

**LES
ÉTUDES**



**RESSOURCES EN BIOMASSE :
QUEL POTENTIEL DE
SUBSTITUTION DES ENGRAIS
DE SYNTHÈSE ?**

Ressources en biomasse : quel potentiel de substitution des engrais de synthèse ?

Table des matières

Synthèse.....	3
1. Introduction	4
2. État des lieux de l'utilisation des engrais de synthèse dans le monde et en France	4
3. Stratégies nationales et supranationales en faveur d'une réduction des engrais de synthèse.....	6
La Stratégie National Bas Carbone (SNBC).....	7
Stratégie européenne <i>Farm to fork</i> ou « de la ferme à la table »	7
4. Les alternatives aux engrais minéraux : avantages et limites	7
Les effluents d'élevage	8
Les digestats	10
Les résidus de culture (pailles de céréales)	13
L'urine humaine	13
5. Bouclage biomasse-fertilisant.....	15
6. Conclusion	16
Annexe 1 : Figures complémentaires.....	17
Annexe 2 : Urine humaine : collecte hygiénisation, stockage et logistique associée.....	20

Table des illustrations

Figure 1 : Évolution du rendement en grains pour le blé en France (1815-2011) (Source : ENS Lyon)	4
Figure 2 : Importations françaises en volume d'engrais minéraux ou chimiques azotés (Source : TDM)	5
Figure 3 : Évolution du prix des principaux engrais (Source : Agriculture Market Information System)	6
Figure 4: Carte production régionale de digestat en France Métropolitaine	12
Figure 5 : Pourcentage de la SAU régionale qui pourrait être fertilisée avec de l'urine humaine	14
Figure 6 : Gisement disponible de fumier en 2022 en France Métropolitaine (Source : ONRB)	18
Figure 7 : Gisement disponible de lisier en 2022 en France Métropolitaine (Source : ONRB)	19
Figure 8 : Urinoir sec (Source : réseau OCAPI)	20
Tableau 1 : Composition moyenne de différents types d'effluents d'élevage (source : Chambre d'agriculture Hauts de France, Arvalis, RMT élevages, ONRB)	8
Tableau 2 : Apport fumier et lisier en N,Pet K si hypothèse d'épandage de 80% (Sources : ONRB, Chambre d'Agriculture Hauts-de-France, INSEE, Arvalis, IFCE, RMT élevages)	9
Tableau 3 : Composition physico-chimique des différentes classes de digestats et potentiel fertilisant azoté (source : Ferti-Dig)	11
Tableau 4 : Estimation de la fertilisation efficace obtenue par la somme des effluents d'élevage, du digestat, de l'urine humaine et des pailles de céréales	15
Tableau 5 : Coefficients d'équivalence engrais N,P et K avec un apport au printemps sur du maïs (sources : RMT élevage et environnement, WebAgri,COMIFER)	17
Tableau 6 : Apport fumier et lisier en N,P,K si hypothèse d'épandage de 100 % (Sources : ONRB, Chambre d'Agriculture Hauts-de-France, INSEE, Arvalis, IFCE, RMT élevages)	17

Synthèse

Objectif de l'étude

Estimer le potentiel de substitution des engrais minéraux par des engrais organiques. Dans cette étude, quatre grandes familles de matières organiques ont été retenues : les effluents, le digestat, les pailles de céréales et l'urine humaine.

Points méthodologiques importants

- 80% des effluents d'élevage sont épandus ;
- La volatilisation de l'azote n'est pas prise en compte ;
- Décapitalisation tendancielle du cheptel bovin par rapport à 2020-2022 ;
- 100% du digestat est épandu
- 100% de l'urine des 15 – 75 ans est utilisable. Seule ressource non mobilisée à l'heure actuelle

Résultats principaux

- L'épandage d'effluents d'élevage, de digestat et d'urine humaine permettrait de couvrir 477 739 tonnes d'azote efficace (24% du besoin), 160 035 tonnes de phosphore efficace (104% du besoin) et 734 113 tonnes de potassium efficace (221% du besoin)

1. Introduction

Les engrais minéraux en particulier les engrais dits NPK (azote, phosphore et potassium), ont révolutionné les pratiques agricoles en augmentant significativement le rendement des cultures (Figure 1). Ils ont permis d'assurer la sécurité alimentaire d'une partie du monde dont la France après la seconde guerre mondiale. Cette révolution est due au procédé *Haber-Bosch* qui s'est largement développé en agriculture dans les années 50-60. Aujourd'hui, 50% de la population mondiale dépende des engrais issus de ce procédé pour se nourrir¹. Il consiste à associer l'azote de l'air à de l'hydrogène provenant de gaz naturel, afin d'obtenir de l'ammoniac. Ce dernier fournira la plante en azote une fois appliqué à la culture².

Cependant, cet assujettissement aux engrais de synthèse soulève des préoccupations en matière de durabilité environnementale, de par sa dépendance aux énergies fossiles, de sécurité d'approvisionnement, point qui a été mis en lumière avec l'invasion de l'Ukraine par la Russie, et par conséquent de souveraineté alimentaire. Ainsi, cette note se propose de dresser un état des lieux de l'utilisation des engrais azotés, phosphatés et potassiques dans le monde et en France, d'analyser les stratégies nationales et supranationales en faveur d'une réduction des engrais de synthèse et d'examiner les alternatives disponibles à savoir l'épandage d'effluents d'élevage, le digestat, les résidus de culture (paille de céréales) ainsi que l'urine humaine tout en mettant en évidence les avantages et les limites.

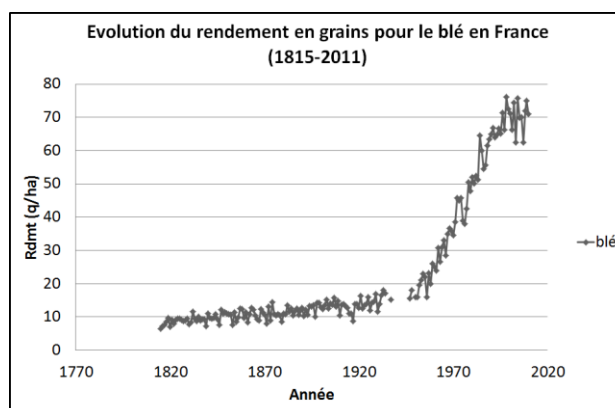


Figure 1 : Évolution du rendement en grains pour le blé en France (1815-2011) (Source : ENS Lyon)

2. État des lieux de l'utilisation des engrais de synthèse dans le monde et en France

Les plantes ont besoin pour leur croissance de trois nutriments primaires que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Pour satisfaire les besoins de la plante et nourrir une population toujours plus nombreuse, le recours aux engrais azotés, phosphatés et potassiques s'est généralisé à partir des années 50-60³. En 2021,⁴ la **production mondiale** était respectivement de 118 millions de

¹ « Engrais russes pour les pays africains : une 1ère cargaison quitte les Pays-Bas pour le Malawi », Nations Unies, 29 novembre 2022, <https://news.un.org/fr/story/2022/11/1130217#:~:text=Environ%2050%25%20de%20la%20population,M>

² Daniel.D Dulek, "The chemical reaction that feeds the world", YouTube, Novembre 2013, https://www.youtube.com/watch?v=o1_D4FscMnU

³ Inès Velu, « Entre progrès agricole et urgence environnementale : le paradoxe des engrais », Carbone4, 12 février 2025

⁴ AND International, « Étude sur le fonctionnement général du marché des engrais minéraux dans la situation spécifique des filières cultures », FAM, Octobre 2024, https://www.franceagrimer.fr/content/download/74960/document/ETU-MUL-Engrais_mineraux_et_grandes_cultures_2024.pdf

tonnes eq N⁵, 35 millions de tonnes eq P₂O₅⁶ et 43 millions de tonnes eq K₂O⁷. Parmi les engrais azotés les plus utilisés dans le monde, l'urée domine avec 70 % des volumes eq N. Les plus gros producteurs d'engrais sont, entre autres, la Russie, la Chine, le Canada et le Maroc.

En **France**, en 2022, 60 % des engrais commercialisés sont des engrais minéraux (40 % d'engrais organiques)⁸. 8 millions de tonnes d'engrais minéraux ont été livrés, dont 5,3 millions d'engrais minéraux azotés⁹, ce qui fait de la France le premier pays consommateur en Europe. Comme la production d'engrais repose sur l'extraction de minéraux non disponibles en France (ex : roches phosphatées) et des gisements de gaz naturel, seulement 34 % de l'azote consommé en France est produit en France ce qui correspond à 688 milliers de tonnes eq N. Le reste provient de pays européens ou extra-européens¹⁰. Ses principaux fournisseurs concernant les **engrais azotés** sont la Belgique, les Pays-Bas, l'Égypte et l'Algérie (*Erreur ! Source du renvoi introuvable.*). Ainsi, en 2022, 2,066 millions de tonnes eq N ont été commercialisées dont 1,986 millions sous forme minérale⁸. La Russie est également un partenaire notable. Entre 2019 et 2021, les importations d'engrais azotés russes ont chuté d'environ 30 % du fait de la guerre en Ukraine mais sont reparties à la hausse en 2022-2023, passant de 261 268 tonnes en 2021 à 489 475 tonnes d'engrais azotés simples. Israël, le Maroc et les Pays-Bas sont les pourvoyeurs majeurs pour les **engrais phosphatés minéraux**. La consommation de ces engrais représente 351 milliers de tonnes eq P₂O₅ en 2022⁸. Enfin, concernant les **engrais potassiques minéraux**, l'Allemagne et la Belgique sont ses principaux fournisseurs⁹. La consommation de ces engrais représente 399 milliers de tonnes eq K₂O⁸.

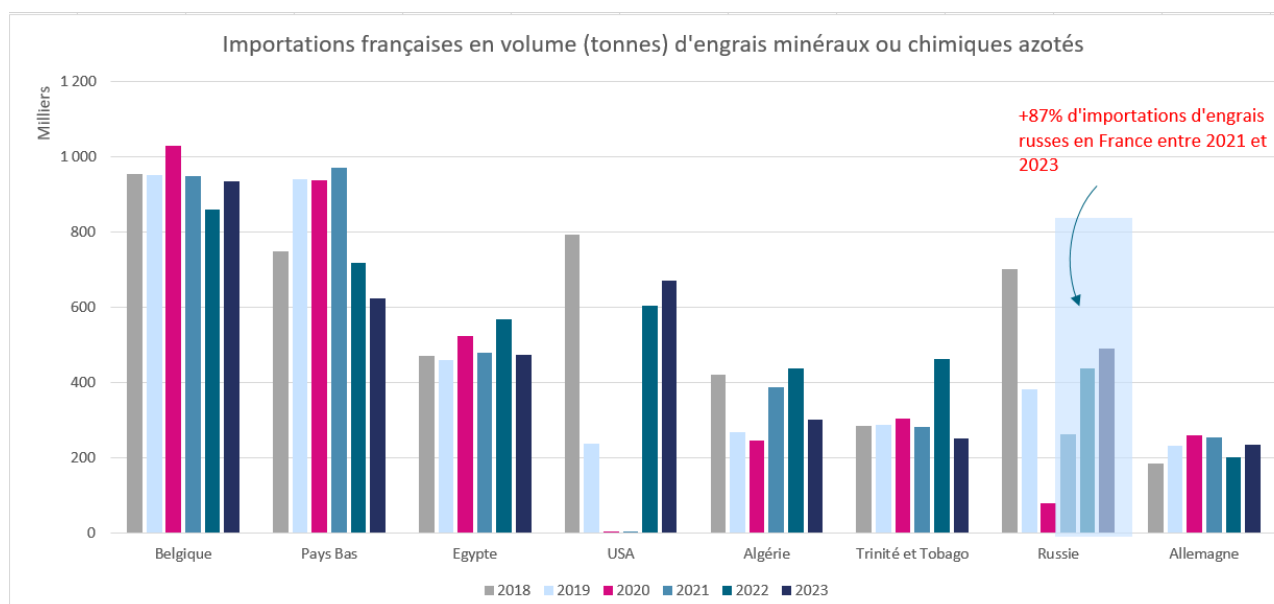


Figure 2 : Importations françaises en volume d'engrais minéraux ou chimiques azotés (Source : TDM)

⁵ Équivalent azote

⁶ Équivalent phosphate

⁷ Équivalent potassium

⁸ UNIFA et AFAÏA, Observatoire national de la fertilisation minérale et organique, Résultats 2022

⁹ TDM

¹⁰ FranceAgriMer, SGPE, Agreste, Météo France, « Évaluation de la souveraineté agricole et alimentaire de la France », Mars 2024, <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/293731.pdf>

Le contexte inflationniste du prix de l'énergie, en particulier celui du gaz naturel, conduit à une augmentation des coûts de production des engrais (Figure 3) avec des impacts directs sur la rentabilité des exploitations agricoles et sur les prix des denrées alimentaires.

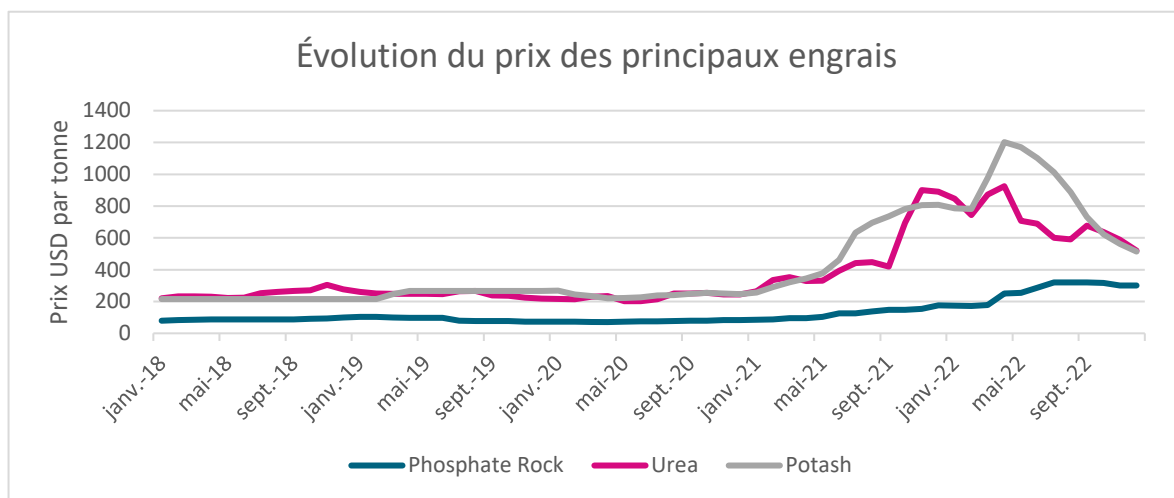


Figure 3 : Évolution du prix des principaux engrais (Source : Agriculture Market Information System)

Le secteur agricole est donc à l'interface de questions économiques (compétitivité, souveraineté alimentaire, prix des denrées alimentaires), géopolitiques (cours mondiaux des matières premières, guerre en Ukraine...) et environnementales (impacts environnemental et climatique des productions). C'est pourquoi, il est au cœur de nombreuses stratégies nationales et supranationales en faveur d'une transition vers une agriculture durable, de la préservation de la biodiversité et de la lutte contre le réchauffement climatique.

3. Stratégies nationales et supranationales en faveur d'une réduction des engrais de synthèse

Le secteur agricole et sylvicole représente 21 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) en France, soit le 2^{ème} secteur après celui des transports. Ses émissions se décomposent de la manière suivante¹¹ :

- 45 % de méthane (CH_4) issu de la digestion des ruminants et du stockage de leurs effluents ;
- 42 % de protoxyde d'azote (N_2O) issu des engrais azotés, des effluents d'élevage et des résidus agricoles, ce qui correspond à 89,6 % des émissions nationales tous secteurs confondus ;
- 13 % de dioxyde de carbone (CO_2) émis par les engins agricoles, les serres chauffées ou encore les bâtiments d'élevage.

À ces émissions s'ajoutent celles liées à la production d'engrais azoté, qui génère une grande quantité de CO_2 et de NO_2 . En effet, les engrais de synthèse sont produits à partir d'énergie fossiles et de quatre produits chimiques primaires que sont l'ammoniac, l'acide sulfurique, l'acide phosphorique et le chlorure de potassium. De plus, un apport excessif d'engrais azoté par rapport au besoin de la plante entraîne un surplus qui reste sur les sols après la récolte^{3,12}.

¹¹ Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, « Infographie [Le secteur agricole et forestier est à la fois émetteur et capteur de gaz à effet de serre](#) », 5 décembre 2022

¹² INSEE, « Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires », février 2024

Face à cet enjeu environnemental, la France s'est dotée de plusieurs stratégies afin de réduire les émissions de protoxyde d'azote liées aux engrais, objets de cette note, et par la même occasion d'en réduire sa dépendance.

La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)

Adoptée en 2015 sous l'impulsion de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), la SNBC est une feuille de route qui vise à lutter contre le changement climatique et atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Elle fixe un objectif de baisse d'émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport au niveau de 2015¹³ de 19 % en 2030 et de 46 % en 2050. La réduction des surplus d'engrais azotés est un levier identifié pour permettre d'atteindre ces objectifs. De même, la SNBC 3 prévoit une baisse de 26 % du recours aux engrais minéraux azotés d'ici 2030, afin d'atteindre l'objectif de réduction de 13 % d'émissions de GES par rapport à 2021¹⁴

Stratégie européenne *Farm to fork* ou « de la ferme à la table »

Adoptée par la Commission européenne en octobre 2021 dans le cadre du *Green Deal*, la stratégie « *Farm to fork* » doit permettre un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement. Elle s'articule autour de 6 axes, parmi lesquels celui de garantir un système de production alimentaire durable, qui vise une réduction de 20 % de l'usage des engrais d'ici à 2030 et une réduction des pertes de nutriments de 50 %¹⁵.

4. Les alternatives aux engrais minéraux : avantages et limites

Il existe deux formes d'azote, l'azote ammoniacal (NH_4) et l'azote organique (*N org*). L'azote ammoniacal peut être utilisé immédiatement par la plante et sera transformé rapidement en nitrate (forme préférentielle d'absorption de l'azote pour les plantes). L'azote organique devra être dégradé par les bactéries du sol pour libérer l'azote sous une forme assimilable par les plantes. Il sera donc disponible à plus ou moins long terme pour les plantes selon la matière considérée. En effet, la teneur en azote minéral et la vitesse de minéralisation sont des caractéristiques variables selon le fertilisant organique (effluents d'élevage, digestat, résidus de culture...).

Dans cette partie, nous allons estimer le pouvoir fertilisant de quatre grandes familles de matières organiques : les effluents, le digestat, les pailles de céréales et l'urine humaine. En comparant les ordres de grandeur obtenus avec la consommation d'engrais minéraux en France, qui sera assimilé dans cette note au « besoin » de l'agriculture française en fertilisants minéraux, nous pourrions estimer le niveau de substitution atteignable. De plus, pour une comparaison réelle entre un engrais minéral et organique, la notion de « fertilisation efficace » sera utilisée. Bien que les hypothèses retenues soient grossières du fait de la difficulté des calculs, nous verrons qu'elles permettent toutefois de tirer des conclusions sur le développement d'alternatives aux engrais minéraux.

¹³ Ministère de la Transition Écologique, [Stratégie nationale bas-carbone](#), octobre 2020, [19092_strategie-carbone-FR_oct-20.pdf](#)

¹⁴ Réussir, « **SNBC 3 : comment l'agriculture peut réduire ses émissions de carbone de 10 Mt d'ici à 2030 se le gouvernement ?** », 7 novembre 2024

¹⁵ European Commission, Farm to Fork Strategy : « For a fair, healthy and environmentally-friendly food system », 2020

Les effluents d'élevage

80 % des effluents d'élevage (lisier¹⁶ et fumier) produits en France sont épandus¹⁷, ce qui en fait, de par les volumes concernés, un fertilisant très couramment utilisé par les agriculteurs : selon l'Observatoire national des ressources en biomasse (ONRB)¹⁸, en 2022, 71 millions de tonnes de fumier ont été produites par les différents animaux d'élevage et 37 millions de tonnes de lisier étaient récoltables (Figure 6 ; Figure 7). Ils comportent des éléments fertilisants (*N, P et K*) et de la matière organique nécessaires à la croissance des plantes et à la bonne santé du sol. Afin que l'épandage des effluents d'élevage soit le plus efficace possible, il est important de connaître la composition agronomique des différents produits. Les Chambres d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais et de la Somme ont dressé des valeurs moyennes en azote, phosphore et potassium pour chaque type d'effluents d'élevage. Ces données, complétées avec le RMT élevage et l'ONRB, sont indiquées en Tableau 1. Le tableau montre par exemple que les fumiers de bovins apportent des éléments fertilisants et que l'azote qu'ils contiennent se minéralise lentement, puisque l'azote organique est en proportion plus importante que l'azote ammoniacal.

Tableau 1 : Composition moyenne de différents types d'effluents d'élevage ¹⁹ (source : Chambre d'agriculture Hauts de France, Arvalis, RMT élevages, ONRB)

Kg/t brute	Azote total (<i>NTK</i>)	Azote ammoniacal (<i>NH₄</i>)	Azote organique (<i>N org</i>)	Phosphore total (<i>P₂O₅</i>)	Potassium total (<i>K₂O</i>)
Fumier de bovins	6,6	0,5	6,1	3,3	8,8
Lisier de bovins	3,4	1,3	2,1	1,5	3,6
Lisier de porcins	3,6	2,2	1,4	1,6	2,8
Fumier de volailles	22	3,5	18,5	20,2	20,8
Fientes volailles (poules pondeuses)	21,5	3,5	18	22,4	17,7
Lisier canard à rôti	6,1	2,8	3,3	2,7	2,4
Lisier canard gras	4,6	1,3	3,3	1	1,3
Lisier de lapin	3,3	1	2,3	2,5	4,3
Fumiers de caprins	6,1	-	-	5,2	12
Fumier d'ovins	6,7	-	-	4	12
Fumier équin	5,8	-	-	3,1	12,2

Les engrais organiques avec une proportion d'azote ammoniacal élevé auront par la suite un coefficient d'équivalence azote (*Keq N*) élevé et se rapprocheront davantage des effets d'un engrais minéral, alors que les fertilisants avec une proportion d'azote organique importante auront un *Keq N* plus faible et le produit se rapprochera davantage d'un amendement (amélioration des propriétés agronomiques du sol). Par exemple, le coefficient d'équivalence azote (*Keq N*) du fumier bovin sur litière accumulée se situe entre 0,15 et 0,33 suivant le type de culture et la période d'apport (fin

¹⁶ Hors fientes de volailles. Le retour au sol étant de 100% pour ce type d'effluent

¹⁷ AgrexConsulting, « Étude des retombées économiques des valorisations agricoles non-alimentaires (VANA) », FranceAgriMer, 16 novembre 2023

¹⁸ « Observatoire National des Ressources en Biomasse – ONRB », FranceAgriMer, consulté le 17 mars 2025, <https://www.franceagri.fr/Eclairer/Outils/Observatoires/Observatoire-National-des-Ressources-en-Biomasse-ONRB>

¹⁹ Pour les fumiers et les lisiers de caprins et ovins, le contenu en azote provient de l'ONRB, pour le contenu en phosphore et potassium, la source retenue est celle d'Arvalis. Le contenu en azote du fumier équin provient de l'ONRB

d'été, automne, printemps)^{20, 21, 22}, ce qui montre que ce fumier est plus proche d'un amendement, au contraire des fientes de poules pondeuses biologiques, dont le *Keq N* se situe entre 0,20 et 0,60 suivant le type de culture et la période d'apport (fin d'été, automne, printemps)²³ ce qui les rapprochent plus d'un d'engrais minéral (Voir Tableau 5)

L'objectif de cette note étant d'examiner les alternatives aux engrais minéraux, nous estimons les doses moyennes de N, P et K apportées par l'épandage de 80 % des effluents d'élevage (hypothèse d'un maintien du niveau actuel). En annexe se trouve le calcul avec un hypothétique épandage à 100 %, afin d'obtenir une borne maximale. Les cheptels se décapitalisant, il est peu probable que la production augmente dans les prochaines années. Les analyses et commentaires dans la suite de la note se feront sur un épandage de 80 % des effluents d'élevage.

Tableau 2 : Apport fumier et lisier en N,Pet K si hypothèse d'épandage de 80% (Sources : ONRB, Chambre d'Agriculture Hauts-de-France, INSEE, Arvalis, IFCE, RMT élevages)

Hypothèse 80% épandage lisier et fumier et 100% fientes (ONRB, VANA)	Engrais azotés (N) (tonnes)	Engrais phosphatés (P) (tonnes)	Engrais potassiques (K) (tonnes)
Consommation française (engrais minéral)²⁴	1 981 000	153 387	331 170
Apport fumier bovin	320 285	69 982	354 450
Apport fumier de volailles	51 819	20 792	40 664
Apport fumier caprin	7 519	2 801	12 276
Apport fumier ovin	14 061	4 769	20 902
Apport fumier équin	13 336	3 115	23 282
Sous total apport fumier toutes espèces (1)	407 020	101 459	451 574
Apport lisier bovin	26 081	5 028	22 921
Apport lisier porcin	56 351	10 945	46 771
Apport fientes volailles (poules pondeuses)	120 242	54 745	82 162
Apport lisier canard gras	4 118	391	966
Apport lisier canard à rôti	3 537	684	1 155
Apport lisier lapin	1 645	545	1 779
Sous total apport lisier toutes espèces (2)	211 974	72 338	155 754
Total Apport (1 + 2)	618 994	173 797	607 328

²⁰ ProtectEau, « [Valeurs fertilisante des engrais de ferme](#) », 2018

²¹ Le *Keq N* est un indicateur qui compare l'efficacité d'une source d'azote par rapport à une source de référence généralement un engrais minéral de type urée. Un *Keq N* de 0,50 pour un engrais organique signifie que deux fois plus d'azote devront être apportés pour obtenir la même efficacité qu'avec un engrais minéral

²² RMT élevage et environnement, [Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins volailles et lapins](#), 2019

²³ Nouvelle Aquitaine, « [Annexe 12: Valeurs de référence pour les principaux fertilisants organiques](#) » ; DRAAF Bretagne, « [Note explicative sur les coefficients d'équivalence engrais des produits résiduels organiques \(PRO\)](#) », Version Mars 2013 ; Arvalis, « [Intégrer les valeurs fertilisantes des fumiers et lisiers](#) », décembre 2015 mis à jour en février 2024

²⁴ [UNIFA, Observatoire national de la fertilisation minérale et organique](#), Résultats 2022

On remarque que le potassium issu des effluents d'élevage couvre 183 % des besoins par rapport aux consommations d'engrais en France. Pour le phosphore, les effluents d'élevage couvrent 113 % des besoins. Enfin, pour l'azote, ils ne couvrent que 31 % des besoins. Néanmoins pour avoir une comparaison en termes d'efficacité, il convient d'utiliser le *Keq N*. Dans l'étude, le choix des *Keq N* s'est porté sur un apport au printemps sur du maïs car l'épandage de certains produits résiduels organiques (PRO) n'est pas autorisé à une certaine période de l'année et sur certaines cultures (Voir Tableau 5). Cela implique que le potentiel de substitution des engrais minéraux par des engrais organiques serait plus faible si tous les types de cultures étaient pris en compte.

En appliquant un coefficient d'équivalent azote de 0,25 pour le fumier bovin, l'effet fertilisant de l'azote ne sera que de 1,65 kg.

Il faut néanmoins faire attention à la volatilisation de l'azote qui peut être de l'ordre de 20 à 80 % en fonction des conditions météorologiques, dont 25 % sous forme d'ammoniac²⁵. Cette volatilisation n'a pas été prise en compte dans les calculs.

Au-delà de l'intérêt agronomique, les effluents d'élevage ont également un intérêt économique et peuvent être moins coûteux que les engrais minéraux. D'après une étude¹⁷, le fumier de bovin permet une économie de fertilisants allant de 5,9 à 9,4€/tonne suivant la typologie du fumier (mou, compact, sur litière accumulée). Pour le lisier de bovin l'économie de fertilisant s'élève à 4,9€/tonne. Les lisiers porcins ont une valeur économique allant de 3,6 à 9,3€/tonne. Enfin, pour les fientes de poules pondeuses, cette valeur économique est de 54,9€²⁶.

Par ailleurs, la décapitalisation du cheptel, en particulier le cheptel bovin, réduira la quantité d'effluents d'élevage disponible sur le territoire français. Selon un des scénarios de décapitalisation IDELE-INTERBEV, le nombre de mères bovin lait diminuera de 23 % et les mères bovins viandes de 30 % à horizon 2035 avec une hypothèse de maintien du rythme de décapitalisation de la période 2020-2022 et une hypothèse de maintien des cheptels des autres espèces. Cette décroissance est donc à appliquer à la couverture des besoins : les apports en azote seraient de 551 081 tonnes, en phosphore de 163 435 tonnes et en potassium de 571 081 tonnes. Soit respectivement une baisse de 7,74 %, 0,6 % et de 8,57 % par rapport à 2020-2022.

Les digestats

Le processus de méthanisation permet de produire du biogaz, pouvant soit être transformé en électricité et en chaleur, soit purifié et injecté dans le réseau. Il produit également un résidu de matières organiques appelé digestat. Le digestat existe sous plusieurs formes, il est donc important de bien le caractériser afin d'utiliser au mieux ses propriétés fertilisantes et amendantes. En effet, la composition des digestats peut fortement varier en fonction du type d'intrants admis dans le digesteur. Ainsi, le projet Ferti-Dig, porté par l'INRAE et la Chambre d'Agriculture Bretagne a établi une classification des différents digestats.

²⁵ Chambre d'agriculture Somme et Nord-Pas de Calais, « [Les effluents d'élevage : mieux les connaître pour bien les valoriser](#) », 2013

²⁶ Les prix retenus par unité d'éléments fertilisants correspondent à la moyenne des prix entre 2017 et 2021

Tableau 3 : Composition physico-chimique des différentes classes de digestats et potentiel fertilisant azoté (source : Ferti-Dig)

Kg/tMB	Azote total	Azote ammoniacal	Azote organique	Phosphore total (P_2O_5)	Potassium total (K_2O)	Potentiel fertilisant azoté
Digestat brut ou fraction liquide (majorité fumier/lisier ruminants)	4 à 6	1 à 2	2 à 4	2 à 3	4 à 6	Modéré à élevé
Digestat fraction solide (majorité fumier/lisier ruminants)	5 à 7	0,7 à 2	4 à 6	4 à 6	4 à 6	Faible
Digestat brut ou fraction liquide (autres situations dont majorité végétaux)	4 à 6	2 à 3	2 à 3	1 à 3	3 à 5	Modéré à élevé
Digestat fraction solide (autres situations dont majorité végétaux)	8 à 17	0,1 à 3	8 à 15	21 à 32	8 à 13	Faible
Digestat brut ou fraction liquide (majorité lisier de non ruminants)	4 à 6	3 à 4	1 à 2	1 à 3	2 à 5	Élevé ($Keq\ N$ entre 0,55 et 0,80 suivant les cultures et le mode d'apport ²⁷)
Digestat fraction solide (majorité lisier de non ruminants)	9 à 11	3 à 5	4 à 6	10 à 13	2 à 6	Modéré
Digestat brut voie sèche (majorité fumier de ruminants)	5 à 8	1 à 2	4 à 6	3 à 6	7 à 9	Faible à modéré

De plus, le mode d'épandage peut conduire à une trop forte volatilisation de l'azote ammoniacal : il est recommandé un enfouissement. La volatilisation n'a pas été prise en compte dans le calcul par soucis de simplification.

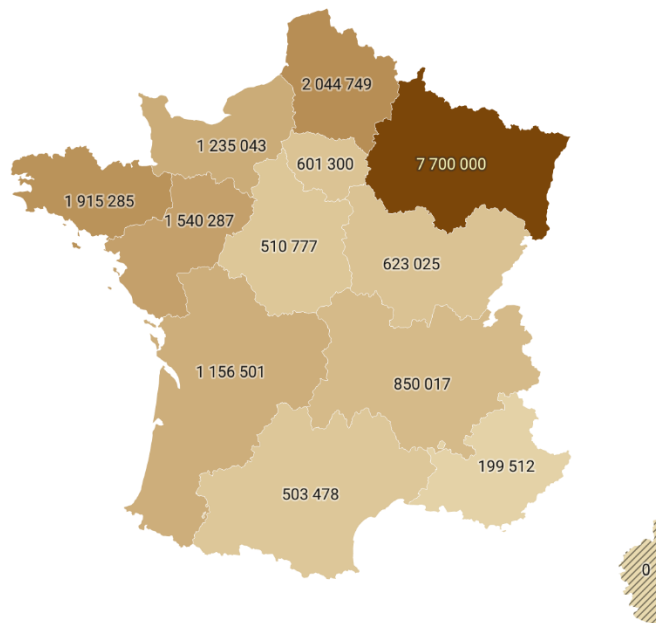
La première étape de l'analyse du potentiel des digestats en fertilisation est l'estimation des quantités produites en France chaque année et pouvant être épandues. Il existe peu de sources sur la relation entre les intrants apportés au méthaniseur et la quantité de digestat associée. On note qu'elle varie entre 82 et 90 % selon les sources trouvées : pour une tonne d'intrant, entre 0,82 et 0,9

²⁷ INRAE, Chambre d'agriculture, [« Coefficients équivalents engrais N des digestats Travail conjoint COMIFER et projet FertiDig »](#), Mai 2024

tonne de digestat est obtenue^{28,29,30}. Une autre approche est d'estimer la production de digestat à partir des plans d'approvisionnement disponibles³¹, ce qui donnerait 19 millions de tonnes de matière brute en France métropolitaine (voir Figure 4). Néanmoins, ce chiffre est à prendre avec précaution car pour certaines régions, les digestats issus de boues ont été inclus alors que ce n'est pas le cas pour d'autres régions faute de données disponibles. Ainsi, cette carte donne une fourchette basse de la production de digestat.

Production de digestat en tMB

Tous les types d'intrants sont pris en compte (agricoles, IAA, STEP, urbains)



Source: ADEME Grand Est, DREAL Pays de la Loire, Institut Paris Région, DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, Plan d'épandage Cher, DREAL Bretagne, AREC IDF, Association Française Agronomie • Créé avec Datawrapper

Figure 4: Carte production régionale de digestat en France Métropolitaine

La quantité de digestat épandu varie fortement entre les régions : il est de 44 % en Bretagne (épandage brut) et de 71 % en Île-de-France. Par soucis de simplification, cette note estimera un potentiel maximal d'utilisation du digestat sans séparation de phase, pour une valorisation agronomique, soit 100 %.

Le digestat brut (avant séparation de phases) apporterait 95 500 tonnes d'azote, 17 990 tonnes de phosphore et 65 708 tonnes de potassium.

²⁸ GRDF, [Valorisation du digestat issu de la méthanisation](#)

²⁹ AREC IDF, [Bilan de fonctionnement 2021 des unités de méthanisation en île-de-France](#), Novembre 2022

³⁰ Suez Organique, [Plan d'épandage de digestats](#)

³¹ SRB Centre Val de Loire, « les gisements potentiels agricoles et forêt-bois », 30 janvier 2024 ; DREAL, « Synthèse du fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne-Rhône-Alpes Données 2022 », Juin 2024 ; DREAL, « Synthèse des bilans de fonctionnement des unités de méthanisation en Bretagne sur l'année 2022 », Avril 2024 ; ADEME, S3D Ingénierie, « Observation régionale de la méthanisation en Région Grand-Est données 2022 », 2024 ; AREC, « Bilan de fonctionnement 2022 des unités de méthanisation en Île-de-France », Avril 2024 ; AREC, « État du développement de la méthanisation en Nouvelle-Aquitaine année 2021 », Juillet 2023 ; DREAL, « Analyse des bilans de fonctionnement 2022 des installations de la filière biogaz en Pays de la Loire », Novembre 2024

Par ailleurs, le *Keq N* du digestat est plus élevé que pour le fumier de bovin par exemple. En effet, pour un digestat brut issu de méthanisation, le *Keq N* est de 0,7 pour le maïs (avec apport au printemps)³². Ainsi l'effet fertilisant de l'azote sera de 3,5 kg pour le maïs avec apport au printemps³³ (Voir Tableau 5)

Les résidus de culture (pailles de céréales)

Les résidus de cultures, en se décomposant, libèrent les éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes (azote, phosphore et potassium). La matière organique issue de ces résidus permet de maintenir la structure du sol et de favoriser une meilleure rétention d'eau. Les valeurs fertilisantes de la paille sont les suivantes ³⁴ :

- 7,5 kg N / tonne
- 2 kg P / tonne
- 12 kg K / tonne

D'après l'ONRB, en 2022, la production de pailles de céréales est d'environ 43,5 MtMS³⁵. 7,8 MtMS de pailles de céréales sont « exportées » pour raison agronomique afin de maintenir la fertilité du sol. Elles sont récoltées puis retournée au sol. Ce qui représente :

- 58 869 tonnes de N
- 15 698 tonnes de P
- 94 191 tonnes de K

À noter qu'en enlevant tous les usages connus (alimentation animale, litière animale, matériaux biosourcés, méthanisation, combustion), il reste 1,5 MtMS, ce qui représente, 11 250 t d'azote, 3 000 t de phosphore et 18 000 t de potassium. Ce reliquat est considéré comme du stock pour les mauvaises années et ne sera donc pas comptabilisé dans cette note pour l'estimation des pouvoirs fertilisants.

Les quantités d'azote, de phosphore et de potassium des pailles de céréales exportées pour raison agronomique sont ajoutées à celles issues des effluents dans notre estimation du pouvoir fertilisant des matières organiques par rapport aux engrais minéraux utilisés en France.

L'urine humaine

Cette ressource, perçue comme un déchet, est très riche en nutriments essentiels à la croissance des plantes. Si cette pratique peut sembler surprenante à ce jour, l'utilisation des excréta humains est une pratique ancienne. Par exemple, au Japon, le recyclage de l'urine a été introduit dès le 12^{ème} siècle³⁶.

L'urine est composée à 95 % d'eau et 5 % de composants organiques et de minéraux³⁷. Cette part minérale contient les éléments absorbés : 100 % de l'azote et du phosphore absorbés sont ensuite excrétés, et 80 % du potassium³⁸. 85 % de l'azote excrété le sera sous forme d'urée. On estime qu'un être humain a besoin de 4,9 kg d'azote, 550 g de phosphore et 1 277 g de potassium³⁹ par an. Environ 0,5 m³ d'urine par personne par an, soit 1,3 litre/personne/jour, est excrété et pourrait

³² DRAFF Bretagne, « Note explicative sur les coefficients d'équivalence engrais des PRO », Mars 2013 révisée en 2017

³³ Calcul sur un Digestat brut ou fraction liquide majorité lisier de non ruminants

³⁴ « Évaluation de la valeur économique de la paille » [Chambre d'agriculture de la Vienne](#)

³⁵ MtMS : millions de tonnes de matière sèche

³⁶ Gnagne T et al. Qualité azotée et sanitaire de l'urine collectée en vue de la fertilisation des sols, Cah.Santé Publique, Vol.5, 2006

³⁷ Dictionnaire médicale de l'Académie Nationale de Médecine

³⁸ Potassium Urine Level, Nutritional management of renal disease third edition, Joel D.Koppel and al.

³⁹ L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable, Tristan Martin, Université Paris Saclay, 2020 ; [ANSES](#)

permettre de fertiliser environ 500 m² de champs⁴⁰. Cette estimation n'est valable que pour des adultes, les enfants ayant des besoins différents. L'Anses indique que les besoins en phosphore sont stables à partir de 15 ans³⁷. Pour notre estimation, on choisit d'utiliser cette limite d'âge de 15 ans pour obtenir un ordre de grandeur des surfaces pouvant être fertilisée par de l'urine humaine au lieu d'un engrais minéral. Ainsi, le potentiel de fertilisation des champs avec de l'urine se calcule de la manière suivante.

La population française des 15-75 ans⁴¹ en 2022 excrète environ 24 millions de m³ d'urine par an ce qui permettrait donc de fertiliser $2,4 * 10^{10} m^2$ de champs soit 2,4 millions d'ha. La surface agricole utile (SAU)⁴² en France Métropolitaine en 2022 est de 26,772 millions ha⁴³, soit $2,677 * 10^{11} m^2$. Ainsi, c'est 9 % de la SAU française qui pourrait être fertilisée avec de l'urine. Cependant, la répartition hétérogène de la population ainsi que des surfaces cultivables nécessite de prendre en compte des considérations géographiques dans nos estimations. La Figure 5 montre par exemple qu'en Provence-Alpes-Côte d'Azur, 29 % de la SAU pourrait être fertilisé par de l'urine humaine, contre 81 % en Île-de-France. Actuellement une très faible partie de ces nutriments sont recyclés vers l'agriculture. En Île-de-France, uniquement 4 % de l'azote, 41 % du phosphore et 2 % du potassium sont recyclés via les boues d'épuration. Le reste se retrouve dans les eaux usées³⁹.

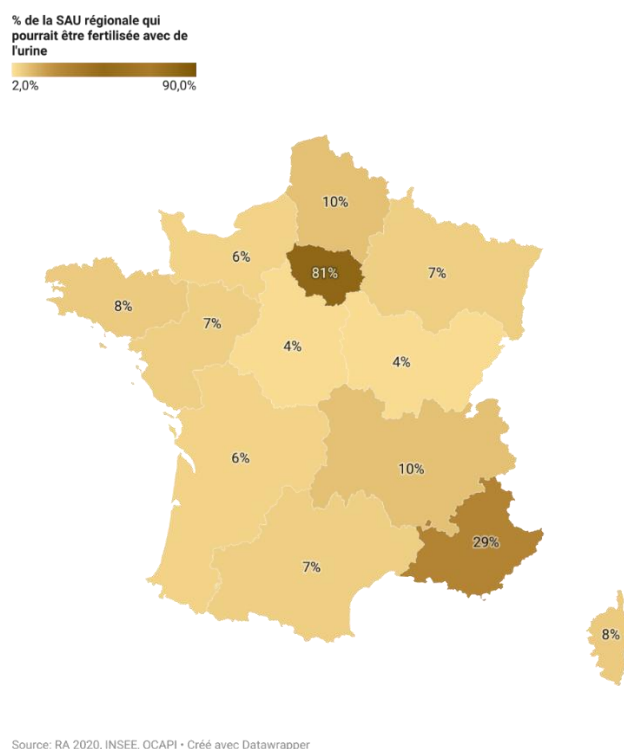


Figure 5 : Pourcentage de la SAU régionale qui pourrait être fertilisée avec de l'urine humaine

⁴⁰ Réseau OCAP, « Organiser une filière citoyenne de valorisation agricole de l'urine humaine », Juillet 2024

⁴¹ 48 millions de personnes selon l'INSEE ; les plus jeunes ne sont pas pris en compte par manque d'informations sur leurs besoins nutritionnels et par simplification des calculs

⁴² Surface Agricole Utile

⁴³ Surfaces PAC adaptées par FAM et AGRESTE

Comparativement aux engrais minéraux, l'urine humaine des 15-75 ans permettrait de couvrir environ 12 % des besoins en azote (environ 235 mille tonnes d'urine pour 2 millions tonnes d'azote minéral), 13 % des besoins en phosphore (environ 26 mille pour 154 mille tonnes) et 18 % des besoins en potassium (61 mille pour 331 mille tonnes).

L'urine présente en outre l'avantage qu'après stockage, son coefficient d'équivalence azote est d'environ 85 %, chiffre bien plus élevé que pour le fumier, le lisier ou même le digestat. Celui de l'urine nitrifiée (aurin) se rapproche encore plus de l'efficacité d'un engrais azoté minéral puisqu'il est de 96 %. Ainsi, l'effet fertilisant de l'azote sera de 4,1 kg pour l'urine stockée et de 4,704 kg pour l'urine nitrifiée. Ces deux produits semblent donc prometteurs pour remplacer les engrais minéraux azotés, une fois levé le problème de leur collecte, hygiénisation, stockage et acheminement vers les exploitations agricoles. (Voir Annexe 2 : Urine humaine : collecte hygiénisation, stockage et logistique associée).

5. Bouclage biomasse-fertilisant

Le Tableau 4 somme les estimations obtenues précédemment. Pour rappel des hypothèses :

- 80% des effluents d'élevage sont épandus ;
- La volatilisation de l'azote n'est pas prise en compte ;
- Décapitalisation tendancielle du cheptel bovin par rapport à 2020-2022 ;
- 100% du digestat est épandu ;
- 100% de l'urine des 15-75 ans est utilisable

Tableau 4 : Estimation de la fertilisation efficace obtenue par la somme des effluents d'élevage, du digestat, de l'urine humaine et des pailles de céréales

En tonne	Azote	Phosphore	Potassium
Consommation fertilisants minéraux	1 981 000	153 387	331 170
(1) Apports totaux engrais organiques (effluents d'élevage). Épandage à 80%	618 994	173 797	607 328
(2) Apports totaux engrais organiques (digestat brut)	95 000	17 990	65 708
(3) Apports totaux engrais organiques (urine humaine)	234 358	26 306	61 077
Apports totaux engrais organiques (pailles de céréales supplémentaires)	11 250	3 000	18 000
(4) Apports totaux engrais organiques (pailles de céréales exportées pour raison agro)	58 869	15 698	94 191
Fertilisation Totale (1 + 2 + 3 + 4)	1 007 221	233 791	828 304
Fertilisation efficace⁴⁴ (1 + 2 + 3 + 4)	477 739	160 035	734 113

⁴⁴ Le coefficient d'équivalence du potassium est égal à 1 quel que soit le type de produit (source : [Arvalis-WebAgri](#)). Le détail des coefficients d'efficacité est donné dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable**.

Il est à noter que les *KeqN*, *KeqP* et *KeqK* pour la paille de céréales n'ont pas été identifiés de même pour le *KeqP* de l'urine humaine, ce qui engendre une sous-estimation de la fertilisation efficace.

6. Conclusion

L'utilisation des engrais minéraux a joué un rôle clé dans la production agricole moderne, permettant d'accroître les rendements et d'assurer la sécurité alimentaire dans les pays occidentaux. Toutefois, principalement importés, les engrais minéraux sont pour la France une source de dépendance au prix de l'énergie (gaz principalement) et au contexte géopolitique. À ces arguments s'ajoutent une considération environnementale, de décarbonation de l'agriculture. C'est pourquoi cette note s'est attachée à estimer le pouvoir fertilisant de matières organiques produites en France, pour les comparer aux consommations actuelles de son agriculture. L'utilisation combinée de l'épandage de digestats, d'urine humaine et d'effluents d'élevage couvrirait selon nos estimations 477 739 tonnes de N efficace (24% du besoin), 160 035 tonnes de P efficace (104% du besoin) et 734 113 tonnes de K efficace (221% du besoin). Pour l'azote, l'ordre de grandeur est suffisamment éloigné de la consommation en engrais minéraux pour penser que ces matières ne seront pas suffisantes à elles seules, sans compter que leur mobilisation rencontre des défis logistiques, pratiques (changements de pratiques d'épandage avec l'utilisation d'un matériel adapté) ou encore un frein au niveau de l'acceptation sociétale, notamment pour ce qui est de l'utilisation d'urine humaine.

À ce jour, une combinaison d'engrais organiques et d'engrais minéraux reste indispensable, ce qui nécessite de développer une production d'engrais azotés moins émissive en gaz à effet de serre, afin d'atteindre les objectifs de décarbonation du secteur agricole et de réduire la dépendance de ce secteur aux aléas géopolitiques.

Annexe 1 : Figures complémentaires

Tableau 5 : Coefficients d'équivalence engrais N,P et K avec un apport au printemps sur du maïs
(sources : RMT élevage et environnement, WebAgri,COMIFER)

	KeqN	KeqP	KeqK
Fumier bovin	0,25	0,8	1
Lisier de bovins	0,4	0,8	1
Lisier de porcins	0,47	0,95	1
Fientes de volailles	0,5	0,85	1
Lisier canard à rôti	0,6	0,85	1
Lisier canard gras	0,7	0,85	1
Lisier de lapin	0,3	0,85	1
Fumiers de caprins	0,26	0,8	1
Fumier d'ovins	0,29	0,8	1
Fumier d'équins	0,2	1	1
Digestat brut	0,7	1	1
Urine	0,85		1

Tableau 6 : Apport fumier et lisier en N,P,K si hypothèse d'épandage de 100 % (Sources : ONRB, Chambre d'Agriculture Hauts-de-France, INSEE, Arvalis, IFCE, RMT élevages)

Hypothèse 100% épandage	Engrais azotés (N) (tonnes)	Engrais phosphatés (P) (tonnes) ⁴⁵	Engrais potassiques (K) (tonnes) ⁴⁶
Consommation française (engrais minéral)⁴⁷	1 981 000	153 387	331 170
Apport fumier bovin	400 357	87 478	443 062
Apport fumier de volailles	64 774	25 990	50 830
Apport fumier caprin	9 398	3 501	15 345
Apport fumier ovin	17 576	4 586	26 128
Apport fumier équin	16 670	3 896	29 103
Sous total apport fumier toutes espèces (1)	508 775	125 448	564 468
Apport lisier bovin	32 601	6 285,35	28 650,86
Apport lisier porcin	70 439	13 681	45 472
Apport fientes volailles (poules pondeuses)	120 242	54 745	82 162

⁴⁵ Conversion P_2O_5 en P : 0,437

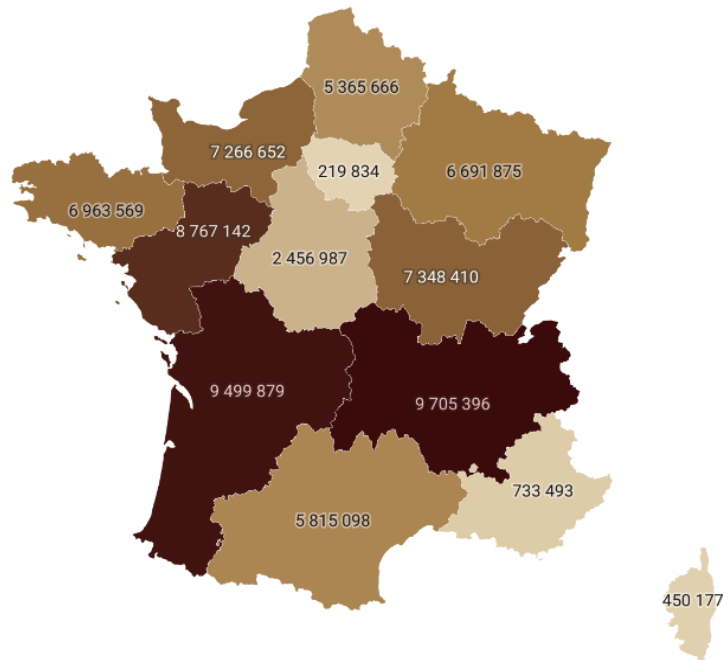
⁴⁶ Conversion K_2O en K : 0,83

⁴⁷ [UNIFA, Observatoire national de la fertilisation minérale et organique](#), Résultats 2022

Apport lisier canard gras	5 147	489	1 207
Apport lisier canard à rôtir	4 421	681	2 224
Apport lisier lapin	2 056	681	2 224
Sous total apport lisier toutes espèces (2)	234 907	76 736	161 159
Total Apport (1 + 2)	743 681,55	202 184,58	725 627,53

Gisement disponible de fumier en tMB en 2022

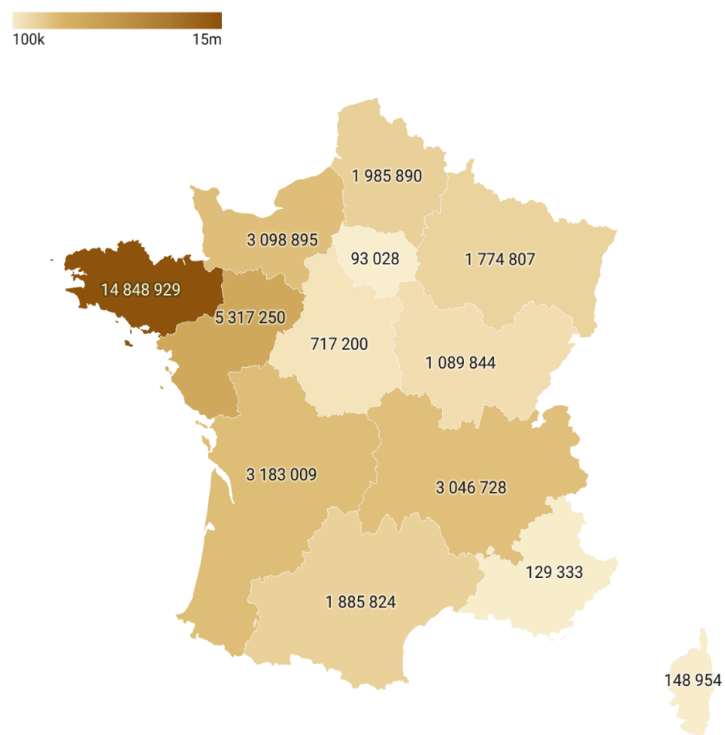
100k 10m



Source: ONRB FranceAgriMer • Créé avec Datawrapper

Figure 6 : Gisement disponible de fumier en 2022 en France Métropolitaine
(Source : ONRB)

Gisement disponible de lisier en tMB en 2022



Source: ONRB FranceAgriMer • Créé avec Datawrapper

Figure 7 : Gisement disponible de lisier en 2022 en France Métropolitaine
(Source : ONRB)

Annexe 2 : Urine humaine : collecte hygiénisation, stockage et logistique associée

La collecte de l'urine à la source peut se faire de différentes manières. La manière la plus commune est la mise en place de toilettes avec séparation de l'urine. C'est ce qui a été choisi dans le quartier Saint Vincent de Paul, Paris 14^{ème}. Lors d'évènements en plein air tels que des concerts, l'urine peut également être collectée via des cuves raccordées à des toilettes sèches. Dans les lieux publics, les urinoirs secs masculins et féminins (c'est-à-dire sans eau) peuvent enfin être une solution (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Figure 8 : Urinoir sec (Source : réseau OCAP)

Une fois l'urine récoltée, afin de réduire au maximum la volatilisation de l'azote ammoniacal (issu de l'hydrolyse de l'urée) et pour des raisons d'hygiène, il est soit nécessaire de stocker l'urine au moins 6 mois dans un récipient hermétiquement fermé et plein, soit de traiter l'urine^{48,49} (acidification⁵⁰, alcalinisation⁵¹, nitrification⁵²).

Malgré les avantages de l'urine en tant que matière fertilisante, il est nécessaire de faire de la sensibilisation et d'apporter un autre regard sur cette substance considérée à tort comme un déchet. Tout le système d'assainissement est à repenser, en particulier dans les grandes villes, là où la concentration de la population est la plus importante. À grande échelle, apporter l'urine aux champs est un défi logistique. Bien que l'utilisation de l'urine en tant qu'urinofertilisant (UF) soit encouragée par l'OMS⁵³, le manque de reconnaissance au niveau réglementaire en France de l'emploi d'urine comme engrais ainsi que la quasi absence de filière de collecte structurée et d'expérimentation constitue deux obstacles majeurs.

⁴⁸ Tristan Martin, « L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable », Université Paris Saclay, 2020

⁴⁹ Réseau OCAP, « Utiliser l'urine humaine en agriculture Fiches Pratiques », Juin 2023

⁵⁰ Pour que cela fonctionne il faut que l'urine fraîche ait un pH inférieur à 4.

⁵¹ Il est possible d'utiliser divers types de milieux basiques ou alcalins tels que les hydroxydes de calcium, de magnésium ou de potassium, ainsi que les cendres de bois et le biochar alcalinisé. Demande une quantité importante d'énergie et rejette de nombreuses particules fines

⁵² Ce procédé se déroule en 2 étapes. Environ 50% de l'ammonium contenu dans l'urine peut être converti en nitrate en dessous d'un pH de 5,45. Ce procédé est le plus abouti puisqu'il a été homologué par l'office fédéral de l'agriculture suisse sous le nom d'Aurin

⁵³ OMS, « L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères », Vol1 Considérations d'ordre politique et réglementaire, 2012

LES ÉTUDES

Ressources en biomasse : quel potentiel de substitution des engrais de synthèse ?
édition juin 2025



Directeur de la publication : Martin Gutton
Rédaction : direction Marchés, études et prospective
Conception et réalisation : service Communication / Impression : service Arborial

12 rue Henri Rol-Tanguy - TSA 20002 / 93555 MONTREUIL Cedex
Tél. : 01 73 30 30 00 ■ www.franceagrimer.fr

 FranceAgriMer
 FranceAgriMer FR