents est considéré liquide. Cette catégorie est associée aux autres effluents dans la méthodologie d'estimation du $Frac_{épan\ i,m}$</i>			
<i>** Le listing complet est disponible au niveau du questionnaire d'enquête https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/methodon/S-PK%20GC%202021/methodon/ [dernier accès 02/02/2025]</i>			

Grâce à ces données, il est alors possible de répartir les quantités d'azote ammoniacal épandues (appelées TAN_{épandus}) par combinaison de pratiques entre 2011 et 2021. A partir de 2021, la répartition des épandages par matériel, espèce et délai d'incorporation sont annualisées en fonction d'un modèle présenté en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Pour les lisiers bovins et porcins, des données concernant les matériels d'épandage sont disponibles dans les enquêtes bâtiment 2001 et 2008 [480] mais aucune information n'est fournie sur les délais d'incorporation après épandage. Le choix a été fait d'abandonner les données fournies par l'enquête de 2008 au profit de celles de l'enquête pratiques culturales de 2011, jugées plus pertinentes pour estimer les réductions d'émissions. En revanche, les données 2001 concernant les matériels ont bien été utilisées, en y associant des délais d'incorporation après épandage moyen recalculés à partir des données de 2011. En 2021, les enquêtes pratiques culturales ne concernent que les grandes cultures et ne prennent pas en compte les surfaces en prairies. Les pratiques d'épandages sur les prairies ont donc été estimées à partir des données de l'enquête 2017 sur les grandes cultures et les prairies. Les données sont utilisées de la façon suivante pour **les lisiers bovins et porcins** (hors digestats de méthanisation) et pour **les autres effluents solides** sur la période :

- de 1990 à 2001 : utilisation des données des enquêtes bâtiments 2001 auxquelles on associe des délais d'incorporation moyen après épandage de 2011 ;
- de 2002 à 2010 : interpolation linéaire entre les données de 2001 (auxquelles on a associé des délais d'incorporation moyen après épandage de 2011) et celles de 2011 ;
- en 2011 : utilisation des données 2011 ;
- de 2012 à 2016 : interpolation linéaire entre les données de 2011 et celles de 2017 ;
- en 2017 : utilisation des données 2017 ;
- de 2017 à 2020 : interpolation linéaire entre les données de 2017 et celles de 2021 ;
- 2021 : utilisation des données 2021 pour les grandes cultures et maintien des pratiques 2017 sur les prairies ;
- 2022-2023 : couplage entre les données 2021 et le modèle d'évolution du parc matériel présenté en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Pour **les autres effluents liquides**, on distingue l'azote des digestats et les autres produits résiduels organiques liquides :

- L'azote des digestats est supposé épandu à 100 % par pendillards (cf. paragraphe suivant) auquel on affecte les délais d'épandage de la catégorie
- L'azote des autres produits résiduels organiques liquides (lisier de volailles, lisiers caprins, boues, etc.) est réparti selon le mode d'épandage par différence entre le résultat du modèle de parc et les épandages liquides précédemment épandus (lisiers bovins, lisiers porcins et digestats de méthanisation)

(2) Les digestats de méthanisation

L'azote des digestats de méthanisation est estimé au sein de la section introductive au paragraphe « Méthanisation agricole ». Les digestats sont supposés être épandus à 100 % par pendillards. En pratique dans l'inventaire l'ensemble des digestats de méthanisation sont considérés liquides. En effet, tous les méthaniseurs recensés dans la base de données SEA Métha de l'Ademe [1329] sont soumis à un régime ICPE. Or les différents arrêtés ICPE suggèrent l'usage a minima d'un matériel moins émissif à l'épandage des digestats ou au mieux d'un enfouissement direct.

(3) Modèle d'évolution du parc national de tonnes à lisier

L'épandage par matériel moins émissif étant en évolution rapide sur la période récente – dans un contexte réglementaire fixant des objectifs annuels de réduction d'émissions – le suivi des matériels d'épandage entre la dernière enquête pratiques culturales (2021) et la dernière année d'inventaire suit une évolution annuelle. Cette évolution est estimée au moyen d'un modèle d'évolution de parc de tonnes à lisier calibré à partir d'informations professionnelles issues de l'étude [1344] et dont le fonctionnement est présenté en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Le parc de tonnes à lisiers est estimé pour l'année de référence 2021 en fonction des informations issues des CUMA, des ETA et des enquêtes pratiques culturales pour la même année. La dynamique d'épandage selon le matériel est modélisée de la façon suivante :

- Une fonction de survie est calibrée à partir d'une base de données de plus de 5 000 tonnes à lisier d'un âge allant de 0 à 32 ans permettant d'estimer le taux de renouvellement des tonnes à lisier ;
- Une fonction de voyage est utilisée permettant d'estimer le taux d'utilisation des matériels en fonction de leur âge (nombre de passages facturés) et d'en déduire un volume épandu par type de matériel ;
- Les volumes bruts d'effluents liquides épandus par matériel d'épandage (en m³) sont convertis en quantités d'azote sur la base des teneurs moyennes issues des enquêtes pratiques culturales ;
- Un parc de pendillard épandant des digestats de méthanisation est ensuite déduit du parc total afin de projeter les épandages par matériel uniquement sur le périmètre hors digestats ;
- La dynamique de parc est ensuite issue des fonctions de voyage et de survie, en faisant l'hypothèse d'un maintien de la structure des ventes de matériel de la dernière année disponible.

Le modèle complet est explicité en annexe « A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage ».

Le tableau ci-dessous résume la gestion des données selon la forme d'azote épandue :

Tableau 96. Attribution des taux d'application des différents modes d'épandage sur la période

	1990-2001	2002-2010	2011	2012-2016	2017	2018-2020	2021	2022-2023
Lisiers bovins et porcins	PK 2001 avec application délais PK 2011	Interpolation linéaire 2001-2011	Données PK 2011	Interpolation linéaire 2011-2017	Données PK 2017	Interpolation linéaire 2011-2017	Données PK 2021 grandes cultures + Données PK 2017 prairies	Modèle de parc
Autres effluents liquides	Données PK 2011							
Digestats de méthanisation	Matériel : 100% pendillards Délais : enquêtes PK 2021							
Effluents solides	Données PK 2011			Interpolation linéaire 2011-2017	Données PK 2017			

Le résultat sur l'évolution des épandages par matériel (en kt de TAN) est représenté dans la figure ci-dessous :

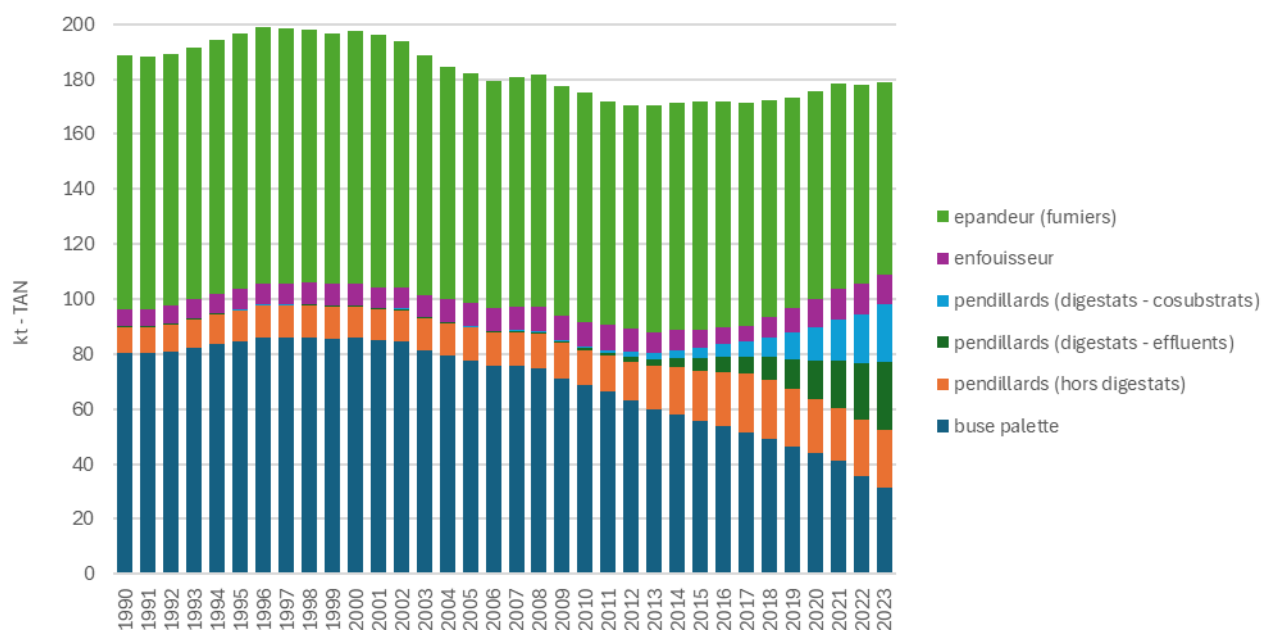


Figure 43. Epandages de TAN selon le matériel d'épandage et le type d'effluents pour les pendillards

A.5. Méthodologie d'estimation de l'évolution annuelle des pratiques d'épandage

Dans le cadre du processus d'amélioration continue des inventaires, les ministères de l'agriculture et de l'environnement ont commandité deux études (en 2023 et 2024) ayant pour objectif de mettre en place une méthodologie permettant d'estimer l'évolution annuelle des pratiques d'épandage de lisier par type de matériel afin de mettre à jour plus fréquemment l'inventaire Citepa.

Cette demande est intervenue dans le contexte du plan matériel d'épandage moins émissifs (PMEME), et du Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA), où l'épandage par buse palette est progressivement amené à être remplacé par des matériels moins émissifs (pendillards ou injecteurs) pour lesquels l'abattement d'émission se situe entre 30 % et 90 % selon le guide UNECE (2014) en cours de révision. Cette amélioration méthodologique permettra aussi au Gouvernement de suivre plus finement les trajectoires françaises d'émissions de NH₃ et de les comparer aux trajectoires à respecter du décret n° 2022-1654.

Cette annexe au rapport OMINEA reprend les principaux éléments conduisant à une nouvelle estimation de l'azote épandu, sous forme liquide, selon le matériel d'épandage. Cette nouvelle méthodologie est mise en place à partir de l'édition 2025 de l'inventaire Citepa.

Modélisation des pratiques d'épandage

Etude du gisement liquide épandable

La présente étude s'appuiera sur les résultats d'une précédente étude nommée « Travaux d'amélioration des inventaires nationaux de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques par une meilleure prise en compte des agroéquipements ».

Les résultats de cette précédente étude [1330] ont mis en évidence un écart entre les volumes d'effluents liquides épandus par les CUMA et ETA en 2021 (dernière estimation à 67,1 Mt) et les estimations du gisement total de lisier récupérable réalisées à travers différents projets tels que ELBA³ (41,2 Mt en 2015) ou l'ONRB⁴ (40,4 Mt en 2020) [1322,1323].

Ces écarts peuvent s'expliquer notamment par des différences de périmètres entre ces différents projets. ELBA et l'ONRB s'appuient sur les cheptels, les excréments animaux, les types de bâtiments pour estimer des volumes de lisier épandable tandis que l'étude [1330] s'appuie sur les matériels d'épandage. Or les matériels peuvent épandre toute sorte de produits résiduels organiques liquides (PRO) pas seulement des lisiers.

L'écart entre les estimations (en volume) peut donc s'expliquer par l'existence de produits autres que les effluents animaux ou par des effluents animaux très dilués :

- Produits liquides contenant peu d'azote et susceptibles d'être dirigés vers une fosse à lisier (eau de pluie, eaux vertes et blanches, autres eaux de lavage des bâtiments)

³ [1322] Marsac, S., Heredia, M., Labalette, F., Delaye, N., Levasseur, P., Capdeville, J., Gervais, F., Ponchant, P., 2018. ELBA: A National reference tool for agricultural biomass resource assessment in France. <https://elba.arvalis-ext.com/>

⁴ [1323] FranceAgriMer, 2020. L'Observatoire National des Ressources en Biomasse - Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition décembre 2020.

- Autres produits pour lesquels le mode de gestion n'est pas suivi de la même manière que les excréments animaux dans l'inventaire Citepa (boues de STEP, boues IAA, fraction végétale des digestats, jus de silos, etc.).

Une brève étude bibliographique a ainsi été conduite afin d'aboutir à une estimation du gisement total de produits résiduels organiques liquides épandables. Les résultats de cette étude sont donnés ci-après.

Masse volumique des lisiers et autres PRO

Pour les lisiers de porc la masse volumique moyenne se situe autour de 1 025 kg / m³ [1324]. Toutefois, la masse volumique est variable, notamment en fonction du taux de matière sèche (MS) des lisiers et autres PRO qui peut varier de 2 % à 12 % de MS (autour de 4% pour un lisier de porc, entre 8 % et 10 % pour un lisier bovin pur et entre 6 % et 8 % pour un digestat brut de méthanisation). Sur la base des références sur les caractéristiques des lisiers porc on peut donner une formule approximative de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en MS en kg / kg (%MS/100) :

$$\text{Masse volumique PRO (kg/m}^3\text{)} = 1000 * \frac{1}{1 - \frac{\%MS/100}{2}}$$

On obtient les valeurs indicatives rapportées dans le tableau ci-dessous. On constate que la masse volumique des lisiers est donc assez proche de celle de l'eau (1 000 kg / m³).

Tableau 97. Estimation de la masse volumique d'un PRO liquide en fonction de sa teneur en matière sèche (%MS)

Teneur en matière sèche (%MS en kg / kg)	Masse volumique (kg / m ³)
2%	1 010
4%	1 020
6%	1 031
8%	1 042
10%	1 053
12%	1 064

Les différentes publications sur le gisement [1322,1323] fournissent des résultats en tonne. Compte tenu du nombre de sources mobilisées dans l'étude du gisement, de la variabilité des produits concernés (lisiers bovins, porcins, digestats, eaux vertes et blanches...) et par mesure de simplification, la masse volumique d'un PRO liquide est considérée équivalente à celle de l'eau (soit 1 t = 1 m³) au sein de l'inventaire.

Lisiers bovins

Au sein de l'inventaire Citepa, la production de lisier bovin est estimée à partir des statistiques de cheptel, des temps passés au bâtiment et en fonction du type de stabulation. Pour chaque type de stabulation les déjections sont réparties selon leur forme (lisier, fumier mou, fumier compact, fumier très compact) en fonction de références techniques fournies par l'Idel (voir section « Gestion des déjections animales - 3.B »). Cette répartition est historiquement utilisée pour répartir l'azote par forme mais il est possible de l'utiliser pour estimer les volumes de lisier produits par les animaux en m³. Pour faire cela on sélectionne les UGB bovins en gestion liquide et on leur affecte une production de lisier de 22,4 m³ / UGB (communication Idel) ainsi qu'un temps passé à la pâture. On estime ainsi à 37 millions de m³ les quantités de lisiers bovins en fosse en 2022 (hors eaux brunes, vertes et blanches) soit environ deux fois plus que dans ELBA.

Tableau 98. Hypothèses de répartition des UGB bovins selon le mode de gestion, temps pâture et volumes de lisier récupérable

Type de sol				UGB bovins en 2022	% des déjections sous forme liquide	temps pâture	m3 lisier en fosse / an
Plein air intégral				968 218		100%	
Stabulation (ou étable) entravée	avec litière			1 185 858	0%		0
	sans litière			83 209	100%	41%	1 101 388
Stabulation libre avec aire d'exercice totalement couverte	pente paillée			206 473	0%		0
	litière accumulée	aire d'exercice raclée	fumier	1 386 971	22%	47%	3 564 134
			lisier	587 673	67%	43%	4 996 189
		aire d'exercice caillebotis (lisier)		127 913	67%	42%	1 105 514
		aire paillée intégrale		4 192 464	17%	49%	8 001 301
	logettes	aire d'exercice bétonnée	fumier	1 455 874	25%	39%	4 995 916
			lisier	159 953	100%	40%	2 153 913
		aire d'exercice caillebotis		107 424	100%	23%	1 860 952
		Stabulation libre avec aire d'exercice non couverte ou incomplètement couverte	pente paillée	alimentation distribuée		54 673	28%
alimentation silo libre service				0			0
litière accumulée	système fumier		alimentation distribuée	1 682 303	31%	52%	5 613 187
			alimentation silo libre service	0	0%		0
	système lisier		alimentation distribuée	109 079	67%	36%	1 047 344
			alimentation silo libre service	0	0%		0
logettes	système fumier		alimentation distribuée	298 352	34%	37%	1 438 195
			alimentation silo libre service	0	0%		0
	système lisier		alimentation distribuée	60 655	100%	23%	1 045 114
			alimentation silo libre service	0	0%		0
Ensemble des bovins				12 667 092	23%	45%	37 093 685

Lisiers porcins et autres animaux

Pour les lisiers de porc (18 Mm³) et les lisiers de volailles (5 Mm³) les valeurs de l'outil ELBA ont été mobilisées. Pour les autres animaux, les volumes en lisier n'ont pas été estimés et ont été considérés négligeables (même si les caprins laitiers sont essentiellement en gestion liquide).

Digestats de méthanisation

Les tonnages d'intrants en méthanisation agricole sont suivis dans l'inventaire et estimés au moment de l'étude à 14,5 Mt de matière brute en 2021, dont 7,9 Mt de cosubstrats, 3,8 Mt de lisier et 2,8 Mt de fumier. Concernant les lisiers, ces volumes sont déjà estimés dans les paragraphes précédents et ne doivent pas être double-comptés. En revanche, les digestats sortent majoritairement sous forme liquide même si les produits intrants peuvent être solides.

Sur la base des références de l'ACV Inrae [1295] et des données régionales sur le mode de valorisation on estime à 90 % le tonnage des digestats épandus sous forme liquide. Sur la base des données de tonnages entrants et sortants dans les

unités de méthanisation du secteur des déchets issus de l'Ademe [798] on estime à 40 % la masse émise sous forme gazeuse (production de biogaz et pertes). Aussi sur la base des tonnages entrants de fumiers et de cosubstrats on peut estimer les tonnages de digestats liquides épandables.

Tableau 99. Tonnages d'intrants en méthanisation en 2021 (hors fraction lisier) et de digestats liquides sortants

	Intrants en méthanisation (hors lisier)	Fraction émise sous forme gazeuse	% liquide	Digestats liquides sortants
	millions de tMB	%	%	millions de tMB
Total hors lisier	13,6	40%	90%	7,4
Méthanisation agricole (fraction végétale)	7,9	40%	90%	4,2
Méthanisation agricole (fraction fumier)	2,9	40%	90%	1,6
Méthanisation des IAA	2,3	40%	90%	1,2
Méthanisation du secteur des déchets	0,6	40%	90%	0,3

Eaux vertes et blanches

Les eaux vertes et blanches correspondent à l'eau chaude sanitaire de lavage des installations de traite (eaux blanches) et à l'eau froide pour le nettoyage de la salle de traite, des quais, sols et murs (eaux vertes). Ce sont des effluents généralement peu chargés en azote (<0,5 kgN/m³) ce qui explique que leur suivi n'est pas réalisé au sein de l'inventaire Citepa. Par ailleurs, on considère que l'azote contenu dans ces eaux est déjà estimé au niveau de l'excrétion azotée (voir section « Gestion des déjections animales - 3.B ») et donc inclus dans les lisiers, fumiers.

Selon les experts interrogés (Idele, groupe de travail agriculture sur les inventaires), ces eaux sont majoritairement dirigées vers les fosses à lisier (à 90 % selon les experts Idele), les exploitations disposant d'un système de traitement séparé étant jugées plutôt rares. Les résultats de l'enquête bâtiment 2015 sont difficiles à interpréter sur cette question et ont donc été écartés de l'analyse.

Afin d'estimer les volumes d'eaux vertes et blanches nous nous appuyons sur les références du Comité Régional Bâtiment Bretagne [1325] sur les temps de traite, de l'Idele sur les besoins en stockage [1326] et sur les enquêtes pratiques d'élevage en 2015 [980] pour la répartition des salles de traites.

En croisant les informations de ces différentes sources nous recalculons les volumes d'eaux vertes et d'eau blanches par vache laitière (VL) en fonction du type de salle de traite et de la taille d'élevage.

Tableau 100. Estimation des volumes d'eaux vertes et blanches par vache laitière (VL) par an (en litres / VL / an) en fonction du type de salle de traite et de la taille de l'exploitation. Source : Estimations Citepa d'après [980], [1325] et [1326]

Salle de traite	VL<50	VL [50-74]	VL [75-99]	VL > 100	Vmixte < 75	Vmixte > 75
Robot	12 565	8 147	10 558	9 299	7 502	23 445
Tandem	9 779	10 033	7 348	6 416	9 239	16 316
Arrière	11 203	8 508	9 973	7 231	7 668	22 146
Epis	8 046	6 281	9 203	6 670	5 784	12 736
Rotative	33 082	21 450	15 253	9 369	19 753	33 868
Mobile	8 046	6 281	9 203	6 670	5 784	12 736
Traite à l'étable	0	0	0	0	0	0

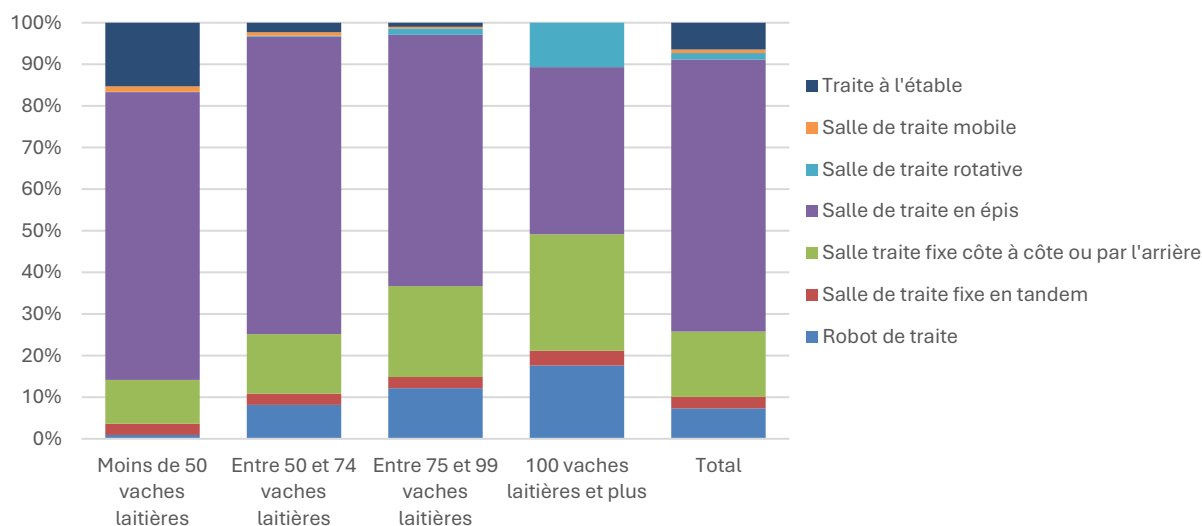


Figure 44. Répartition des élevages selon le type d'équipement des salles de traite – source : [980]

En moyenne on estime donc les consommations d'eau à $8 \text{ m}^3 / \text{VL} / \text{an}$ (5 m^3 en eaux vertes et 3 m^3 en eaux blanches) qui donne une quantité annuelle totale de 26 millions de m^3 en 2022 (pour 3,2 millions de vaches laitières). Nous faisons l'hypothèse que 90 % de ces volumes sont dirigés vers les fosses à lisier soit 24 millions de m^3 .

Autres effluents liquides

Les autres produits résiduels organiques liquides épandables identifiés sont de natures diverses :

- Boues de station d'épuration (STEP)
- Eaux de lavage des bâtiments (hors eaux vertes et blanches)
- Jus de silo
- Eaux brunes et pluies sur fosses
- Eaux de sucrerie

Tous ces produits ne sont pas nécessairement épandus sur les sols agricoles et certains modes d'épandage sont hors périmètre d'étude (rampes d'irrigation des eaux de sucrerie par exemple).

Les eaux brunes peuvent potentiellement représenter de gros volumes en comptant les aires d'exercice non couvertes sur lesquelles de l'eau de pluie peut tomber contribuant à remplir les fosses à lisier. Sur la base des statistiques de pluviométrie et d'évapotranspiration, ainsi qu'en estimant les surfaces de fosses non couvertes nous estimons à 2,2 millions de m^3 les volumes annuels d'eaux brunes.

Pour les élevages porcins, les volumes d'eau de lavage des bâtiments sont estimés par l'IFIP⁵ à 2300 litres / truie présente / an en système naisseur engraisseur. En affectant ce chiffre au cheptel de truies (970 000 têtes) nous obtenons une consommation d'eau de lavage pour les élevages porcins de 2,2 millions de m^3 .

Les jus de silo ont été estimés sur la base des références Idele ainsi que sur une estimation du volume total d'ensilages établie à partir des données d'alimentation animale du GIS avenir élevage. On estime à 64 millions de m^3 le volume d'ensilage de maïs et à 21 millions de m^3 le volume d'ensilage d'herbe. Sur la base des références Idele on estime une production de jus de silo à 15 litres / m^3 de silo soit un total annuel de 1,3 millions de m^3 .

⁵ IFIP, 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs - Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porc.

Selon l'INSEE et la BD ERU les boues de station d'épuration (STEP) et les boues d'industries agroalimentaires peuvent représenter des volumes non négligeables. En l'absence d'informations précises sur la nature des traitements et la valorisation des déchets nous faisons l'hypothèse que les phases solides sont épandues et que les phases liquides sont traitées et rejetées vers le milieu sans épandage. Pour les eaux de sucreries, on considère que ce sont des effluents peu chargés ($<0,5 \text{ kgN/m}^3$), de faible taux de minéralisation et que l'essentiel est épandu à travers des rampes d'irrigation, le tout conduisant à des émissions négligeables de NH_3 à l'épandage.

Estimation du gisement liquide total

En regroupant l'ensemble de ces sources pour l'année de référence 2021, les volumes liquides épandus par tonne sont estimés à 97 millions de m^3 principalement composés de lisiers (60 Mm^3), d'eaux vertes et blanches dirigées vers les fosses à lisier (24 Mm^3), de digestats de méthanisation hors fraction lisier (7 Mm^3) et d'autres effluents liquides (6 Mm^3). Les chiffres de cette section sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 101. Estimation du gisement de produits résiduels organiques liquides épandables par tonne en 2021

	Volumes totaux mis en œuvre	Fraction liquide	Fraction épandue	Effluents liquides épandus	Source
	Mm^3	%	%	Mm^3	
Lisier bovins lait	23,8	100%	100%	23,8	Citepa (sources multiples)
Lisier bovins viande	13,3	100%	100%	13,3	Citepa (sources multiples)
Lisier porcins	18,1	100%	100%	18,1	[1322]
Lisier volailles	5,2	100%	100%	5,2	[1322]
Lisier autres animaux	NE	NE	NE	0,0	Non estimé
Total effluents d'élevage	60,3			60,3	
Digestats de méthanisation (hors fraction lisier)	13,6	90%	60%	7,4	Citepa (sources multiples)
Boues des STEP des IAA	13,0	NE	NE	NE	[1328]
Autres boues des IAA épandues	6,3	NE	NE	NE	[1328]
Boues de STEP urbaines épandues	1,5	NE	NE	NE	[752]
Eaux vertes et blanches (lait)	26,4	100%	90%	23,7	Citepa (sources multiples)
Eaux de lavage des bâtiments porcins	2,2	100%	100%	2,2	[1327]
Jus de silo	1,3	100%	100%	1,3	Citepa (sources multiples)
Eaux brunes et eaux sur fosses	2,2	100%	100%	2,2	Citepa (sources multiples)
Total autres effluents liquides	64,3			36,8	
Total PRO liquides	124,6			97,2	

Modèle de parc

Les volumes d'effluents liquides épandus par les CUMA et les ETA en France sont estimés à 67,1 millions de m^3 dont 42,8 Mm^3 épandues par les CUMA et 24,2 Mm^3 épandues par les ETA.

Ces valeurs ont été réactualisées à partir de l'étude [1330]. Les bases de données professionnelles fournies par les CUMA ont été utilisées pour calibrer le modèle de parc de l'inventaire sur l'année de référence 2021.

Nous utilisons ainsi la base de données sur les équipements constituée dans l'étude [1330] ainsi qu'une base de données issue du Guide des Prix de Revient (GPR) donnant des indications sur les voyages facturés selon le type de tonne à lisier.

Caractéristiques du parc Cuma

Taux d'activité : Fonctions de voyage

Le guide des prix de revient (GPR) permet d'estimer le nombre de voyages facturés en fonction de la capacité des tonnes à lisier (tal) et de leur âge (Tableau 102). Au sein du modèle de parc ces références seront converties en une « fonction de voyage » dont une représentation est fournie Figure 45. Dans le modèle de parc il y a donc six fonctions de voyage (une par catégorie de capacité).

Tableau 102. Nombre de voyages moyen facturés par an selon la capacité de la tonne et l'année d'achat – source : FNCUMA d'après Guide des prix de revient

Capacité de la tonne à lisier (en litres)	Age de la tonne à lisier (en années)			
	0 - 6	7 - 12	13 - 32	> 32
< 12000	845	715	423	NE
12001 à 14000	750	630	436	NE
14001 à 16800	814	692	456	NE
17001 à 18000	971	790	579	NE
18001 à 21000	934	809	630	NE
> 21000	1581	1273	990	NE

NE : Non estimé

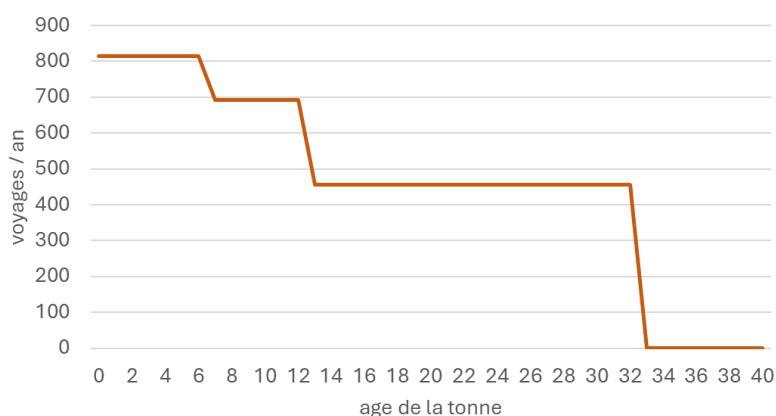


Figure 45. Fonction de voyage pour une tonne à lisier d'une capacité inférieure à 12000 litres

Taux de survie matériel : Fonction de survie

Afin de faire évoluer le parc de façon annuelle, nous calibrons une fonction de survie sur la base des données de parc en Cuma. Pour les années récentes, le nombre de tonnes à lisier en activité pour chaque tranche d'âge est proche de 300 (310 tal d'un an d'âge, 282 tal de deux ans d'âge, etc.) ce qui correspond à la moyenne annuelle d'achat pour les Cuma. En considérant cette moyenne de 300 tal / an on peut retrouver la fonction de survie du parc Cuma pour l'année de référence 2021 (on ne retrouve que 38 tal de 32 ans soit un taux de survie de $38 / 300 = 12\%$). Sur cette base nous avons ajusté les paramètres d'une fonction de survie $S(a)$ d'une loi de Weibull.

La fonction de survie entre 0 et 32 ans s'écrit ainsi : $S(a) = e^{-(a/\lambda)^k}$ avec **a** l'âge de la tonne à lisier

On estime les paramètres **k** et **λ** par régression en linéarisant l'expression : $\ln(-\ln(S(a))) = k(\ln(a) - \ln(\lambda))$

On obtient ainsi $k = 1,52$ et $\lambda = 20,56$. Sur la base de ces paramètres on peut calculer une demi-vie de 16 ans pour une tonne à lisier. Lorsque les tonnes sont supérieures à 32 ans ($t > 32$), on fait l'hypothèse que le taux de survie est 0% ($S = 0$). La fonction de survie du modèle de parc de l'inventaire s'écrit donc comme ceci :

$$S(t) = \begin{cases} e^{-(a/20,56)^{1,52}} & \text{si } a \in [0,32] \\ 0 & \text{si } a > 32 \end{cases}$$

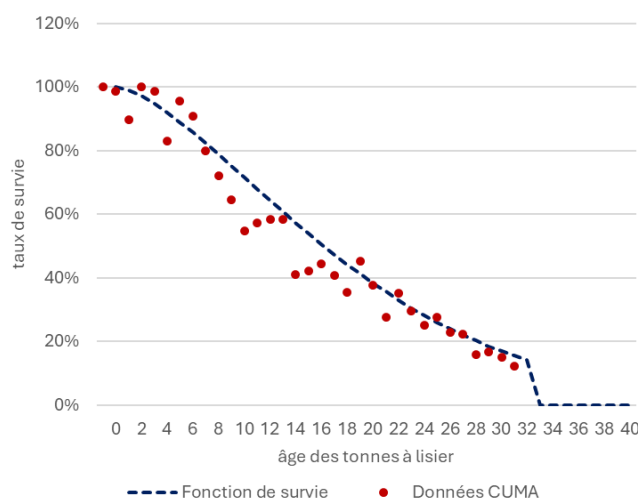


Figure 46. Fonction de survie ajustée aux données Cuma

Reconstitution du parc national de tonnes à lisier

Les informations des références FNCUMA sont compilées au sein du tableau en fin de section. Ces caractéristiques détaillées du parc en Cuma constituent la base sur laquelle est calibré le parc national de l'inventaire Citepa.

L'enquête issue de l'étude [1330] auprès des ETA a permis d'estimer le nombre de tonnes à lisier des ETA ainsi que les volumes d'effluents liquides épandus par catégorie d'équipement mais avec un détail moindre (Tableau 103). Pour chaque catégorie d'équipement (buse palette, pendillard, enfouisseur), on affecte au parc ETA les caractéristiques du parc en Cuma (répartition par âge et par catégorie de capacité). Ensuite la fonction de voyage est ajustée pour que les matériels épandent le même niveau de volume que l'enquête (24 Mm³).

Tableau 103. Parc de tonnes à lisier dans les ETA en 2022 et volumes épandus – source : étude [1330]

Type d'équipement	Volume liquide épandu en m3	Nombre de tonnes à lisier
Buse palette	6 551 689	634
Pendillard	12 491 502	1154
Enfouisseur	5 186 079	707
Total	24 229 269	2 495

Le parc de tonnes à lisier en propre (c'est-à-dire détenu par des agriculteurs et donc hors CUMA et ETA) est quant à lui estimé en plusieurs étapes. Une première étape consiste à estimer les volumes épandus en propre par différence entre l'estimation du gisement épandu total (97,2 Mm³) et les épandages des Cuma (42,8 Mm³) et ETA (24,2 Mm³). On estime donc l'épandage en propre à 30 Mm³ soit près d'un tiers de l'épandage total d'effluents liquides. Le gisement total d'effluents liquides épandus est aussi réparti selon le matériel en mobilisant les données des enquêtes pratiques culturelles en grandes cultures en 2021, l'étude du gisement et les données d'inventaire sur l'azote à l'épandage selon le processus décrit dans la figure ci-dessous.

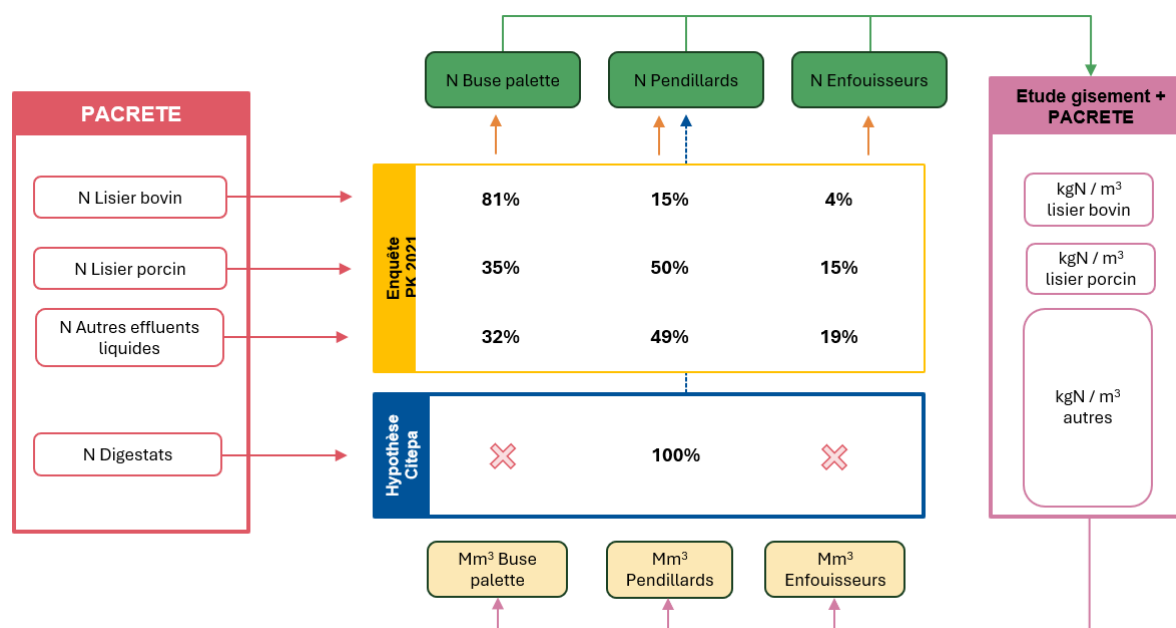


Figure 47. Estimation de la répartition des volumes d'effluents liquides épandus par type de matériel pour l'année 2021

L'azote des lisiers bovins, des lisiers porcins et des autres effluents liquides hors digestats est épandu selon la répartition des enquêtes pratiques culturales en grandes cultures en 2021. Les digestats de méthanisation sont supposés être épandus à 100 % par pendillards. En effet, tous les méthaniseurs recensés dans la base de données SEA Métha de l'Ademe [1329] sont soumis à un régime ICPE. Or les différents arrêtés ICPE suggèrent l'usage a minima d'un matériel moins émissif à l'épandage des digestats ou au mieux d'un enfouissement direct^{6 7 8 9}. En croisant ces informations avec les volumes bruts d'effluents liquides épandus, on peut estimer une teneur en azote moyenne des effluents épandus par type de matériel et en déduire les volumes bruts par matériel (Figure 47). Enfin les volumes épandus par le parc matériel en propre sont recalculés par différence entre le gisement et les volumes épandus par les matériels des prestataires extérieurs (Figure 48).

⁶ <https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-101109-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees>

⁷ <https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-120810-relatif-prescriptions-generales-applicables-installations-classees>

⁸ <https://aida.ineris.fr/reglementation/arrete-101109-fixant-regles-techniques-auxquelles-doivent-satisfaire-installations>

⁹ <https://fertiliser-avec-des-digestats.fr/les-digestats/reglementation/>

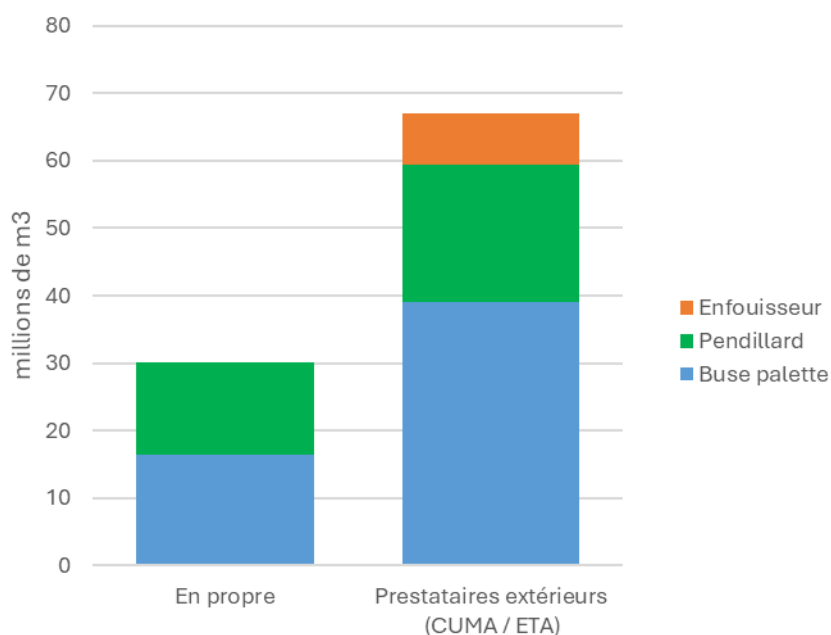


Figure 48. Volume d'effluents liquides épanchés en 2021, selon la propriété du matériel – source : Citepa d'après FNCUMA, ETA et étude du gisement

Sur la base des informations en volume, des données de ventes moyennes de tonnes à lisier par an issues de l'Axema (1035 tal / an en moyenne entre 2010 et 2021) et de la fonction de survie $S(t)$ on estime un parc de tonne à lisier national encore en activité à 18 508 tonnes à lisier ce qui est proche de l'estimation réalisée par les Cuma dans l'étude [1330].

De la même manière que pour les ETA, pour chaque catégorie d'équipement (buse palette, pendillard, enfouisseur), on affecte au parc en propre les caractéristiques du parc en Cuma (répartition par âge et par catégorie de capacité). Ensuite on corrige la fonction de voyage en fonction des volumes épanchés en propre (30 Mm³). Le nombre de voyages moyens obtenus par tonne et par an pour le parc en propre est nettement plus faible qu'en Cuma et ETA (autour de 200 passages / an contre 600 pour les Cuma).

On a ainsi un parc matériel par groupe d'épandage g (Cuma, Eta, en propre), par catégorie d'équipement e , par catégorie de capacité c et par âge du matériel a pour l'année de référence 2021 que l'on nommera $n_0(g, e, c, a) = n(t = t_0, g, e, c, a = a_0)$.

Tableau 104. Parc matériel par groupe d'épandage et catégorie de matériel en 2021 : $n(g, e)$

	En propre	CUMA	ETA	Total
Buse	7 694	4 404	634	12 732
Pendillard	3 175	523	1 154	4 852
Enfouisseur	0	217	707	924
Total	10 869	5 144	2 495	18 508

Dynamique de parc matériel et volumes d'épandage

Le parc étant fixé pour l'année 2021, l'état de celui-ci évolue pour les années d'inventaire ultérieures selon la fonction de survie $S(a)$. Si l'on cherche à ajouter une année au parc :

$$n(t_0 + 1, g, e, c, a) = n_0(t_0, g, e, c, a_0 = 1) + n_0(t_0, g, e, c, a_0) \times S(a_0 + 1)$$

Pour simuler les nouvelles tonnes à lisier qui entrent dans le parc matériel une année donnée, on reproduit la dernière année d'achat du parc $n_0(t_0, g, e, c, a_0 = 1)$. Le parc historique n_0 « vieillot » avec la fonction de survie S . Ainsi le parc matériel tend progressivement vers 61 % de tonnes à lisier équipées d'un matériel moins émissif.

On pose $V(g, e, c, a)$ la fonction de voyage héritée du Tableau 102 qui dépend du groupe d'épandage g (Cuma, Eta, en propre), de la catégorie de capacité c et de l'âge de la tonne à lisier a . Pour les ETA et l'épandage avec matériel en propre, cette fonction dépend aussi du type d'équipement e car elle a été calibrée pour retrouver les volumes épandus en 2021 calculés par ailleurs. Pour chaque catégorie de capacité c on a une capacité moyenne $K(c)$ exprimée en litres qui dépend du parc Cuma.

On peut estimer les volumes épandus selon le type d'équipement et l'année $E(t, e)$ en m^3 , en fonction du parc matériel, de la fonction de voyage et de la capacité moyenne des tonnes à lisier (cf. paragraphe sur les valeurs des Cuma pour 2021) :

$$E(t, e) = \sum_{g, c, a} \left\{ n(t, g, e, c, a) \times V(g, c, a) \times \frac{K(c)}{1000} \right\}$$

On a donc la possibilité de faire évoluer le volume d'épandage annuellement selon le type d'équipement (buse palette, pendillard, enfouisseur) à partir de 2021. On applique cette dynamique de parc uniquement pour les effluents hors méthanisation (Figure 47).

Répartition des épandages par région, forme d'effluent et délai d'enfouissement

Le calcul des émissions présenté en section « Gestion des déjections animales - 3.B » nécessite un niveau de précision assez fin de la donnée d'activité sur les épandages d'effluents liquides. En effet, le facteur d'émission dépend de la teneur en TAN de l'effluent épandu, du matériel d'épandage ainsi que du délai d'enfouissement après épandage. Par ailleurs les calculs pour les effluents d'élevage sont réalisés au niveau des anciennes régions.

Les enquêtes pratiques culturelles en grandes cultures nous fournissent une indication de la répartition régionale des épandages (en azote) par type de produit (lisier bovin, lisier porcin ou autre effluent liquide), matériel et délais d'enfouissement avec un pas de temps de 4 à 10 ans selon les années d'enquête (2001, 2011, 2017, 2021). A partir de 2021, les épandages par matériel sont connus annuellement à l'échelle nationale sur la base du modèle de parc précédemment décrit. On croise donc les informations de ce modèle annuel avec les données des enquêtes SSP.

Compte-tenu du niveau de résolution assez fin des données nécessaires au calcul d'émission, il n'est pas possible de mettre en cohérence stricte, pour chaque année, le modèle de parc, l'estimation régionale des excréments azotés et les données d'enquête pratiques culturelles. On réconcilie donc ces données par une série d'optimisations sous contraintes. Cela permet de faire évoluer annuellement les pratiques d'épandage en fonction des données inventaire (excréments azotés, estimation des digestats de méthanisation), des données du modèle de parc (répartition nationale des épandages par matériel) tout en minimisant l'écart avec la répartition des épandages par région, matériel, espèce et délai d'épandage issue des enquêtes pratiques culturelles.

Les étapes de calcul aboutissant à la donnée d'activité sur les épandages liquides sont synthétisées dans le schéma ci-dessous :

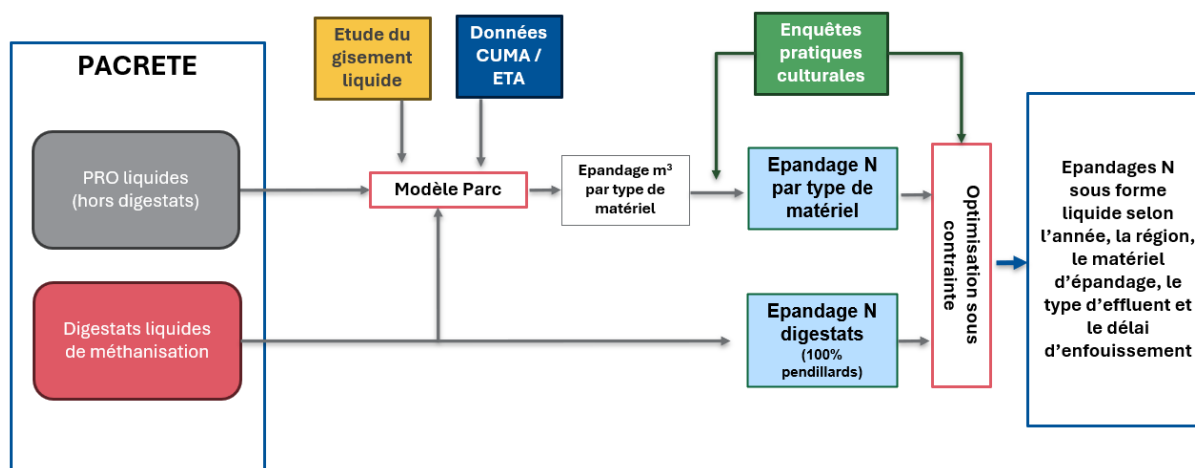


Figure 49. Etapes de calcul pour estimer les modes d'épandages des effluents organiques liquides dans l'inventaire Citepa à partir de l'année 2021.

Tableau 105. Caractéristiques du parc de tonnes à lisier en Cuma en 2021. Source : FNCUMA

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m ³
buse_palette	< 12000	1	76	9 409	845	604 261
buse_palette	< 12000	2	97	9 538	845	781 810
buse_palette	< 12000	3	132	9 676	845	1 079 221
buse_palette	< 12000	4	126	9 609	845	1 023 022
buse_palette	< 12000	5	108	9 879	845	901 521
buse_palette	< 12000	6	118	9 368	845	934 096
buse_palette	< 12000	7	117	9 836	715	822 866
buse_palette	< 12000	8	105	9 668	715	725 855
buse_palette	< 12000	9	109	9 131	715	711 651
buse_palette	< 12000	10	94	9 216	715	619 424
buse_palette	< 12000	11	98	9 260	715	648 846
buse_palette	< 12000	12	87	9 066	715	563 965
buse_palette	< 12000	13	105	9 498	423	421 846
buse_palette	< 12000	14	112	9 236	423	437 563
buse_palette	< 12000	15	100	9 165	423	387 663
buse_palette	< 12000	16	101	9 092	423	388 425
buse_palette	< 12000	17	115	8 580	423	417 368
buse_palette	< 12000	18	104	9 003	423	396 062
buse_palette	< 12000	19	93	9 065	423	356 609
buse_palette	< 12000	20	112	8 587	423	406 836
buse_palette	< 12000	21	95	8 703	423	349 743
buse_palette	< 12000	22	67	8 246	423	233 713
buse_palette	< 12000	23	89	8 221	423	309 514
buse_palette	< 12000	24	81	8 424	423	288 639
buse_palette	< 12000	25	68	7 922	423	227 866
buse_palette	< 12000	26	80	7 792	423	263 688
buse_palette	< 12000	27	71	7 878	423	236 609
buse_palette	< 12000	28	69	7 050	423	205 754
buse_palette	< 12000	29	48	7 193	423	146 039
buse_palette	< 12000	30	51	8 080	423	174 317
buse_palette	< 12000	31	46	7 505	423	146 037
buse_palette	< 12000	32	38	7 412	423	119 148
buse_palette	> 21000	1	4	24 250	1581	153 357
buse_palette	> 21000	2	2	42 200	1581	133 436
buse_palette	> 21000	3	2	23 600	1581	74 623
buse_palette	> 21000	5	1	21 400	1581	33 833
buse_palette	> 21000	9	1	22 700	1273	28 897
buse_palette	> 21000	10	2	23 000	1273	58 558
buse_palette	12001 à 14000	1	14	12 644	750	132 764
buse_palette	12001 à 14000	2	21	13 525	750	213 011
buse_palette	12001 à 14000	3	19	13 001	750	185 261

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m ³
buse_palette	12001 à 14000	4	23	13 179	750	227 336
buse_palette	12001 à 14000	5	18	13 241	750	178 747
buse_palette	12001 à 14000	6	18	13 226	750	178 546
buse_palette	12001 à 14000	7	19	13 302	630	159 226
buse_palette	12001 à 14000	8	20	13 290	630	167 454
buse_palette	12001 à 14000	9	25	13 295	630	209 402
buse_palette	12001 à 14000	10	15	13 163	630	124 389
buse_palette	12001 à 14000	11	16	13 650	630	137 592
buse_palette	12001 à 14000	12	31	13 313	630	260 001
buse_palette	12001 à 14000	13	22	13 495	436	129 448
buse_palette	12001 à 14000	14	20	13 409	436	116 929
buse_palette	12001 à 14000	15	7	13 014	436	39 720
buse_palette	12001 à 14000	16	11	13 518	436	64 833
buse_palette	12001 à 14000	17	12	13 242	436	69 280
buse_palette	12001 à 14000	18	11	13 314	436	63 852
buse_palette	12001 à 14000	19	8	12 938	436	45 126
buse_palette	12001 à 14000	20	9	12 707	436	49 862
buse_palette	12001 à 14000	21	10	12 689	436	55 326
buse_palette	12001 à 14000	22	6	12 883	436	33 703
buse_palette	12001 à 14000	23	7	12 837	436	39 178
buse_palette	12001 à 14000	24	2	13 397	436	11 682
buse_palette	12001 à 14000	25	4	12 650	436	22 062
buse_palette	12001 à 14000	26	3	12 931	436	16 914
buse_palette	12001 à 14000	27	1	14 000	436	6 104
buse_palette	12001 à 14000	29	1	12 500	436	5 450
buse_palette	12001 à 14000	30	1	12 600	436	5 494
buse_palette	14001 à 17000	1	42	15 911	814	543 968
buse_palette	14001 à 17000	2	43	15 938	814	557 865
buse_palette	14001 à 17000	3	51	15 962	814	662 630
buse_palette	14001 à 17000	4	58	15 943	814	752 724
buse_palette	14001 à 17000	5	55	15 958	814	714 433
buse_palette	14001 à 17000	6	81	15 942	814	1 051 111
buse_palette	14001 à 17000	7	85	15 865	692	933 171
buse_palette	14001 à 17000	8	69	15 791	692	754 003
buse_palette	14001 à 17000	9	46	15 965	692	508 205
buse_palette	14001 à 17000	10	59	15 530	692	634 041
buse_palette	14001 à 17000	11	40	15 587	692	431 456
buse_palette	14001 à 17000	12	43	15 566	692	463 169
buse_palette	14001 à 17000	13	33	15 621	456	235 059
buse_palette	14001 à 17000	14	35	15 623	456	249 341
buse_palette	14001 à 17000	15	12	15 475	456	84 679
buse_palette	14001 à 17000	16	11	15 298	456	76 736
buse_palette	14001 à 17000	17	7	15 371	456	49 066

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m ³
buse_palette	14001 à 17000	18	4	15 400	456	28 090
buse_palette	14001 à 17000	19	3	14 633	456	20 018
buse_palette	14001 à 17000	20	11	15 482	456	77 657
buse_palette	14001 à 17000	21	3	15 233	456	20 839
buse_palette	14001 à 17000	22	4	15 425	456	28 135
buse_palette	14001 à 17000	23	2	15 500	456	14 136
buse_palette	14001 à 17000	24	3	15 333	456	20 976
buse_palette	14001 à 17000	25	3	15 525	456	21 238
buse_palette	14001 à 17000	26	2	15 000	456	13 680
buse_palette	14001 à 17000	29	1	16 075	456	7 330
buse_palette	17001 à 18000	1	4	18 000	971	69 912
buse_palette	17001 à 18000	2	5	18 000	971	87 390
buse_palette	17001 à 18000	3	5	18 000	971	87 390
buse_palette	17001 à 18000	4	10	17 902	971	173 824
buse_palette	17001 à 18000	5	8	17 938	971	139 339
buse_palette	17001 à 18000	6	8	17 925	971	139 241
buse_palette	17001 à 18000	7	9	17 944	790	127 585
buse_palette	17001 à 18000	8	4	18 000	790	56 880
buse_palette	17001 à 18000	9	9	17 922	790	127 427
buse_palette	17001 à 18000	10	8	18 000	790	113 760
buse_palette	17001 à 18000	11	4	18 000	790	56 880
buse_palette	17001 à 18000	12	4	18 000	790	56 880
buse_palette	17001 à 18000	13	5	17 900	579	51 821
buse_palette	17001 à 18000	14	1	18 000	579	10 422
buse_palette	17001 à 18000	15	2	17 750	579	20 555
buse_palette	17001 à 18000	21	3	18 000	579	31 266
buse_palette	17001 à 18000	24	1	18 000	579	10 422
buse_palette	18001 à 21000	1	23	20 204	934	434 030
buse_palette	18001 à 21000	2	16	19 513	934	291 595
buse_palette	18001 à 21000	3	19	19 100	934	338 949
buse_palette	18001 à 21000	4	15	19 067	934	267 124
buse_palette	18001 à 21000	5	12	19 558	934	219 210
buse_palette	18001 à 21000	6	23	19 835	934	426 091
buse_palette	18001 à 21000	7	19	19 426	809	298 602
buse_palette	18001 à 21000	8	18	19 372	809	282 098
buse_palette	18001 à 21000	9	11	19 418	809	172 802
buse_palette	18001 à 21000	10	12	19 833	809	192 542
buse_palette	18001 à 21000	11	9	19 622	809	142 869
buse_palette	18001 à 21000	12	4	19 800	809	64 073
buse_palette	18001 à 21000	13	13	19 169	630	156 996
buse_palette	18001 à 21000	14	3	19 667	630	37 170
buse_palette	18001 à 21000	15	4	18 500	630	46 620
buse_palette	18001 à 21000	16	3	19 167	630	36 225

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m³
buse_palette	18001 à 21000	17	2	18 500	630	23 310
buse_palette	18001 à 21000	20	1	18 500	630	11 655
buse_palette	18001 à 21000	23	2	19 250	630	24 255
buse_palette	18001 à 21000	25	1	20 000	630	12 600
pendillard	< 12000	1	9	10 817	845	82 262
pendillard	< 12000	2	5	11 439	845	48 332
pendillard	< 12000	3	5	11 255	845	47 551
pendillard	< 12000	4	8	10 118	845	68 400
pendillard	< 12000	5	4	11 712	845	39 586
pendillard	< 12000	6	5	11 385	845	48 100
pendillard	< 12000	7	2	11 500	715	16 445
pendillard	< 12000	8	1	7 759	715	5 548
pendillard	< 12000	9	2	11 250	715	16 088
pendillard	< 12000	12	1	6 000	715	4 290
pendillard	< 12000	14	2	10 396	423	8 795
pendillard	< 12000	16	3	7 433	423	9 433
pendillard	< 12000	18	2	11 425	423	9 666
pendillard	< 12000	19	2	9 175	423	7 762
pendillard	< 12000	20	2	11 500	423	9 729
pendillard	< 12000	21	1	1 150	423	486
pendillard	< 12000	22	2	10 733	423	9 080
pendillard	< 12000	24	1	10 000	423	4 230
pendillard	> 21000	1	3	28 167	1581	133 595
pendillard	> 21000	2	2	23 188	1581	73 319
pendillard	> 21000	3	4	24 200	1581	153 041
pendillard	> 21000	4	5	24 600	1581	194 463
pendillard	> 21000	5	2	25 250	1581	79 841
pendillard	> 21000	6	1	24 500	1581	38 735
pendillard	> 21000	7	4	23 750	1273	120 935
pendillard	> 21000	8	2	23 600	1273	60 086
pendillard	> 21000	9	3	24 000	1273	91 656
pendillard	> 21000	10	3	23 700	1273	90 510
pendillard	12001 à 14000	1	4	12 591	750	37 772
pendillard	12001 à 14000	2	2	13 500	750	20 250
pendillard	12001 à 14000	3	6	13 392	750	60 264
pendillard	12001 à 14000	4	3	12 802	750	28 804
pendillard	12001 à 14000	5	1	12 600	750	9 450
pendillard	12001 à 14000	6	2	14 000	750	21 000
pendillard	12001 à 14000	7	1	14 000	630	8 820
pendillard	12001 à 14000	8	3	14 000	630	26 460
pendillard	12001 à 14000	9	3	13 067	630	24 696
pendillard	12001 à 14000	11	1	12 006	630	7 564
pendillard	12001 à 14000	12	1	12 788	630	8 056

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m³
pendillard	12001 à 14000	14	1	12 788	436	5 575
pendillard	12001 à 14000	17	2	12 975	436	11 314
pendillard	12001 à 14000	19	2	12 925	436	11 271
pendillard	12001 à 14000	20	1	13 250	436	5 777
pendillard	12001 à 14000	21	1	12 852	436	5 603
pendillard	12001 à 14000	23	1	12 500	436	5 450
pendillard	12001 à 14000	24	1	13 250	436	5 777
pendillard	12001 à 14000	26	1	12 852	436	5 603
pendillard	14001 à 17000	1	46	16 289	814	609 934
pendillard	14001 à 17000	2	26	16 022	814	339 088
pendillard	14001 à 17000	3	17	16 240	814	224 727
pendillard	14001 à 17000	4	22	16 010	814	286 700
pendillard	14001 à 17000	5	12	15 650	814	152 869
pendillard	14001 à 17000	6	8	16 025	814	104 355
pendillard	14001 à 17000	7	12	16 350	692	135 770
pendillard	14001 à 17000	8	15	16 227	692	168 433
pendillard	14001 à 17000	9	2	16 400	692	22 698
pendillard	14001 à 17000	10	3	16 630	692	34 524
pendillard	14001 à 17000	11	1	15 700	692	10 864
pendillard	14001 à 17000	12	3	16 117	692	33 458
pendillard	14001 à 17000	13	3	15 400	456	21 067
pendillard	14001 à 17000	14	4	15 963	456	29 116
pendillard	14001 à 17000	15	2	14 950	456	13 634
pendillard	14001 à 17000	17	1	15 850	456	7 228
pendillard	14001 à 17000	18	1	15 850	456	7 228
pendillard	14001 à 17000	19	1	15 700	456	7 159
pendillard	14001 à 17000	20	3	15 444	456	21 128
pendillard	14001 à 17000	21	1	16 700	456	7 615
pendillard	17001 à 18000	1	17	17 930	971	295 963
pendillard	17001 à 18000	2	15	17 993	971	262 067
pendillard	17001 à 18000	3	8	18 000	971	139 824
pendillard	17001 à 18000	4	7	17 878	971	121 517
pendillard	17001 à 18000	5	4	18 000	971	69 912
pendillard	17001 à 18000	6	5	18 000	971	87 390
pendillard	17001 à 18000	7	4	18 000	790	56 880
pendillard	17001 à 18000	8	4	18 000	790	56 880
pendillard	17001 à 18000	9	2	17 605	790	27 815
pendillard	17001 à 18000	10	2	17 927	790	28 325
pendillard	17001 à 18000	12	1	17 209	790	13 595
pendillard	17001 à 18000	21	1	18 000	579	10 422
pendillard	18001 à 21000	1	45	20 128	934	845 996
pendillard	18001 à 21000	2	34	19 424	934	616 814
pendillard	18001 à 21000	3	17	20 050	934	318 358

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m³
pendillard	18001 à 21000	4	13	19 619	934	238 217
pendillard	18001 à 21000	5	9	20 133	934	169 241
pendillard	18001 à 21000	6	11	19 592	934	201 286
pendillard	18001 à 21000	7	5	19 407	809	78 500
pendillard	18001 à 21000	8	5	18 800	809	76 046
pendillard	18001 à 21000	9	5	20 320	809	82 194
pendillard	18001 à 21000	10	1	20 000	809	16 180
pendillard	18001 à 21000	12	2	20 350	809	32 926
enfouisseur	< 12000	1	4	10 980	845	37 114
enfouisseur	< 12000	2	3	10 033	845	25 434
enfouisseur	< 12000	3	10	10 624	845	89 771
enfouisseur	< 12000	4	5	9 956	845	42 062
enfouisseur	< 12000	5	16	8 595	845	116 207
enfouisseur	< 12000	6	12	9 973	845	101 126
enfouisseur	< 12000	7	4	8 050	715	23 023
enfouisseur	< 12000	8	4	11 213	715	32 068
enfouisseur	< 12000	9	7	10 068	715	50 391
enfouisseur	< 12000	10	1	11 400	715	8 151
enfouisseur	< 12000	11	1	11 459	715	8 193
enfouisseur	< 12000	12	3	11 462	715	24 586
enfouisseur	< 12000	13	1	11 000	423	4 653
enfouisseur	< 12000	14	1	11 500	423	4 865
enfouisseur	< 12000	15	1	11 500	423	4 865
enfouisseur	< 12000	18	2	10 950	423	9 264
enfouisseur	< 12000	20	1	10 000	423	4 230
enfouisseur	< 12000	21	2	10 500	423	8 883
enfouisseur	< 12000	22	2	10 000	423	8 460
enfouisseur	< 12000	23	2	10 750	423	9 095
enfouisseur	< 12000	24	3	10 833	423	13 748
enfouisseur	< 12000	25	2	10 000	423	8 460
enfouisseur	< 12000	26	1	10 000	423	4 230
enfouisseur	> 21000	1	3	24 833	1581	117 785
enfouisseur	> 21000	3	3	25 333	1581	120 156
enfouisseur	> 21000	7	1	25 000	1273	31 825
enfouisseur	> 21000	22	1	22 000	990	21 780
enfouisseur	12001 à 14000	3	3	13 591	750	30 579
enfouisseur	12001 à 14000	4	3	13 233	750	29 775
enfouisseur	12001 à 14000	5	4	13 192	750	39 576
enfouisseur	12001 à 14000	10	2	13 300	630	16 758
enfouisseur	12001 à 14000	11	1	13 600	630	8 568
enfouisseur	12001 à 14000	14	3	13 335	436	17 443
enfouisseur	12001 à 14000	15	1	13 473	436	5 874
enfouisseur	12001 à 14000	16	3	13 313	436	17 414

e : Type d'équipement	c : Catégorie de capacité (en litres)	a : Age (en années)	n : Nombre de tonnes à lisier	K : Capacité moyenne par tonne à lisier en litres	V : Nombre de voyages par an et par tonne à lisier	E : Volume épandu annuel de la catégorie en m ³
enfouisseur	12001 à 14000	18	3	13 244	436	17 324
enfouisseur	12001 à 14000	19	2	13 370	436	11 658
enfouisseur	12001 à 14000	20	2	13 267	436	11 569
enfouisseur	12001 à 14000	21	1	13 267	436	5 784
enfouisseur	12001 à 14000	22	2	13 370	436	11 658
enfouisseur	12001 à 14000	23	5	13 418	436	29 252
enfouisseur	12001 à 14000	24	1	13 267	436	5 784
enfouisseur	12001 à 14000	25	1	13 473	436	5 874
enfouisseur	12001 à 14000	31	1	13 473	436	5 874
enfouisseur	14001 à 17000	1	7	16 100	814	91 738
enfouisseur	14001 à 17000	2	3	15 933	814	38 909
enfouisseur	14001 à 17000	3	6	16 333	814	79 772
enfouisseur	14001 à 17000	4	10	16 430	814	133 740
enfouisseur	14001 à 17000	5	5	15 487	814	63 033
enfouisseur	14001 à 17000	6	6	15 767	814	77 004
enfouisseur	14001 à 17000	7	2	15 850	692	21 936
enfouisseur	14001 à 17000	8	1	16 500	692	11 418
enfouisseur	14001 à 17000	9	1	16 800	692	11 626
enfouisseur	14001 à 17000	10	1	14 600	692	10 103
enfouisseur	14001 à 17000	11	1	15 700	692	10 864
enfouisseur	14001 à 17000	14	1	16 000	456	7 296
enfouisseur	14001 à 17000	18	1	15 000	456	6 840
enfouisseur	14001 à 17000	22	3	15 067	456	20 611
enfouisseur	14001 à 17000	23	1	15 000	456	6 840
enfouisseur	17001 à 18000	2	1	18 000	971	17 478
enfouisseur	17001 à 18000	3	1	18 000	971	17 478
enfouisseur	17001 à 18000	4	2	18 000	971	34 956
enfouisseur	18001 à 21000	1	9	19 964	934	167 820
enfouisseur	18001 à 21000	2	7	19 823	934	129 602
enfouisseur	18001 à 21000	3	6	20 000	934	112 080
enfouisseur	18001 à 21000	5	2	19 767	934	36 924
enfouisseur	18001 à 21000	6	2	19 306	934	36 063
enfouisseur	18001 à 21000	7	1	20 700	809	16 746
enfouisseur	18001 à 21000	13	1	20 700	630	13 041
enfouisseur	18001 à 21000	23	1	20 700	630	13 041
enfouisseur	18001 à 21000	28	1	20 700	630	13 041

A.6. Estimation des quantités de matière sèche des résidus de culture

Les quantités de matière sèche des résidus par culture sont nécessaires pour l'estimation de 2 sources d'émissions distinctes :

- Émissions de N₂O liées à la décomposition des résidus de culture, après conversion de la matière sèche en azote,
- Émissions liées au brûlage des résidus de culture.

Les quantités de matière sèche et d'azote des résidus de cultures aériens et racinaires sont estimées à partir de l'équation du Giec 2019 [799] équations 11.6 et 11.7 et du paramètre IR calculé au niveau national. Compte tenu des évolutions méthodologiques des lignes directrices 2019, le choix a été fait de s'aligner au maximum sur la notation et les unités utilisées par le Giec pour les variables.

Tableau 106. Équations mobilisées pour le calcul des quantités azotées des résidus de récolte

(e1)	$FCR_{(T)} = \left[AGR_{(T)} \cdot N_{AG(T)} \cdot \left(1 - Frac_{Remove(T)} - (Frac_{Burnt(T)} \cdot C_f) \right) \right] + \left[BGR_{(T)} \cdot NBG_{(T)} \right]$
(e2)	$BGR_{(T)} = (Crop_{(T)} + AG_{DM(T)}) \cdot RS_{(T)} \cdot Area_{(T)} \cdot Frac_{Renew(T)}$
(e3)	$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} \cdot R_{AG(T)}$
(e4)	$Crop_{(T)} = YieldFresh_{(T)} \cdot DRY_{(T)} = \frac{Prod_{(T)} \cdot DRY_{(T)}}{Area_{(T)}}$
(e5)	$R_{AG(T)} = \frac{1 - IR_{(T)}}{IR_{(T)}}$

Avec pour une culture T :

$FCR_{(T)}$: Azote des résidus retournant au sol (kgN/ha)
$AGR_{(T)}$: Matière sèche (MS) totale des résidus aériens avant export et brûlage (kgMS)
$N_{AG(T)}$: Teneur en azote des résidus aériens (kgN/kgMS)
$Frac_{Remove(T)}$: Fraction exportée des résidus aériens (%)
$Frac_{Burnt(T)}$: Fraction brûlée des résidus aériens (%)
C_f	: Facteur de combustion (sans dimension)
$BGR_{(T)}$: Matière sèche des résidus racinaires (kgMS)
$NBG_{(T)}$: Teneur en azote des résidus racinaires (kgN / kgMS)
$Crop_{(T)}$: Rendement matière sèche de la culture T (kgMS / ha)
$AG_{DM(T)}$: Matière sèche des résidus aériens (kgMS / ha)
$RS_{(T)}$: MS résidus racinaires / MS biomasse aérienne totale (sans dimension)
$Area_{(T)}$: Superficie récoltée de la culture T (ha)
$Frac_{Renew(T)}$: Part des surfaces renouvelées annuellement (%)
$R_{AG(T)}$: MS résidus aériens / MS récoltée : $RAG = (1 - IR) / IR$
$IR_{(T)}$: Indice de récolte (MS récoltée / MS biomasse aérienne) : $IR = 1 / (1 + RAG)$

$YieldFresh_{(T)}$: Rendement moyen de la culture T (kg / ha)

$DRY_{(T)}$: Teneur en matière sèche des récoltes (%)

$Prod_{(T)}$: Production récoltée de la culture T (en kg)

La méthode développée ci-dessus s'applique aux cultures pour lesquelles sont récoltées les parties aériennes. Dans le cas des betteraves et des pommes de terre, on utilise une quantité de matière sèche et d'azote de résidus aériens par ha pour calculer le FCR, récapitulées dans le tableau à la fin de cette section [486], pour estimer les quantités d'azote et de matière sèche de résidus aériens. En effet, pour ces cultures les résidus de récolte n'augmentent pas avec le rendement racinaire.

Frac_{Renew}(T)

Le paramètre prend la valeur de 1 pour les cultures et 1/x avec x le nombre d'années pendant lesquelles les pâtures ne sont pas renouvelées :

Dans le cas des prairies artificielles et temporaires, le paramètre prend pour valeur 1/3, car les prairies temporaires et artificielles sont censées être implantées pour moins de 6 ans ce qui donne en moyenne des prairies retournées tous les 3 ans, et qui est cohérent avec la fréquence d'implantation de culture de luzernes qui sont renouvelées tous les 3 ou 4 ans en général,

Dans le cas des prairies permanentes (naturelles semées depuis plus de 6 ans et surfaces toujours en herbe peu productive), le paramètre prend la valeur de 1/8. Ce résultat est issu des enquêtes TERUTI [662] et correspond à la durée moyenne de « vie » des prairies permanentes en métropole sur la période 1992-2003.

AG_{DM}(T)

Le paramètre « AGDM » (kgMS/ha) est estimé à partir de l'indice de récolte IR (fraction des parties aériennes constituée par le grain : MS récoltée / MS biomasse aérienne), de la surface de cultures et des productions (tMS).

$$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} \cdot R_{AG(T)} = \left(\frac{Prod_{(T)} \cdot DRY_{(T)}}{Area_{(T)}} \right) \times \left(\frac{1 - IR_{(T)}}{IR_{(T)}} \right)$$

Pour le colza, l'équation du Cetiom a été utilisée afin d'estimer la valeur de ce paramètre [486]. L'équation est rapportée ci-dessous car celle présentée dans le rapport présente une erreur d'unité :

$$\text{Résidus aériens (tonnes MS)} = 0,0011 \times \text{Rendement MS (kg MS/ha)} + 4,754$$

Pour les prairies et fourrages annuels (hors maïs) les équations des lignes directrices du Giec 2019 ont été mobilisées (table 11.2 p 11.19).

AGR_(T)

Le paramètre « AGR(T) » (kgMS) est déduit des données de surfaces et du paramètre AGDM selon l'équation suivante :

$$AGR_{(T)} = AG_{DM(T)} \cdot Area_{(T)}$$

Nous avons exclu le paramètre FracRenew dans l'équation ce qui n'a pas d'impact sur les cultures annuelles (FracRenew = 1). Pour tous les types de prairies en revanche (FracRenew < 1), cela implique que la fraction aérienne non prélevée par pâturage ou récolte est rendue disponible chaque année au sol, et contribue ainsi aux émissions. En effet, l'équation des lignes directrices du Giec 2019 n'est plus explicite sur le calcul du AGR(T) notamment concernant l'ajout du paramètre FracRenew alors qu'il l'est pour le BGR(T). La pratique conservatrice consiste ainsi à retenir le calcul conduisant aux émissions les plus élevées afin d'éviter une sous-estimation de celles-ci.

Prod_(T)

Les données de productions sont issues de la SAA [410]. Les tableaux suivants représentent l'évolution des productions pour 18 catégories de cultures, regroupant les 40 cultures étudiées dans l'inventaire, en kilotonnes (kt).

Tableau 107 : Évolutions des productions de céréales et oléagineux (kt) – Métropole

	Blé	Orge	Maïs	Riz	Autres céréales	Colza	Tournesol	Soja, Lin et autres oléagineux
1990	33 337	9 969	9 381	122	2 248	1 975	2 324	259
1991	34 362	10 603	12 797	115	2 355	2 292	2 611	167
1992	32 491	10 435	14 823	128	2 572	1 854	2 143	88
1993	29 200	8 909	14 726	131	2 424	1 586	1 733	165
1994	30 493	7 566	12 816	129	2 155	1 829	2 132	323
1995	30 870	7 590	12 584	127	2 097	2 703	2 017	287
1996	35 935	9 404	14 319	120	2 460	2 878	2 049	242
1997	33 862	10 004	16 535	127	2 484	3 443	2 044	277
1998	39 801	10 431	14 885	114	2 690	3 690	1 759	293
1999	36 951	9 376	15 355	110	2 447	4 392	1 931	300
2000	37 344	9 716	15 977	115	2 494	3 476	1 833	236
2001	31 532	9 793	16 355	102	2 349	2 873	1 586	332
2002	38 888	10 956	16 309	104	3 145	3 318	1 495	225
2003	30 303	9 833	12 155	105	2 459	3 366	1 513	158
2004	39 615	11 011	16 375	113	3 212	3 998	1 456	160
2005	36 797	10 289	13 877	100	3 024	4 529	1 508	167
2006	35 267	10 372	13 033	92	2 883	4 145	1 437	167
2007	32 657	9 435	14 482	86	2 529	4 690	1 309	121
2008	38 860	12 110	16 152	103	2 896	4 716	1 595	80
2009	38 186	12 831	15 678	126	3 277	5 586	1 716	138
2010	38 023	10 046	14 155	111	3 158	4 811	1 636	189
2011	36 015	8 780	16 231	129	2 986	5 369	1 872	172
2012	37 890	11 343	15 707	124	3 424	5 466	1 586	147
2013	38 617	10 311	15 249	80	3 221	4 368	1 572	151
2014	38 972	11 723	18 797	83	3 283	5 524	1 584	273
2015	42 787	13 096	14 116	80	3 028	5 336	1 191	398
2016	29 285	10 439	11 970	80	2 466	4 743	1 170	394
2017	38 653	12 087	14 678	90	3 069	5 317	1 594	490
2018	35 833	11 173	12 892	72	2 688	4 981	1 235	459
2019	41 083	13 725	13 112	84	3 232	3 523	1 294	487
2020	30 536	10 398	13 888	77	2 858	3 290	1 608	481
2021	36 990	11 455	15 539	66	3 586	3 307	1 913	528
2022	35 040	11 418	11 005	66	3 104	4 517	1 798	445
2023	36 364	12 278	12 823	69	3 236	4 267	2 061	464

Tableau 108 : Évolutions des productions de protéagineux, tubercules, fourrages et herbe (kt) – Métropole

	Pois	Autres protéagineux	Betteraves	Pomme de terre	Fourrages	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles*	STH peu productives
1990	3 597	96	31 675	4 723	19 101	4 126	12 888	37 631	3 146
1991	3 193	76	29 410	5 407	23 478	4 250	15 154	38 036	3 182
1992	3 259	63	31 534	6 568	25 460	4 952	18 184	48 013	3 772
1993	3 728	65	31 620	5 731	23 544	4 922	18 834	47 279	3 789
1994	3 402	55	28 898	5 377	22 834	4 520	19 475	45 462	3 405
1995	2 776	50	30 342	5 752	21 730	3 984	16 884	39 507	3 178
1996	2 604	48	30 921	6 104	20 499	3 534	15 861	36 085	3 350
1997	3 154	52	34 005	6 513	23 687	3 617	16 933	38 353	3 147
1998	3 349	72	30 790	5 908	21 645	3 708	19 341	40 789	3 345
1999	2 709	89	32 474	6 534	21 982	3 769	21 237	44 323	3 835
2000	1 936	134	31 121	6 462	21 748	3 806	21 751	46 700	3 708
2001	1 653	191	26 839	6 033	22 344	3 444	20 288	41 546	3 393

	Pois	Autres protéagineux	Betteraves	Pomme de terre	Fourrages	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles*	STH peu productives
2002	1 654	347	33 452	6 834	21 586	3 294	21 000	41 218	3 496
2003	1 608	299	29 310	6 302	19 357	2 427	13 732	27 415	2 413
2004	1 673	387	30 763	7 185	20 483	3 200	21 649	43 595	2 954
2005	1 322	390	31 118	6 517	18 273	2 824	17 254	35 869	2 481
2006	1 004	307	29 845	6 280	17 835	2 827	18 849	39 147	2 756
2007	585	257	33 197	7 100	18 978	3 259	25 992	48 032	3 259
2008	441	320	30 294	6 713	19 231	2 935	25 283	44 834	3 078
2009	536	446	35 126	7 027	19 743	2 610	21 574	37 769	2 662
2010	902	623	31 866	6 612	17 829	2 319	19 584	35 181	2 697
2011	564	433	37 941	7 450	20 350	1 987	17 976	31 274	2 672
2012	473	341	33 075	6 384	19 613	2 139	24 828	39 862	3 059
2013	425	300	33 619	6 980	19 976	2 113	23 568	38 908	3 593
2014	456	353	37 832	8 111	22 003	2 286	27 074	42 698	3 976
2015	557	364	33 590	7 171	19 267	2 435	21 018	32 089	3 250
2016	439	323	34 572	7 028	18 241	2 694	19 485	33 968	2 984
2017	629	342	46 298	8 646	21 139	3 025	20 695	35 968	3 295
2018	495	244	39 876	7 979	19 148	3 325	17 074	31 534	3 120
2019	595	300	38 013	8 687	18 509	3 300	16 305	29 772	2 849
2020	559	282	26 163	8 820	18 678	3 575	16 508	31 626	3 420
2021	552	379	34 365	8 986	21 016	5 087	22 178	48 354	4 336
2022	400	336	31 497	8 063	16 450	3 907	14 741	32 634	3 182
2023	485	406	31 612	8 847	20 235	4 814	19 107	42 068	4 659

*ou semées depuis plus de 6 ans

Les statistiques nationales [410] fournissent des productions de grains normalisées, c'est à dire ramenées aux teneurs en humidité commerciales (MH = 1-DRY). Ces productions annuelles en kt sont converties en kt MS grâce au facteur DRY (teneur en matière sèche). Les normes commerciales considérées sont de 15 % M.H. pour le maïs, le blé tendre et l'orge, 14,5 % M.H. pour le sorgho, à 14 % pour le pois et le soja, à 9 % M.H. pour le tournesol et le colza. Pour les fourrages, la statistique agricole fournit les valeurs directement en tonne de matière sèche.

$IR_{(T)}$

Les indices de Récolte (IR) sont fournis par divers organismes techniques ou de recherche nationaux, à partir de nombreuses mesures réalisées in-situ. Lorsque plusieurs données de teneur en matière sèche des résidus étaient disponibles pour une même culture et produites par plusieurs organismes, la référence la plus pertinente a été retenue (la pertinence a été évaluée en fonction de nombreux paramètres, dont le nombre de mesures, et a été validée par le groupe de travail sur les inventaires réunissant l'ensemble des experts nationaux issus des différents Instituts Techniques Agricoles). Ces résultats ont été compilés par le Citepa et publiés dans un document de synthèse [486].

$Frac_{Remove(T)}$ et $Frac_{Burnt(T)}$

Les paramètres AreaBURNT et FracREMOVE sont estimés à partir des données de devenir des résidus de cultures des enquêtes sur les pratiques culturales [485]. Ces enquêtes fournissent des informations par culture sur les surfaces sur lesquels les résidus de cultures sont brûlés et pour lesquelles les résidus de cultures sont exportés.

C_f

Les facteurs de combustion C_f proviennent des lignes directrices du Giec 2019 [1229], chapitre 2, Table 2.6 p 2.56

$N_{AG(T)}$

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus aériens (NAG) est estimé à partir de teneurs en azote des

résidus fournies par divers organismes techniques ou de recherche nationaux, à partir de nombreuses mesures réalisées in-situ. Lorsque plusieurs données de teneur en azote des résidus étaient disponibles pour une même culture et produites par plusieurs organismes, la référence la plus pertinente a été retenue (la pertinence a été évaluée en fonction de nombreux paramètres dont le nombre de mesures et a été validée par le groupe de travail sur les inventaires réunissant l'ensemble des experts nationaux issus des différents Instituts Techniques Agricoles). Ces résultats ont été compilés par le Citepa et publiés dans un document de synthèse [486]. Pour les prairies les valeurs des lignes directrices Giec 2019 ont été appliquées.

$RS_{(T)}$

Les valeurs prises correspondent aux valeurs par défaut des lignes directrices 2019, Table 11.1A p 11.17 [1229]

$NBG_{(T)}$

Le pourcentage d'azote dans la biomasse sèche des résidus racinaires (NBG) correspond aux valeurs par défaut des lignes directrices 2019 [1229].

Les différents paramètres retenus pour les résidus de culture sont synthétisés dans le tableau suivant. Les données étant spécifiques à 40 cultures différentes, ce tableau fournit des fourchettes par famille de cultures.

	Unité	Blé tendre	Maïs grain	Colza	Tournesol	Pois protéagineux	Betteraves industrielles	Pommes de terre
NAG	kgN / kgMS	0,64%	0,91%	0,70%	0,99%	1,35%	2,09%	1,45%
IR	%	49,00%	49,00%		33,33%	58,00%	72,69%	80,00%
RAG	-	1,041	1,041		2,000	0,724	0,376	0,250
DRY	%	85%	85%	91%	91%	86%	23%	22%
Crop	kgMS / ha	6 043	8 525	3 074	2 487	2 460	19 852	9 294
Cf	-	0,9	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
FracBurnt	%	0,40%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,39%	3,09%
FracRemove	%	53,40%	2,60%	8,90%	2,50%	7,60%	11,90%	11,90%
FracRenew	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NBG	kgN / kgMS	0,009	0,007	0,009	0,009	0,008	0,014	0,014
AGDM	kgMS / ha	6 290	8 873	4 757	4 975	1 782	7 460	2 324
RS	-	0,23	0,22	0,22	0,22	0,19	0,20	0,20
FCR / ha	kgN / ha						140	40

	Unité	Maïs fourrage	Autres fourrages annuels	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles ou semées depuis plus de 6 ans	STH peu productives
NAG	kgN / kgMS	0,60%	1,50%	2,70%	2,50%	2,50%	1,50%
IR	%	90,00%					
RAG	-	0,111					
DRY	%	32%	32%	21%	19%	21%	21%
Crop	kgMS / ha	14 291	4 495	8 410	7 102	5 402	1 195
Cf	-	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

	Unité	Maïs fourrage	Autres fourrages annuels	Prairies artificielles	Prairies temporaires	Prairies naturelles ou semées depuis plus de 6 ans	STH peu productives
FracBurnt	%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FracRemove	%	28,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FracRenew	-	1,00	1,00	0,333	0,333	0,125	0,125
NBG	kgN / kgMS	0,007	0,012	0,019	0,016	0,012	0,012
AGDM	kgMS / ha	1 588	809	2 439	2 131	1 621	358
RS	-	0,22	0,54	0,40	0,80	0,80	0,80
FCR / ha	kgN / ha						

Crédit des illustrations

Couverture

@ Stin Te Strake / Unsplash

Introduction (de gauche à droite et de haut en bas)

@ Tomfisk / PEXELS

