



Etude prospective fixant des objectifs stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables

Rapport final

Étude commandée par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA), et financée par le programme 149 du MAA.

Ce document n'engage que ses auteurs et ne constitue pas nécessairement le point de vue du MAA.

Marché n°DGPE-2019-008

Septembre 2020

Table des matières

Table des matières	2
1 Introduction.....	7
2 Méthode.....	13
2.1 Approche générale	13
2.2 Pilotage de l'étude	14
2.2.1. Cadrage par un comité de pilotage	14
2.2.1 Animation d'un groupe prospectif	15
2.3 Ressources mobilisées pour la recherche bibliographique.....	16
2.4 Définition du périmètre.....	18
2.5 Modélisation de l'usage actuel et futur des MAFOR	19
2.6 Définition des scénarios	23
2.6.1 Objectifs poursuivis	23
2.6.2 Approche pour la construction des scénarios.....	23
2.7 Evaluation des scénarios et définitions d'orientations stratégiques	25
2.7.1 Identification de hiérarchisation des freins et des leviers à la fertilisation MAFOR et recommandations	25
2.7.2 Définition des orientations stratégiques.....	26
3 Résultats.....	27
3.1 Diagnostic	27
3.1.1 Etude des gisements de MAFOR et de leur utilisation actuelle	27
3.1.2 Bilan de la fertilisation MAFOR	43
3.1.3 Etude des tendances passées et des dynamiques en œuvre.....	46
3.1.4 Etude des stratégies d'acteurs	48
3.2 Anticipation et fixation d'objectifs	50
3.2.1 Identification des variables clés et hiérarchisation	50
3.2.2 Définition de scénarios de variables clés (microscénarios).....	54
3.2.3. Définition de scénarios d'usage des MAFOR.....	66
3.2.4. Discussion des résultats des trois scénarios prospectifs.....	69
3.3. Propositions et options stratégiques	75
3.3.1. Listing hiérarchisé des freins et des leviers à la fertilisation MAFOR et recommandations	75
3.3.2. Définitions des orientations stratégiques	83

Conclusion - Synthèse	90
ANNEXE 1 – Références.....	93
4. ANNEXE 2 – liste des figures et tableaux	94
5. ANNEXE 3 – Précisions sur les calculs.....	97
6. ANNEXE 4 – Précisions sur données.....	98
7. ANNEXE 5 – Fiches variables clés	100
Fiche variable du cheptel en France.....	102
1. Définition	102
2. Lien avec le système MAFOR du modèle	102
3. Indicateurs pertinents	103
4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures	103
Liste des facteurs influençant le cheptel.....	103
Liste des facteurs influencés par le cheptel	104
Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable	104
Facteurs influençant le nombre d’exploitations d’élevage	104
Facteurs influençant l’adéquation entre l’offre en produits animaux, étrangère et d’origine française, et la demande au sein du marché intérieur et à l’export	106
Facteurs influençant les modes d’élevage	109
5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé	110
Fiche variable de l’assolement en France	111
1. Définition	111
2. Lien avec le système MAFOR du modèle	112
3. Indicateur pertinent	112
4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures	112
Liste des facteurs influençant et influencés par l’assolement	112
Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable	112
Les facteurs d’influences de la SAU globale	112
Les facteurs d’influence de la répartition des cultures au sein de la SAU	113
5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé	116
Evolution de la SAU globale	116
Evolution de la répartition de la SAU entre les différentes cultures.....	116
Fiche variable des chaufferies biomasse.....	117
1. Définition	117
2. Liens avec le système MAFOR du modèle.....	118

3.	Indicateurs pertinents	118
4.	Rétrospective et situation actuelle / tendances lourdes des différents facteurs d'influence de la variable	119
	Liste des facteurs influençant la quantité de cendres produites en France.....	119
	Liste des facteurs influençant la quantité de cendres épandues en France	119
	Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable	119
	Facteurs influençant la quantité de cendres produites en France.....	119
	Facteurs influençant la quantité de cendres épandues en France	120
5.	Situation actuelle des cendres épandues.....	123
	Fiche variable des boues de STEP.....	123
1.	Définition	123
2.	Liens avec le système MAFOR	125
3.	Indicateurs pertinents	125
4.	Rétrospective et situation actuelle / tendances lourdes des différents facteurs d'influence de la variable	125
	Liste des facteurs influençant et influencés par les boues produites en stations d'épuration urbaines	125
	Facteurs influençant le gisement de boues produites	125
	Facteurs influençant le pourcentage de boues valorisées en MAFOR	125
	Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable	125
	Facteurs influençant le gisement de boues produites	125
	Facteurs influençant le pourcentage de boues valorisées en MAFOR	126
5.	Rétrospective et situation actuelle de la variable clé	128
	Fiche variable du tri à la source des biodéchets	129
1.	Définitions.....	129
2.	Liens avec le système MAFOR du modèle.....	131
3.	Indicateurs pertinents	131
4.	Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures	131
	Liste des facteurs influençant et influencés par le tri à la source des biodéchets	131
	Liste des facteurs influençant les gisements des biodéchets.....	131
	Liste des facteurs influençant la part de tri à la source des biodéchets.....	131
	Liste des facteurs influencés par le tri à la source des biodéchets	132
	Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable	132
	Dynamiques passées et futures des facteurs influençant les gisements des biodéchets.....	132

Dynamiques passées et futures des facteurs influençant la part de biodéchets triés à la source	132
Dynamiques passées et futures des facteurs influencés par le tri à la source des biodéchets	134
5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé	134
Fiche variable du traitement amont des MAFOR	136
1. Définition	136
2. Lien avec le système MAFOR du modèle	137
3. Indicateurs pertinents	137
4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures	137
Liste des facteurs influençant et influencés par le traitement amont des MAFOR	137
Liste des facteurs influençant le traitement amont des MAFOR	137
Liste des facteurs influencés par le traitement amont des MAFOR	137
Dynamiques passées et futures liées à la variable	138
Dynamiques passées et futures du parc des installations de compostage et de méthanisation	138
Sous-facteurs influençant le parc des installations de compostage et de méthanisation	139
Description des facteurs influencés par le traitement amont des MAFOR	142
5. Rétrospective situation actuelle de la variable clé	143
8. Glossaire	146

« Paris jette par an vingt-cinq millions à l'eau. Et ceci sans métaphore. Comment, et de quelle façon ? jour et nuit. Dans quel but ? sans aucun but. Avec quelle pensée ? sans y penser. Pour quoi faire ? pour rien. Au moyen de quel organe ? au moyen de son intestin. Quel est son intestin ? c'est son égout. »

Victor Hugo, Les Misérables

1 Introduction

- Rappel du principe de la fertilisation

Quatre éléments chimiques majeurs constituent plus de 90% de la matière sèche des végétaux : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Les trois premiers sont principalement puisés dans l'air et l'eau. L'azote (N), en revanche, provient principalement du sol. L'azote de l'air est en effet peu assimilable par les végétaux, sauf dans le cas exceptionnel de certaines légumineuses qui y parviennent grâce à une symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote. D'autres éléments sont nécessaires aux végétaux (phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), soufre (S), magnésium (Mg), fer (Fe), zinc (Zn), etc.) et sont également principalement puisés dans les sols.

Or, une partie de ces éléments sont exportés par les récoltes. La fertilisation consiste ainsi à maintenir la fertilité des sols en apportant ces éléments nutritifs.

- Des produits fertilisants divers aux caractéristiques et enjeux associés variés

Il existe différents types de produits fertilisants.

On distingue d'abord les **matières organiques**, d'origine biologique animale ou végétale, constitués de chaînes carbonées contenant les éléments nutritifs azote (N), phosphore (P), potassium (K), des **matières minérales** où les éléments nutritifs N, P, K ne sont pas associés à une chaîne carbonée mais contenu dans des molécules simples (ex : nitrates NO_3^- , ammonium NH_4^+ , urée $\text{CO}(\text{NH}_3)_2$ par exemple).

Ces matières peuvent correspondre à des **produits issus de ressources non-renouvelables**, issus d'une **synthèse chimique à partir de ressources finies (pétrole, gaz naturel par exemple)** ou **d'extractions minières**.

Ces matières peuvent être **issues de ressources renouvelables**, encore appelés **MAFOR** (matière fertilisante d'origine résiduaire). Les MAFOR comprennent un **grand panel de matières**, qui peuvent être organiques ou minérales : effluents d'élevage (fientes, lisiers, fumiers, ...), boues d'épurations, composts de déchets organiques, digestats de déchets organiques, cendres de biomasse, ...

Ces MAFOR peuvent être **brutes**, peu ou pas transformées, ou **transformées**, c'est-à-dire, compostées, méthanisées, pyrolysées, ...

Leurs caractéristiques sont variées ; elles peuvent être utilisées comme **engrais**, matières apportant des **éléments nutritifs aux plantes** (éléments majeurs, éléments secondaires et oligo-éléments), ou comme **amendements**, matériaux améliorant les **propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols** (réduction de l'acidité du sol, amélioration de sa structure ou stimulation de la vie microbienne du sol).

- L'emploi de fertilisants issus de ressources renouvelables répond à des **enjeux environnementaux, sociaux, économiques et géopolitiques spécifiques**
 - Enjeux environnementaux

L'utilisation de fertilisants issus de ressources renouvelables permet tout d'abord **de réduire l'utilisation de ressources fossiles et minières**. En effet, la synthèse de fertilisants azotés est très

gourmande en énergie et gaz, et phosphore et potassium sont des ressources non renouvelables, extraites de mines.

La plupart des MAFOR (hormis les cendres et les struvites) apportent de la **matière organique** aux sols alors que les teneurs des sols agricoles ont diminué au cours des 50 dernières années, comme le montre la figure ci-dessous.

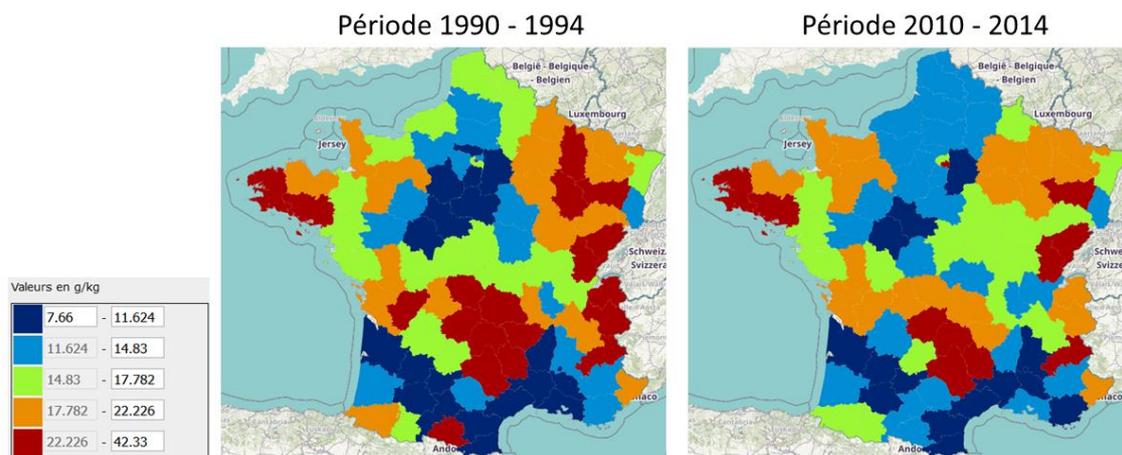


Figure 1 : Evolution de la teneur moyenne en matière organique des sols ¹

La diminution de la teneur en matière organique des sols génère un accroissement des risques de dégradation **physique** des sols (érosion, tassements) et un appauvrissement de la **biodiversité** des sols. Or, ces deux facteurs sont des composantes de la **fertilité** des sols.

L'usage des MAFOR présente toutefois des **risques environnementaux et sanitaires** qu'il faut considérer et gérer. Elles peuvent apporter des indésirables physiques, chimiques, biologiques et physiques. L'apport d'azote sous forme organique implique des cinétiques de libération de l'azote qui diffèrent en fonction des sols et des conditions pédoclimatiques. Pour cette raison, le raisonnement de la fertilisation et la prévention des **pertes azotées** dans les eaux et dans l'air est plus difficile. C'est d'ailleurs pourquoi cet usage suppose des bonnes pratiques et le respect rigoureux des dispositions réglementaires et législatives (Code de l'environnement et en particulier la loi sur l'eau et les milieux aquatiques et les dispositions relatives aux ICPE ; règlements sanitaires départementaux).

Se pose également la **question du transport** des produits : les fertilisants issus de ressources non renouvelables impliquent le transport de matières issues d'autres continents, tandis que certaines MAFOR sont difficilement transportables, car chargées en eau et volumineuses, et sont souvent utilisées à proximité du lieu de production.

- Enjeux socio-économiques et géopolitiques

La production et l'utilisation de MAFOR contribuent à préserver les ressources fossiles et minières finies de la planète dans un objectif de développement durable. Au niveau national, elles permettent de **réduire la dépendance aux importations** de ressources absentes du territoire national.

Les engrais minéraux azotés, quant à eux, sont pour la plupart produits à partir d'ammoniac obtenu par synthèse à partir du diazote de l'air et de gaz naturel (méthane). La production française mobilise

¹ BDAT: Outil cartographique Geosol, 2014. <https://webapps.gissol.fr/geosol/>

couvre environ un tiers des besoins en azote de l'agriculture en France². Le reste de l'approvisionnement est assuré par les pays de l'UE (Belgique, Pays Bas, Allemagne, Lituanie, Pologne, Roumanie, Bulgarie) à hauteur de 46% et par d'autres pays, dont les plus importants sont la Russie et l'Égypte³.

Les **engrais phosphatés** sont produits à partir de phosphate de calcium naturel, extrait de gisements, dont 75% de la production est concentrée dans quelques pays : Chine (46%), Maroc et Sahara Occidental (15%), Etats-Unis (10%) et Russie (6%)⁴.

Les **engrais potassiques** sont produits à partir de sylvinite (KCl - NaCl), de carnalite (KCl - MgCl) ou de kaïnite (KCl, MgSO₄). Les principales réserves se trouvent au Canada, en Russie et en Biélorussie. Le **soufre** constitue une matière première de certains engrais minéraux. Les principaux producteurs de soufre sont la Chine, les Etats-Unis, la Russie, le Canada et l'Arabie Saoudite.

D'autre part, la production et l'utilisation de MAFOR favorisent la **valorisation de co-produits, effluents ou déchets** de différentes filières de la biomasse et permettent ainsi une **création de valeur** et des synergies inter-filières.

L'utilisation de fertilisants renouvelables va dans le sens des engagements pris par la France ou l'Union Européenne dans le cadre des sommets internationaux sur l'environnement.

- Un usage limité des fertilisants issus de ressources renouvelables
 - L'usage des fertilisants

Les quantités d'apports en fertilisants (engrais et amendements d'origine organique, minérale ou mixte) commercialisés augmentent légèrement depuis plusieurs années et représentent entre 17 et 18 Mt⁵. Ces chiffres excluent les effluents épandus sur l'exploitation directement ou cédés à titre gratuit.

Parmi ce gisement de fertilisants commercialisés, la **part de fertilisation organique** est également en **augmentation constante** depuis 2011, et atteint **36%** en France métropolitaine en 2017 (en tonnages).

L'ESCO Mafor estimait qu'en 2013, à l'échelle nationale, respectivement 38%, 62% et 78% de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) épandus en agriculture provenaient d'apports organiques exogènes (en tonnages). Ces chiffres concernaient principalement des effluents d'élevage, et incluaient les déjections émises à la pâture.

- Des gisements de fertilisants minéraux étrangers et de MAFOR français à développer

L'estimation actuelle des réserves mondiales de roches phosphatées s'élèvent à 300 milliards de tonnes, mais seulement 69 milliards de tonnes⁵ sont extractibles avec nos procédés technologiques actuels. Or, chaque année, 240 millions de tonnes sont prélevées, dont 47 millions pour la production de fertilisants de synthèse. Pour la potasse, ces quantités sont estimées à 250 milliards de tonnes, dont 7 milliards facilement accessibles. Le niveau d'extraction annuel est de 41 millions de tonnes.

² UNIFA, s.d. Engrais azotés, fertilisation-edu.fr

³ Union Nationale des Industries de la Fertilisation, s.d. <https://fertilisation-edu.fr/production-ressources/engrais-azotes.html>

⁴ United States Geological Survey, 2019. Mineral Commodity Summaries 2019. p. 123.

⁵ ANPEA, 2017. Observatoire national de la fertilisation minérale et organique. Résultats 2017.

Ainsi, il existe un risque d'épuisement pour ces réserves mondiales à horizon 2150, en considérant des prélèvements constants. Ceux-ci risquent par ailleurs de s'intensifier, tandis que les futures avancées technologiques sont également impossibles à prévoir.

En outre, la forte concentration des gisements dans quelques pays rend leur approvisionnement incertain. L'Europe, est quasi entièrement **dépendante** de ses **importations** de **phosphate** et de **soufre**. La **France** est également dépendante de ses importations en **potasse**.

L'ensemble des **MAFOR** produites en France représente **729 millions de tonnes de matières brutes** par an⁶. Les effluents d'élevage constituent une part importante de ce gisement, ils sont épandus à 94%. Les autres MAFOR sont bien moins valorisées. Les boues de stations d'épuration le sont à 73% (dont une partie après compostage ou envoi en méthanisation), les déchets ménagers assimilés à 14%, les déchets industriels organiques à 35%. Sous conditions du respect des conditions d'innocuité, ces dernières MAFOR **pourraient ainsi être plus largement valorisées** et permettre à des surfaces agricoles supplémentaires de bénéficier de ce type de fertilisants. Seulement 6,6 millions d'hectares en bénéficient sur les 29 millions de la surface agricole française métropolitaine.

En plus des considérations quantitatives, la **répartition inégale** de la production des MAFOR sur le territoire français constitue un frein à l'utilisation de ces matières. En effet, la concentration de l'élevage dans certaines régions françaises, dont les effluents sont peu transportables, est synonyme de concentration du gisement de ce type de MAFOR. De même, les villes constituent des gisements localisés de MAFOR, principalement utilisables par l'agriculture périurbaine. Ces concentrations de populations animales et humaines mobilisent des aliments qui ne sont pas produits sur place : ainsi, un épandage localisé de leurs déjections ne permet pas de restituer l'azote mobilisé dans les régions productrices de ces aliments, et ainsi de boucler le cycle de l'azote.

- Un contexte politique et législatif favorable au développement de cette fertilisation

Dans le cadre de développement de l'économie circulaire, de nombreuses politiques européennes et françaises sont susceptibles d'augmenter la part collectée et valorisée des gisements de MAFOR, d'améliorer leur qualité et leur traçabilité, de favoriser leur valorisation agronomique. Quelques-unes pourraient au contraire limiter certains gisements en limitant par exemple le gaspillage alimentaire sans toutefois remettre en cause le développement global des gisements.

La loi relative à la transition énergétique et à la croissance verte (LTECV) de 2015 a officiellement reconnu la transition vers une économie circulaire comme un objectif national et comme l'un des piliers du développement durable. Cette loi a par ailleurs défini des objectifs ambitieux concernant la gestion des déchets (atteindre 65% de recyclage pour les déchets non dangereux non inertes en 2025, réduire de moitié la mise en décharge en 2025 par rapport à 2010). Elle prévoit la généralisation du tri à la source des biodéchets des ménages et des professionnels en vue de les valoriser sur les sols agricoles comme fertilisants ou amendements.

⁶ ADEME, 2018. Matières fertilisantes organiques : gestion des épandages. Guide de bonnes pratiques

La loi « Garot » de 2016, relative à la lutte contre le gaspillage alimentaire (loi n°2016-138) **établit une hiérarchie des mesures anti-gaspillage : prévention, promotion sur les produits dont la date de péremption approche, puis don à des associations. Les supermarchés de plus de 400 m² n'ont plus le droit de rendre impropres à la consommation des invendus encore consommables**, et doivent pour cela nouer **un partenariat** avec une **association d'aide alimentaire** pour lui donner ses invendus alimentaires. La loi Garot s'étend depuis 2019 à la **restauration collective publique** : cantines scolaires, cantines d'hôpitaux...

Les Etats Généraux de l'Alimentation (EGA), organisés en 2017, ont formalisé le constat de la dépendance de l'agriculture française aux engrais issus de ressources non renouvelables et de la nécessité d'anticiper une éventuelle volatilité des prix à venir. L'atelier n°3 des EGA « Développer l'économie circulaire et la bio-économie » a donné lieu à de nombreuses propositions d'actions transcrites ensuite dans le « volet agricole » de la Feuille de Route pour l'Economie Circulaire (FREC), publié en février 2019. Une des mesures phare de ce « volet agricole » est de **fixer des objectifs stratégiques d'augmentation de la part des fertilisants issus de ressources renouvelables**.

La feuille de route nationale pour l'économie circulaire (FREC), publiée le 26 avril 2018 prévoit le tri à la source et la collecte des biodéchets des ménages et des gros producteurs (industries agro-alimentaire, restaurants etc.). Elle identifie aussi les enjeux de la mise en place d'une économie circulaire dans le secteur agricole : la qualité des déchets organiques utilisés et la pérennisation des approvisionnements en matières fertilisantes, la traçabilité des déchets organiques, le développement de l'économie circulaire grâce à l'agriculture, en s'assurant d'une juste répartition de la valeur.

La Loi « EGAlim » de 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et une alimentation saine et durable prévoit notamment une intensification de la lutte contre le gaspillage alimentaire avec la possibilité étendue à la restauration collective et à l'industrie agroalimentaire de faire des dons alimentaires.

Elle fixe également un objectif de **développement de l'agriculture biologique à 15% de la SAU d'ici 2022**. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de développer l'offre de fertilisants organiques, seuls éligibles en agriculture biologique.

Le Paquet Économie circulaire, publié au Journal officiel de l'Union européenne en juin 2018, regroupe différentes directives européennes (notamment la **Directive 2018/851**). Celui-ci fixe de nouveaux objectifs de recyclage et de réemploi des déchets municipaux d'ici à 2025 (55%), 2030 (60%) et 2035 (65%). **Les déchets organiques auront l'obligation d'être triés à la source en 2023** et non en 2025, comme il avait été prévu dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). Enfin, **le gaspillage alimentaire devra être réduit de 50% d'ici à 2030**.

Le Règlement européen sur les matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) de 2019. Ce règlement « d'application volontaire » encadre la qualité et la nature des MFSC destinées à une mise sur le marché européen. Il concerne notamment les composts et digestats issus d'effluents d'élevage, de matières végétales et de biodéchets triés à la source. Ce règlement pourrait avoir des répercussions sur les gisements étrangers de déchets ou sous-produits animaux utilisés en France comme fertilisants ou amendements.

Le Pacte Vert (Green Deal) européen de 2019 présente un plan d'actions qui vise à promouvoir l'utilisation efficace des ressources en passant à une économie propre et circulaire, à restaurer la biodiversité et à réduire la pollution. Le plan présente les investissements nécessaires et les instruments de financement disponibles. Il contient notamment un engagement de l'Union Européenne à être climatiquement neutre en 2050.

Le volet agriculture et biodiversité de ce Pacte Vert s'appelle la stratégie « Farm to Fork ». Elle donne l'**objectif de** réduire les pertes de nutriments liés à la fertilisation excessive d'au moins 50 % sans détérioration de la fertilité des sols, soit une réduction de l'utilisation de fertilisants d'au moins 20% à l'horizon 2030 ; et donne un objectif de **développement de l'agriculture biologique** à au moins **25%** de la SAU de l'Union européenne.

La **loi relative à la lutte contre le gaspillage et pour l'économie circulaire (loi AGEC)**, publiée le **10 Février 2020** instaure des objectifs de réduction du gaspillage alimentaire de 50% par rapport à son niveau de 2015 dans les domaines de la distribution alimentaire et de la restauration collective d'ici 2025 et de 50 % par rapport à son niveau de 2015 dans les domaines de la consommation, de la production, de la transformation et de la restauration commerciale d'ici 2030. La loi renforce les mesures de lutte contre le gaspillage alimentaire : les grossistes dont le chiffre d'affaires annuel est supérieur à 50 millions d'euros sont désormais concernés par les obligations de non-destruction des invendus et de don alimentaire. Elle rend obligatoire, d'ici 2023, le tri à la source des biodéchets pour les personnes qui en produisent plus de 5 tonnes/an et interdit, à compter du 1er janvier 2027, d'utiliser la fraction fermentescible des déchets issus d'installations de tri mécano biologique dans la fabrication de compost.

- **Objectifs de l'étude**

Cette étude prospective s'inscrit dans le cadre d'une volonté politique d'augmenter la part de fertilisants issus de ressources renouvelables en se fixant des objectifs stratégiques ou une trajectoire de mobilisation des matières fertilisantes issues de ressources renouvelables à horizon 2025 et 2035.

L'étude a pour but, en s'appuyant sur des scénarios prospectifs et en identifiant des leviers d'actions permettant d'atteindre ces objectifs, d'apporter des éléments pour aider à la décision publique, notamment pour :

- Fixer des objectifs nationaux stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants de qualité issus de ressources renouvelables ;
- Soutenir le développement de solutions de substitution aux engrais issus de ressources non-renouvelables ;
- Faciliter la mise sur le marché de fertilisants issus de ressources renouvelables, et de qualité fiable et constante ;
- Mobiliser des outils économiques et fiscaux pour inciter à l'utilisation de matières fertilisantes issues de ressources renouvelables.

2 Méthode

2.1 Approche générale

L'approche générale de l'étude est présentée dans la figure ci-dessous. Elle consiste en trois phases : (i) la modélisation de l'état actuel de fertilisation MAFOR en la France, (ii) la scénarisation du développement de la fertilisation par les MAFOR, (iii) la définition d'orientations stratégiques.

Dans le cadre de la première phase :

- Le périmètre des produits MAFOR et de leur utilisation, c'est-à-dire du système MAFOR, est défini,
- Les tendances passées et présentes des gisements de MAFOR et de leur utilisation sont étudiées,
- Les facteurs ayant une influence sur la fertilisation MAFOR (production et utilisation) sont identifiés,
- Les freins et les leviers à la production et l'usage de MAFOR par les acteurs sont identifiés, et les stratégies d'acteurs étudiées.

Dans la seconde phase :

- Certaines variables sont étudiées, ainsi que leur lien avec le système MAFOR et des leviers d'action,
- Des scénarios concernant des variables clés sont établis (microscénarios) et des scénarios globaux de fertilisation MAFOR sont construits, incluant à la fois des données de contexte général et sur la production et l'utilisation de MAFOR à l'échelle France.

Dans la troisième phase :

- Les scénarios sont évalués afin de déterminer leur faisabilité et leur souhaitabilité au regard du niveau d'utilisation des MAFOR ;
- Des orientations stratégiques (pouvant correspondre à un scénario construit ou non) sont définies ;
- Des recommandations pour mettre en œuvre les orientations stratégiques sont données.



Figure 2 : Approche générale de l'étude

2.2 Pilotage de l'étude

2.2.1. Cadrage par un comité de pilotage

Cette étude a été pilotée à la fois par les membres d'un comité de pilotage, qui a permis d'assurer une information régulière des commanditaires de l'étude. Ces réunions ont eu lieu à la fin de chaque phase, et ont permis d'acter les orientations clés de l'étude, et en particuliers la démarche et la méthode utilisées. Ses membres ont apporté leurs retours lors de la rédaction du rapport.

Tableau 1: Liste des membres initiaux du comité de pilotage

Prénom / Nom	Structure	Poste
Laurent Largent	AFAIA	Délégué général
Mathilde Heurtaux	ACTA / COMIFER / RMT fertilisation & environnement	Chargée de mission fertilisation et environnement
Isabelle Deportes	ADEME	Ingénieur de recherche sur les impacts sanitaires et environnementaux de la gestion des déchets
Fabienne Muller	ADEME	Ingénieure, Service Economie Circulaire et Déchets
François Yves	AFA	Membre du CA et du bureau
Lise Mopin	APCA	Chargée de mission économie circulaire et certification environnementale
Sophie Agasse	APCA	Responsable des dossiers impacts environnementaux
Christine Le Souder	Arvalis	Ingénieur fertilisation
Nathalie Galiri	APCA	Responsable du service Politique et & Actions agri-environnementales
Blaise Leclerc	ITAB	Expert fertilisation organique
Nada Boutighane	MAA / DGPE / SCPE / SDPE / BESEC	Chargée de mission déchets et économie circulaire
Sébastien Bouvatier	MAA/DGPE/SCPE/SDPE	Adjoint au sous-directeur de la performance environnementale et de la valorisation des territoires
Julien Hardelin	MAA / DGPE / SCPE / SDPE / BESEC	Chef du Bureau de la prospective et de la stratégie
Fanny Héraud	MAA / DGPE / SCPE / SDPE / BESEC	Cheffe du Bureau Eau, Sol et Economie circulaire
Frédéric Laffont	MAA/DGPE/SCPE/SDPE/BESEC	Adjoint à la Cheffe du Bureau Eau, Sol et Economie circulaire
Estelle Midler	MAA / DGPE / SCPE / SDPE / BESEC	Chargé de mission au bureau de la prospective et de la stratégie
Valérie To	MTES / CGDD / SEEIDD / I3DPP3	Chargée de mission Agriculture et Alimentation
Philippe Nouvel	MTES/CGDD/SEEIDD/I3DPP3	Chef du bureau de l'agriculture et de l'alimentation
Philippe Eveillard	UNIFA	Directeur Agriculture Environnement
Florence Nys	UNIFA	Déléguée générale

Au cours de l'étude, la composition du COPIL s'est élargie aux expert.e.s suivant.e.s :

Tableau 2: Liste des membres élargie du comité de pilotage

Prénom / Nom	Structure	Poste
Fabienne Muller	ADEME	Ingénieure, Service Economie Circulaire et Déchets
Jean-Philippe Bernard	Chambre d'Agriculture Charentes-Maritimes	Chargé de mission innovation
Claire Bodele	Chambre d'Agriculture Nord Pas de Calais	Responsable du SATEGE Artois -Picardie
Jean-Marie Paillat	CIRAD/ISTOM	Chercheur Unité Recyclage & Risque
Caroline Le Roux	COMIFER	Animatrice du groupe Produits Résiduels Organiques (PRO)
Marion Duval	FranceAgrimer	Adjointe au Chef de l'Unité Grains et Sucre
Marc Zribi	FranceAgrimer	Chef de l'Unité Grains et Sucre
Sabine Houot	INRAE Grignon	Chercheuse
Jean-Louis Peyraud	INRAE	Chercheur
Sylvie Recous	INRAE	Chercheuse
Sophie Guernemont	RMT bouclage	Remplacement Mathilde Heurtaux
Mohammed Benbranhim	RITMO	Nutrition et stimulation des plantes, agronomie, pédologie
Laure Metzger	RITMO	Directrice
Nicolas Thevenin	RITMO	Chargé de projet génie des procédés

2.2.1 Animation d'un groupe prospectif

Un comité d'experts, appelé « groupe prospectif » a également été construit et réuni pour nourrir les réflexions tout au long de l'étude.

Constitué d'une vingtaine d'experts d'organismes variés, il a eu pour rôle de :

- Contribuer à la réflexion méthodologique et à la collecte de données ;
- Discuter des hypothèses et résultats de scénarisation ;
- Accompagner la définition d'objectifs et d'orientations stratégiques.

Les experts du groupe prospectif sont présentés dans les tableaux ci-dessous. A noter que certains experts des groupes prospectifs ont également fait partie des comités de pilotage :

Tableau 3 : liste d'experts réunis dans le groupe prospectif

Prénom / Nom	Structure	Poste
Fabienne Muller	ADEME	Ingénieure, Service Economie Circulaire et Déchets
Yves François	Agriculteur	
Sophie Agasse	APCA	Responsable des dossiers impacts environnementaux
Hélène Lagrange	Arvalis	Ingénieure R&D en fertilisation
Jean-Philippe Bernard	Chambre d'Agriculture Charentes-Maritimes	Chargé de mission innovation
Lionel Grandemange	Chambre d'Agriculture départementale des Deux-Sèvres	Chef de service Productions
Marc Varchavsky	CERFrance	Responsable conseil économique conseil national CerFrance
Cécile Le Gall	CETIOM	Chargée d'étude - RMT F&E
Jean-Marie Paillat	CIRAD/ ISTOM	Chercheur Unité Recyclage & Risques
Loïc Monod	FAM - Direction Marchés, études et prospective	Chargé d'études bioéconomie
Clothilde Pinet	FNADE	Chargée de mission valorisation biologique
Audrey N'Diaye	FNSEA	Chargée de mission économie circulaire
Jean Louis Peyraud	INRAE	Directeur scientifique et membre du groupe de concertation du GENEM
Marilys Pradel	INRAE	Chercheuse sur la fertilisation organique et alternative
Noëlie Lienard	Institut économie circulaire	Chargée de mission
Sylvain Foray	Institut de l'élevage	Ingénieur chargé de projets
Enguerrand Burel	ITAB	
Claire Bodèle	Satège - CA Hauts de France	Responsable du SATEGE Artois -Picardie
Marie Lehouck	MTES – DEB	Adjointe au chef de bureau "Qualité de l'eau et agriculture" - Chargée de mission environnement et réglementation
Michel Duhalde	MTES – DGEC	Chargé de mission SNMB
Elisabeth Pagnac-Farbiaz	MTES - DGEC	Chargée de mission Climat Agriculture Forêt
Sandrine Parisse	MTES – SDES	Chargée de mission agriculture
Nicolas Thevenin	RITTMO	Chargé de projet génie des procédés
Philippe Eveillard	UNIFA	Responsable Agronomie-Environnement (retraité en 2020)

Différents échanges ont eu lieu tout au long de l'étude, dont les objectifs et le mode de communication sont présentés dans le tableau ci-dessous :

N°	Date	Type d'échange	Objectif
1	18 fév. 2020	Réunion physique	<ul style="list-style-type: none"> Présenter le système MAFOR et sa modélisation Identifier et caractériser les variables au système
Choix des variables clés avec le ministère de l'agriculture aux vues des caractérisations précédentes			
2	25 mai 2020	<ul style="list-style-type: none"> Envoi de fiches variables clés Partage d'un excel de scénarisation des variables clés 	<ul style="list-style-type: none"> Préciser la caractériser les variables clés Anticiper la scénarisation des variables en identifiant/échangeant des scénarios extrêmes possibles
Proposition de macroscéarios par le groupement			
3	2 juin 2020	Réunion et animations virtuelles	<ul style="list-style-type: none"> Echanger sur les scénarios de variables clés (microscénarios) à retenir Echanger sur les scénarios de globaux (macroscéarios) à retenir Echanger sur la cohérence des micro et macroscéarios

2.3 Ressources mobilisées pour la recherche bibliographique

Dans le cadre de cette étude, en particulier pour réaliser le diagnostic du système MAFOR, de nombreuses informations et données ont été récoltées par l'étude de la littérature sur les MAFOR ainsi que par l'utilisation de statistiques officielles.

Plusieurs ressources clés ont été particulièrement utilisées, elles sont citées ci-dessous.

Rapports :

- INRA-CNRS-IRSTEA ; 2014 ; l'Expertise Scientifique Collective (ESCo) - valorisation des MAFOR sur les sols à usage agricole ou forestier ;
- CGEDD-CGAAER ; 2015 ; Les épandages sur terres agricoles des MAFOR - Mission prospective sur les modalités d'encadrement et de suivi réglementaire
- COMIFER ; 2013 ; Calcul de la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales
- INRA ; 2012 ; ESCO - Les flux d'azote liés aux élevages - Réduire les pertes, rétablir les équilibres
- CGDD ; 2013 ; Les surplus d'azote et les gaz à effet de serre de l'activité agricole en France métropolitaine en 2010
- ADEME ; 2018 ; Matières fertilisantes organiques : gestion et épandage – guide des bonnes pratiques
- ADEME ; 2016 ; Mobilisation de la biomasse agricole - Etat de l'art et Analyse prospective
- RECORD ; 2016 ; Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse

Statistiques :

- Agreste

- ANPEA

NB : L'ESCo MAFOR a servi de base principale pour cette étude car il propose un diagnostic complet des gisements de MAFOR, et ceci sur le même périmètre. Des données plus récentes existent parfois concernant certaines sources de MAFOR. Néanmoins, il est parfois très complexe d'utiliser ces données concernant des périmètres variés, se recoupant parfois, sans prendre les risques de double-comptage. Ainsi, quand les périmètres des différentes données n'étaient pas suffisamment clairs, il a été choisi d'utiliser les données de l'ESCo MAFOR 2014. Le caractère prospectif de l'étude contribue à justifier ce choix d'un point de départ non biaisé, qui permet une modélisation temporelle du système de production et d'utilisation des MAFOR.

2.4 Définition du périmètre

Le périmètre de l'étude est présenté ci-dessous :

- **Périmètre géographique** : France y compris départements et régions d'outre-mer pour le bilan
- **Périmètre temporel** des scénarios : 2025, 2035
- **Matières concernées** : fertilisants d'origine renouvelable ou matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) d'origine agricole, industrielle ou urbaine
- **Utilisateurs concernés** : producteurs agricoles disposant de terres de production végétale

Le périmètre des produits considérés dans l'étude est présenté dans la figure ci-dessous. Les produits peuvent être minéraux ou organiques, bruts ou transformés.

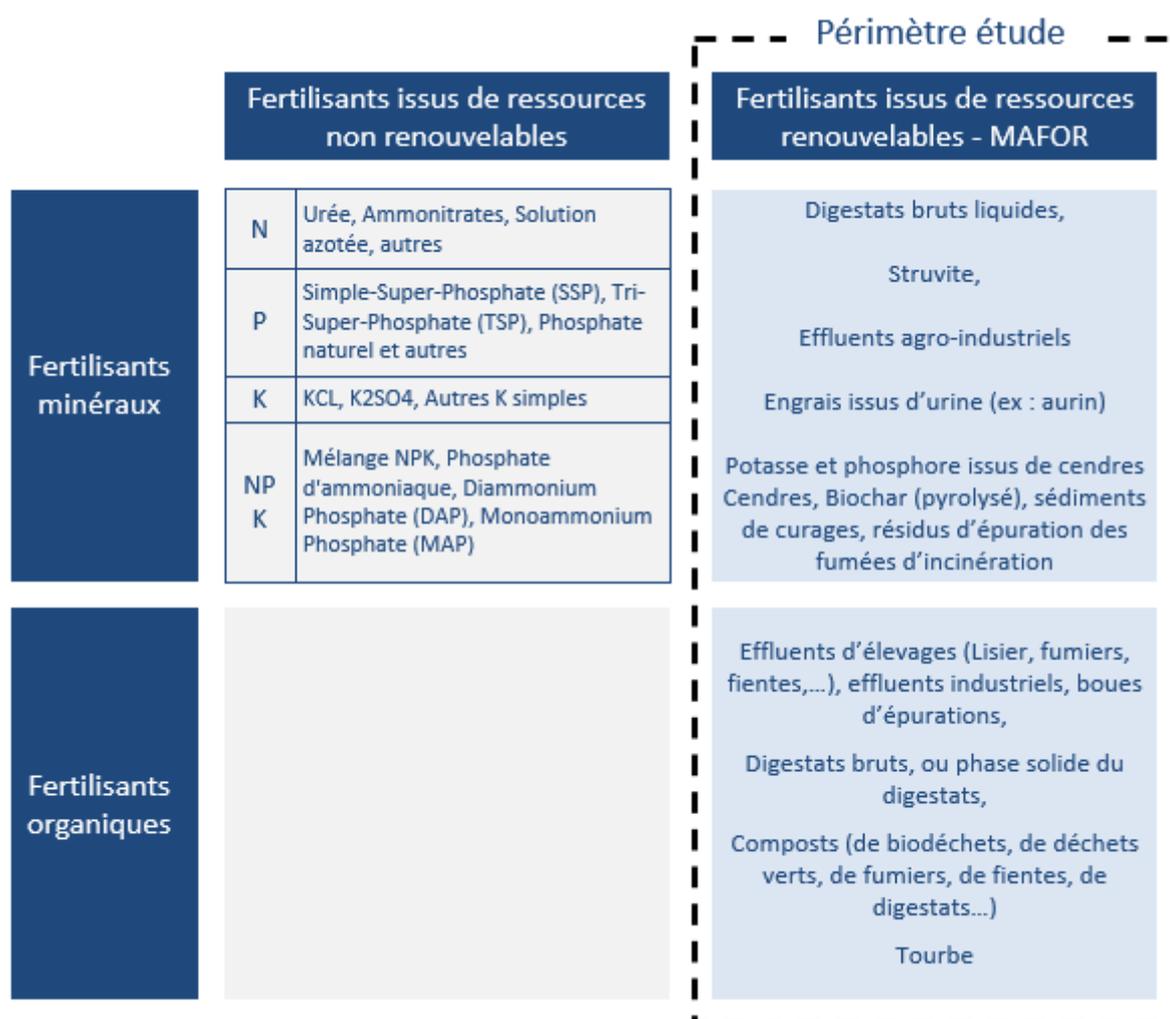


Figure 3 : produits considérés dans le périmètre de l'étude

2.5 Modélisation de l'usage actuel et futur des MAFOR

- Principe du modèle, calcul de la part de fertilisation MAFOR

Compte tenu de la complexité du système, un modèle a été construit dans le but de faciliter l'exercice de prospective sur la fertilisation. Celui-ci, basé sur le diagnostic entrepris en phase 1, modélise les gisements de MAFOR, leur utilisation pour les productions agricoles végétales, et calcule la part de fertilisation de la « ferme France » issue des MAFOR. Pour permettre un raisonnement quantifié requis par la définition d'orientations stratégiques chiffrées, et compte-tenu de la variété des MAFOR, il a été choisi d'effectuer ces calculs sur le nutriment azote. **Les autres intérêts agronomiques des MAFOR tels que les apports d'autres nutriments, en particulier de phosphore, ainsi que de matière organique, ne sont ainsi pas quantifiés dans le modèle pour des raisons de temps disponible.**

La méthode utilisée est une **adaptation simplifiée de la méthode du bilan**, proposée par le COMIFER⁷. La méthode du bilan consiste à calculer une variation de stock d'azote minéral du sol sur la profondeur explorée par les racines de la culture. Dans le modèle, nous appliquons ce bilan sur une période de 1 an. Dans le cas général, le bilan de masse s'écrit de la façon suivante :

$$\textit{Etat final} - \textit{Etat initial} = \textit{Apports} - \textit{Prélèvements par les plantes} - \textit{Autres pertes}$$

Or dans ce modèle, on cherche la quantité d'azote nécessaire au maintien de la fertilité et au fonctionnement des plantes. Ainsi, on suppose les niveaux d'azote constants entre états initiaux et états finaux, et donc :

$$\textit{Apports} = \textit{Prélèvements par les plantes} + \textit{Autres pertes}$$

Or ces apports peuvent être de différentes natures : des MAFOR, mais également des fertilisants issus de ressources non renouvelables, et d'autres sources (dépôt d'azote atmosphérique, fixation symbiotique notamment...).

Dans le modèle, la quantité de fertilisants d'origine non renouvelable est donc calculée par différence entre la quantité d'azote nécessaire et celle effectivement apportée par les MAFOR, selon l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \textit{Quantité de fertilisants d'origine non recyclées} \\ = (\textit{Pertes} + \textit{prélèvements par les plantes} - \textit{Autres apports d'azote}) \\ - \textit{Apports par les MAFOR} \end{aligned}$$

Le modèle final propose donc une part de fertilisation MAFOR qui vaut :

Part de fertilisation MAFOR

$$= \frac{\textit{Azote apporté par les MAFOR}}{\textit{Azote apporté par les MAFOR} + \textit{Azote apporté par les fertilisants d'origine non recyclée}}$$

⁷ COMIFER, Groupe Azote. 2013, Calcul de la fertilisation azotée : Guide méthodologique pour l'établissement de prescriptions locales, cultures annuelles et prairies

$$= \frac{\text{Azote apporté par les MAFOR}}{\text{Besoin des plantes en azote} + \text{Pertes} - \text{Autres apports d'azote}}$$

- Calcul de l'azote efficace apporté par les MAFOR (numérateur)

Le calcul de l'azote efficace apporté par les MAFOR est basé sur la prise en compte de l'ensemble des grands groupes de MAFOR et de leurs caractéristiques : niveau de collecte, de transformation, d'efficacité en termes de fertilisation azotée. La modélisation de ce calcul est représentée par le diagramme ci-dessous. Les types de MAFOR présentés sont décrits dans le diagnostic (§3.1)

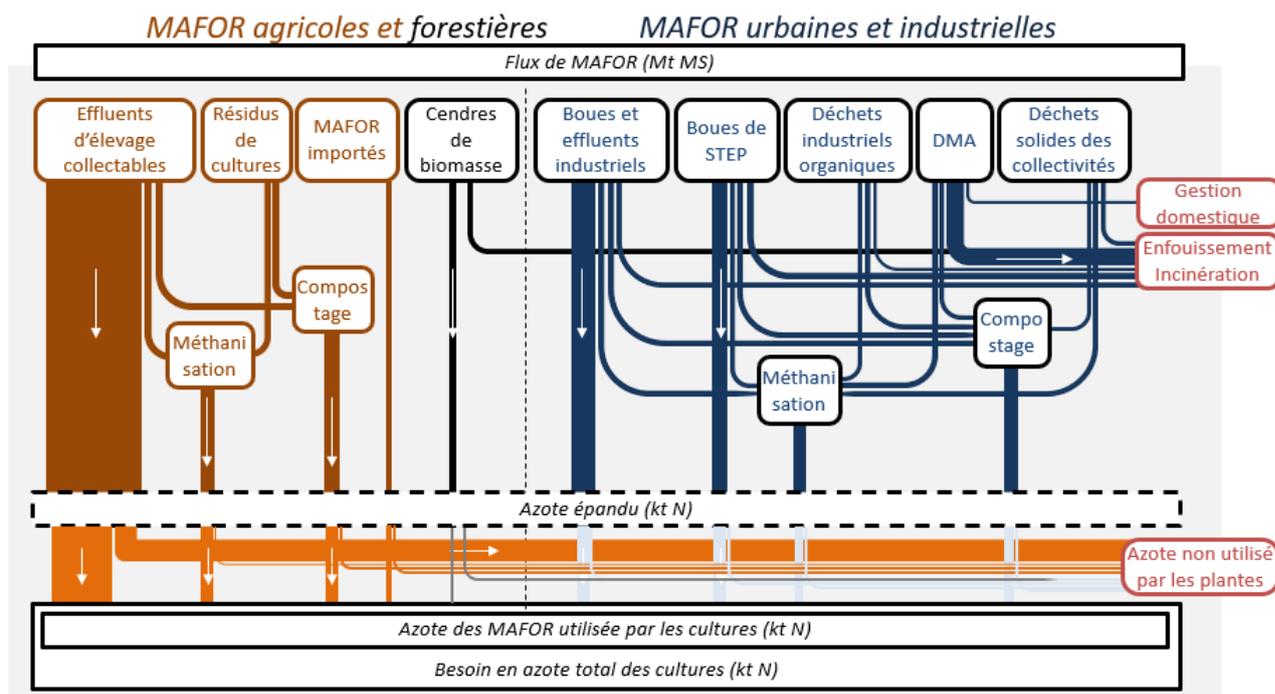


Figure 4 : Diagramme de Sankey des flux de MAFOR en matière brute, et en flux azotés jusqu'à leur utilisation par les cultures – STEU pour Station de Traitement des Eaux usées Urbaines, DMA pour Déchets Ménagers et Assimilés

- Calcul des besoins en fertilisation azotée des cultures (dénominateur)

Le calcul des besoins en fertilisation azotée des cultures est représenté ci-dessous. Il est basé sur les besoins physiologiques des plantes et tient compte des apports d'azote autres que par les engrais, et des pertes dans l'environnement.

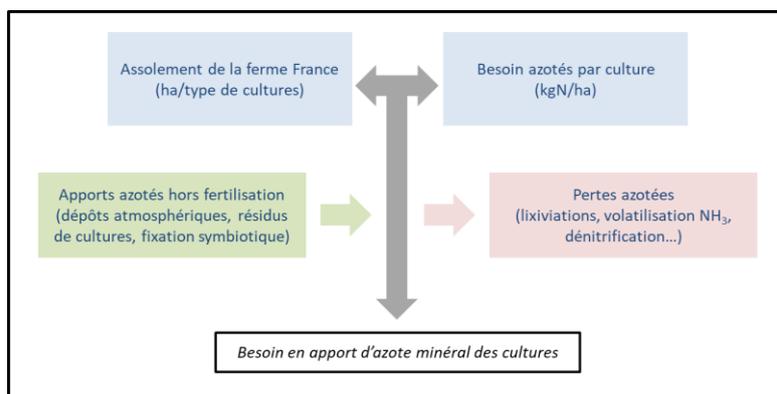


Figure 5 : Modélisation de besoins en fertilisation azotée des cultures en France

Le calcul du dénominateur se base sur la méthode du bilan du COMIFER, avec quelques approximations.

Les apports en azote autre que par les MAFOR et les fertilisants d'origine recyclée sont calculés comme suit :

$$\text{Apports } N \text{ hors fertilisation} = \text{Dépôts } N \text{ atmosphériques} + N \text{ des résidus de cultures} + N \text{ de la fixation symbiotique}$$

Les apports d'azote par la fixation symbiotique sont basés sur les surfaces de légumineuses de la « ferme France ».

$$N \text{ de la fixation symbiotique} = \sum_{i=\text{type de légumineuse}} \text{Surface en France (ha)}_i \times \text{taux de fixation (kgN/ha)}_i$$

Pour chaque source de MAFOR, une teneur en azote efficace a été calculée. Elle se base d'abord sur l'utilisation des coefficients d'équivalence engrais minéral (Keq) qui représentent indirectement la part d'azote de la MAFOR utilisée par les plantes lors de l'année d'apport (la plus grosse partie). Pour tenir compte de la part d'azote libéré et utilisé les années suivantes, des coefficients, appelés Keq_{orga}, ont été définis. Ils sont basés sur les coefficients Fsyst de l'équation du bilan du COMIFER (voir en annexe).

Ces Keq sont alors multipliés par la teneur en azote du type de MAFOR (fumier, lisier, compost, digestat...) et permet d'en déduire la quantité totale d'azote libérée par ce gisement.

Quantité d'azote efficace

$$= (Keq + Keq \text{ orga}) * \text{Teneur en azote du type de MAFOR considéré}$$

Le fait de définir un Keq total incluant le Keq organique permet d'intégrer l'arrière effet des MAFOR au bilan azoté. Les valeurs choisies sont celle du COMIFER : ce sont des valeurs moyennes en France, qui ne font pas de distinction des conditions pédo-climatiques et qui concernent les modes d'épandage les plus répandus.

Dans cette même logique, les cinétiques de minéralisation du stock d'azote du sol ont été laissées de côté : on suppose que les besoins en azote doivent permettre de reconstituer ce stock année après année. De plus, ces cinétiques de minéralisation diffèrent selon les conditions pédo-climatiques, et ne pouvaient donc pas être intégrées au modèle.

- Synthèse : présentation du modèle

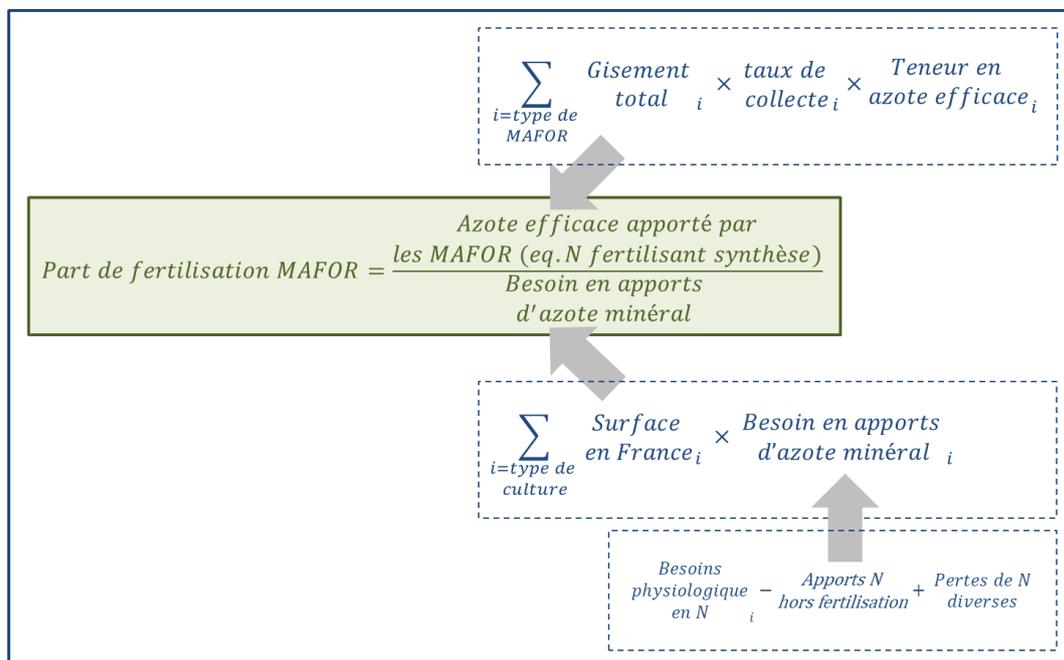


Figure 6 : équation de calcul de la part de fertilisation MAFOR par le modèle

2.6 Définition des scénarios

2.6.1 Objectifs poursuivis

Afin de guider la définition d'orientations stratégiques concernant la fertilisation MAFOR, trois scénarios globaux d'évolution de production et d'utilisation de MAFOR à horizons 2025-2035 ont été construits. Pour chacun d'entre eux sont déterminés :

- Une « histoire », permettant la définition d'un cadre logique dans lequel s'inscriront les différents paramètres du scénario ;
- Une estimation quantitative, des besoins en fertilisants (exprimés en millions de tonnes azote), des productions de MAFOR, d'utilisation de MAFOR par l'agriculture française ;
- Les orientations prises par les facteurs d'influence les plus importants, c'est-à-dire les variables clés, ainsi qu'un paramétrage précis de ces variables pour les horizons 2025, 2035 ;
- Des niveaux de probabilité et de souhaitabilité de la réalisation du scénario ;
- Des conditions de réalisation du scénario (de contexte économique, technologique, réglementaire, politique, ...).

2.6.2 Approche pour la construction des scénarios

La construction des scénarios a été réalisée de manière itérative entre la recherche d'études et de données permettant des propositions de scénarios ou de briques de scénarios d'une part, et l'échange avec les membres du groupe prospectif afin d'obtenir un retour critique sur l'intérêt des scénarios choisis et leur faisabilité. Elle a été structurée par plusieurs échanges avec le groupe prospectif, comme expliqué précédemment.

Afin d'aboutir à des orientations stratégiques relativement précises quantitativement en termes de fertilisation MAFOR, il a été choisi de centrer le travail prospectif sur le système de production et d'utilisation des MAFOR, système choisi pour la modélisation. Ainsi les variables choisies sur lesquelles s'appuient les macroscénarios sont très liées à des gisements, des taux de collecte, des niveaux d'efficacité de la fertilisation MAFOR. En cela, l'exercice se différencie des exercices de prospective « pure » intégrant des variables exogènes au système de l'ordre de la politique ou du commerce extérieur.

Concernant les macroscénarios, il a été choisi de s'appuyer sur des travaux existants, dont le cadre général a été particulièrement étudié et dont les différentes composantes ont été mises en cohérence. Il s'agit des scénarios scénarios AMS 2 et TYFA, respectivement issus des travaux réalisés par le Commissariat Général au Développement Durable⁸ et l'ADEME⁹ et de l'IDDRI¹⁰.

⁸ Direction Générale de l'Énergie et du Climat. 2020. « Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat: Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ».

⁹ ADEME. 2017. « Actualisation du scénario Énergie-Climat de l'ADEME 2035-2050 ».

¹⁰ Poux, Xavier, et Pierre-Marie Aubert. : « Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine », 78.

Le scénario « Transition ambitieuse » est fondé sur le scénario AMS 2. Il s'agit d'une version révisée du scénario AMS qui sert de référence à la stratégie française pour l'énergie et le climat (SNBC) visant une neutralité carbone en 2050. Il intègre à la fois des paramètres de cadrage macro-économique (démographie, croissance économique coût des énergies...), des données sur l'évolution des coûts et des technologies et des éléments associés au choix des politiques publiques. Il sert de base au macro-scénario « Transition ambitieuse » et inclut les hypothèses suivantes :

- Le contexte international est favorable en ce qui concerne le respect des Accords de Paris. En effet, les pays vont plus loin que les contributions déterminées à l'échelle nationale (NDC) déjà transmises.
- Les efforts réalisés à l'échelle de la planète permettent de maintenir le réchauffement climatique en dessous de 2°C. Toutefois, certains impacts du changement climatiques sont pris en compte, en particulier une baisse des rendements agricoles dus à des événements climatiques extrêmes plus nombreux.
- Le prix des énergies fossiles augmente avec le temps (le prix du baril de Brent dépasse durablement les 100€ à partir de 2025).

Le scénario « Sobriété locale », quant à lui, s'appuie sur le scénario TYFA proposé par l'IDDRI, qui propose une stratégie de transition du système agricole et alimentaire européen. Il s'agit d'un projet agro-écologique, qui vise à prendre en compte à la fois les enjeux liés au changement climatique, à l'alimentation durable et à la préservation de la biodiversité et des ressources naturelles. Les hypothèses majeures de ce scénario sont :

- Un abandon total des pesticides et des engrais azotés issus de ressources finies d'ici 2050, et le redéploiement de prairies extensives.
- Une gestion de la fertilité au niveau territorial qui passe par un arrêt des importations de soja et des protéines végétales, la réintroduction des légumineuses dans les rotations, et une reterritorialisation de l'élevage dans les zones de cultures.

Enfin, le scénario « tendanciel » a été établi par I Care & Consult. Il prolonge les tendances passées, sans toutefois être en mesure d'assurer une cohérence interne entre les micro-scénarios.

Les résultats des scénarios TYFA et AMS 2 ont été particulièrement utiles pour la définition des micro-scénarios des variables cheptel et assolement. En effet, ces travaux proposent des visions futures des systèmes agricoles qui sont des systèmes très complexes et dont la prospective a nécessité un travail important.

2.7 Evaluation des scénarios et définitions d'orientations stratégiques

2.7.1 Identification de hiérarchisation des freins et des leviers à la fertilisation MAFOR et recommandations

Les variables identifiées au §3.2.1 sont endogènes, et peuvent être influencées par les pouvoirs publics. Or, des changements de paramétrage de ces variables génèrent des modifications de la part de fertilisation MAFOR. Celle-ci fait donc face à des freins ou s'appuie sur des leviers que les pouvoirs publics peuvent lever ou actionner.

Ainsi, pour chaque variable, ont été identifiés les freins et les leviers associés, afin de caractériser des recommandations de politiques publiques adaptées pour influencer sur chacune de ces variables et sur la fertilisation. Ces freins et leviers peuvent être regroupés dans différentes catégories, dont la typologie est présentée dans le tableau ci-dessous.



Figure 7: Principales catégories de freins au développement des MAFOR

Selon les niveaux d'influence des freins et leviers sur les variables et donc sur la fertilisation MAFOR, les recommandations ont été hiérarchisées. La quantité de MAFOR concernée a également été prise en compte pour hiérarchiser les recommandations.

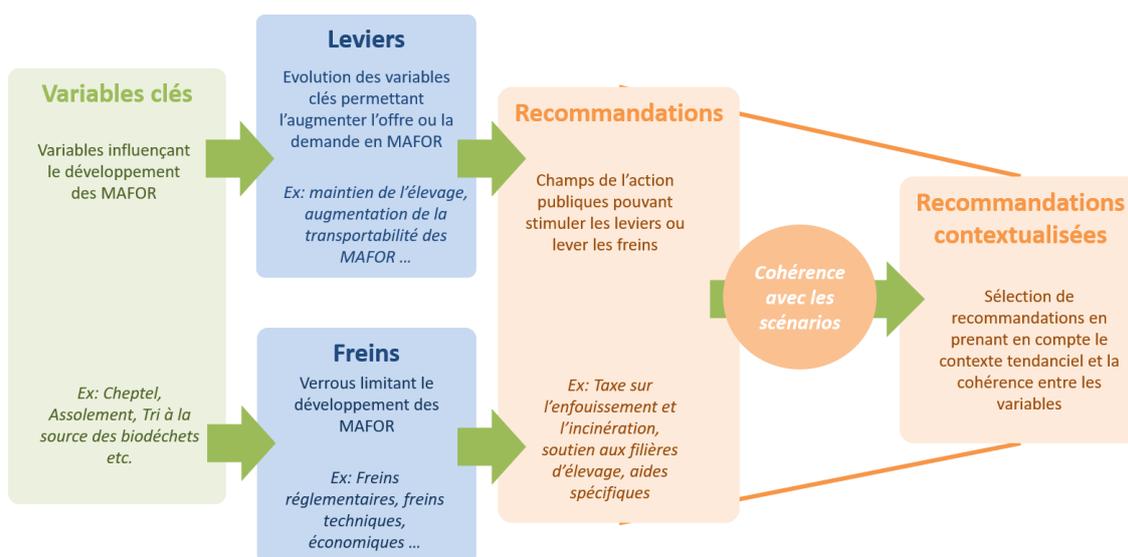


Figure 8: Méthodologie d'élaboration des recommandations

Enfin, les recommandations ont été caractérisées sur leur cohérence avec les macroscénarios. Ainsi, des éventuelles incompatibilités ont pu être mises en évidence.

2.7.2 Définition des orientations stratégiques

Après avoir identifié les recommandations et vérifié leur niveau de cohérence avec les macro-scénarios, ces recommandations ont été rassemblées par thématiques (politiques de soutien à l'agriculture, gestion des déchets...) et en axes stratégiques.

Au sein de ces grands axes, les recommandations ont été hiérarchisées par ordre de priorité. Leur caractère prioritaire a été défini selon leur niveau d'efficacité à augmenter la part de fertilisation MAFOR.

Le schéma ci-dessous illustre la structure du cadre stratégique proposée pour cette étude.

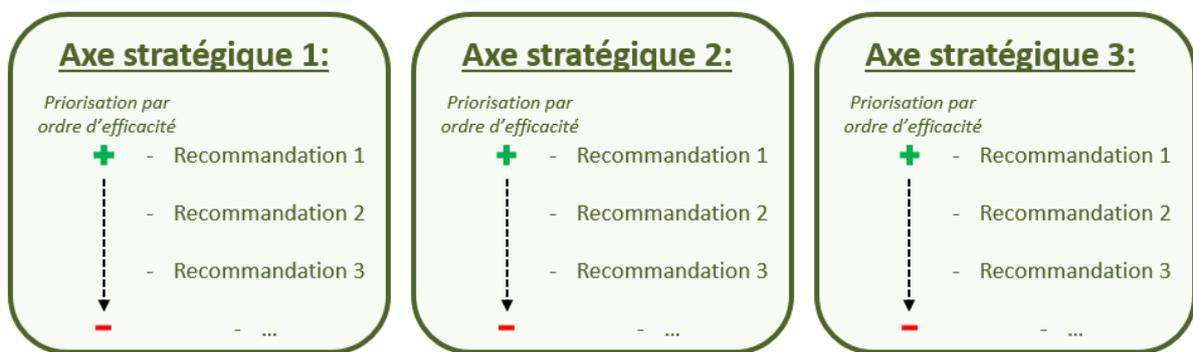


Figure 9: Structuration des orientations stratégiques

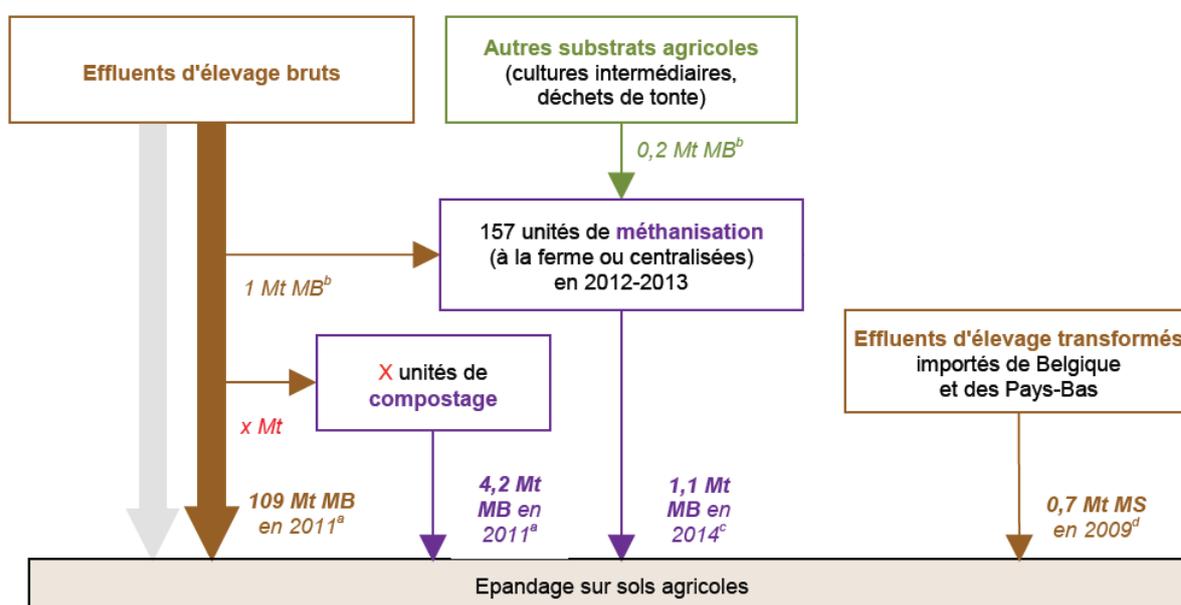
3 Résultats

3.1 Diagnostic

3.1.1 Etude des gisements de MAFOR et de leur utilisation actuelle

Pour les besoins de cette étude, les principaux gisements de MAFOR ont été répartis en différentes catégories, en se basant sur les catégories définies par l'ESCO MAFOR de 2014 présentées ci-dessous.

- Les MAFOR d'origine agricole et forestière, comprenant en premier lieu les effluents des animaux d'élevage (et ceux importés), et dans une bien moindre mesure les résidus de cultures (uniquement ceux exportés), ainsi que les résidus issus des filières sylvicoles et des cendres.



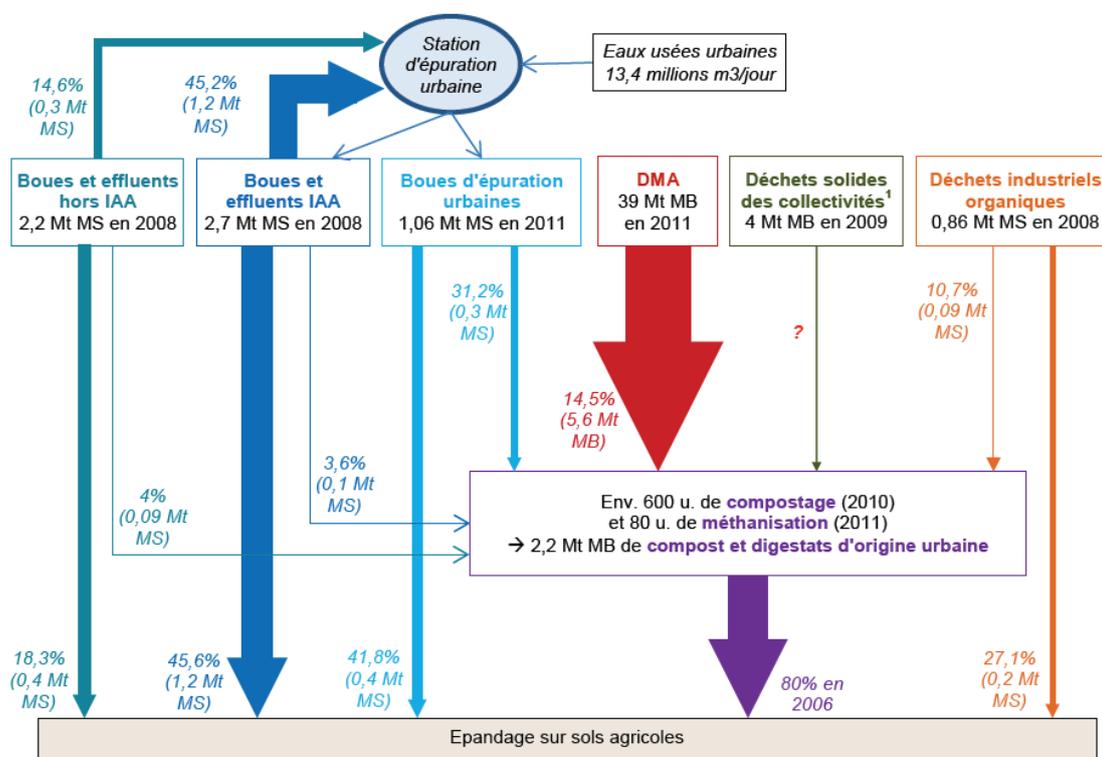
Les effluents importés de Belgique et des Pays-Bas sont des fientes déshydratées de volailles, des composts de fumier de volailles, et la phase solide de lisier de porcs, principalement commercialisés dans les régions situées au Nord de la Seine.

Sources multiples : ^a enquête "Pratiques culturales 2011" ; ^b ADEME 2013 ; ^c Solagro, communication personnelle ; ^d UNIFA 2011.

Figure 10 : Sources et gisements de MAFOR agricoles. Source : ESCO MAFOR 2014.

- Les MAFOR d'origine industrielle et urbaine, qui regroupent de multiples sources :
 - Les boues et effluents issus de l'industrie (IAA et hors IAA) ;
 - Les boues d'épuration urbaines ;
 - Les Déchet Ménagers et Assimilés (DMA) (fraction fermentescible des ordures ménagères, déchets alimentaires et déchets verts collectés à la source ...) ;
 - Les Déchets Organiques des Gros Producteurs (GP), intégrant à la fois les déchets industriels organiques (déchets alimentaires issus des process, déchets verts...) et les déchets solides des collectivités (déchets verts principalement mais également des déchets alimentaires...).

L'ensemble des déchets alimentaires et des déchets verts, à la fois des gros producteurs (GP) et des ménages et assimilés (DMA) sont appelés « biodéchets » dans la réglementation et dans la suite de cette étude.



¹ déchets issus des marchés, voiries, déchets verts...

Figure 11 : Sources et gisements des MAFOR urbaines et industrielles. Source : ESCO MAFOR 2014. DMA pour Déchets Ménagers et Assimilés

Le CGEDD/CGAAER 2015 propose un premier bilan global de la fertilisation MAFOR en termes de matières sèches, qui donne un aperçu de la part prépondérante occupée par les effluents d'élevage.

Tableau 4 : Quantités estimées de MAFOR épandues annuellement sur sols agricoles (Matières Sèches). Source : CGEDD / CGAAER 2015

Déchets et sous produits épandus	Quantités en Mt de matière sèche	Part relative en %	Observations
Effluents d'élevage	31	77,5	Les effluents émis au pâturage ne sont pas comptabilisés
Déchets ménagers et assimilés (DMA) et autres déchets organiques urbains et industriels	3	7,5	Un important gisement potentiellement valorisable (10 à 15 Mt) n'est pas épandu
Boues urbaines	1	2,5	
Boues industrielles	4	10	Donnée incertaine
Autres cendres, résidus de curage, biochars, refioms	1	2,5	Donnée très incertaine
Total	40	100	

3.1.1.1 Les MAFOR d'origine agricole et forestière

3.1.1.1.1 MAFOR issues des effluents d'élevage

- **Diagnostic de l'ESCO MAFOR**

L'écrasante majorité des MAFOR d'origine agricole provient des effluents d'élevage (95%), qui sont eux-mêmes aux $\frac{3}{4}$ constitués des effluents de bovins.

L'ESCO MAFOR 2014 estime que **109 Mt de matières brutes (MB) d'effluents d'élevage sont collectées et épandues** sans traitement préalable. En termes de matière sèche, cela se traduit selon le rapport CGEDD/CGAAER 2015, par **31 Mt de MS**. Ces chiffres ne comptabilisent pas les effluents émis au pâturage (environ la moitié des effluents excrétés en ordre de grandeur), mais bien uniquement ce qui est épandu. Ces effluents émis directement au champ par les animaux (lors du pâturage) ne sont pas considérés comme des MAFOR car ils ne sont pas épandus au sens strict. Néanmoins, dans le cadre de cette étude, ils seront considérés dans le calcul de la part de fertilisation issue MAFOR.

- **Diagnostic affiné**
 - **Gisement total**

Afin de faciliter le travail de scénarisation, l'étude du gisement de MAFOR issues des effluents d'élevage a été basée sur les données caractérisant le cheptel qui sont issues du CGDD (2013). En effet, sur la base des tailles des différents cheptels, des taux d'excrétion, des teneurs en azote, les gisements de MAFOR ont été calculés, et sont présentés dans le tableau synthétique ci-dessous et de manière détaillée en annexe.

Tableau 5 : Cheptel et gisement de MAFOR d'élevage en quantité d'azote (source CGDD 2013)

2010	UGB	ktN
Bovins	10 696 104	1 326
Ovins et caprins	2 167 003	134
Porcins	468 455	143
Volaille et lapins	300 628	127
Total	13 632 190	1 730

Ces gisements par type d'animaux ont été distingués par type d'effluents : fumier ou lisier. Cette distinction permet un paramétrage de ces pools avec des taux de pertes et des Keq différents selon les produits. Les proportions des différents types d'effluents sont présentées en annexe.

- **Gisement collecté et transformé**

Tous les effluents collectés sont considérés comme épandus, que ce soit sous forme brute ou bien sous forme traitée.

Ces gisements totaux ont été distingués selon qu'ils étaient excrétés au champ lors du pâturage ou en bâtiment. En effet, le gisement excrété au champ ne peut pas être collecté. Toutefois, il est utile en termes de fertilisation et d'apports organiques au sol, mais ne peut être transformé (composté ou

méthanisé). Il ne subit donc pas les mêmes taux de pertes ou d'efficacité, et est donc comptabilisé différemment dans le calcul de la fertilisation MAFOR.

Pour cette distinction, une hypothèse de **60% de taux de collecte pour les bovins, ovins, caprins et équidés, et de 95% pour les porcins et la volaille (source : ESCO Mafor)**, a été formulée. Ce taux de collecte illustrant le temps passé en bâtiment.

Au sein du gisement collecté, la proportion d'effluents qui subit des étapes de compostage (hors fumiers) et de méthanisation est mal connue, et avoisinerait 5% (CGEDD/CGAEER 2015). D'après l'ESCO Mafor, environ **4,2 Mt de MB de compost d'effluents d'élevage ont été épandues**, et **1,1 Mt de MB ont été épandues sous forme de digestat de méthaniseur**. En faisant l'hypothèse que le compostage réduit par 3 le volume d'effluents et que la méthanisation utilise 1 Mt MB d'effluents par Mt de digestat produit, on obtient 12 Mt d'effluents compostés et 1 Mt d'effluents méthanisés. On obtient alors 11% des effluents qui subissent un traitement amont.

o Gisement efficace en termes de fertilisation azotée

Pour les effluents collectés, on considère des taux de pertes par volatilisation liés au stockage en bâtiment. Ces taux de pertes par volatilisation sont issus de l'ESCO INRA 2012 et sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Taux de volatilisation de l'azote des effluents d'élevage (source ESCO INRA 2012)

Type de donnée	Sous-catégories		Valeur
Volatilisation entre l'excrétion et la sortie du bâtiment	lisier	porcins	20,4%
		volaille	35,0%
		bovin	21,0%
		autres	21,0%
	fumier	porcins	82,0%
		volaille	35,0%
		bovin bâtiment	19,8%
		autres	19,8%

Pour les effluents collectés et les effluents excrétés en pâturage, on considère des pertes par lessivage, ainsi que des pertes par volatilisation au moment du pâturage ou au moment de l'épandage. Ces pertes sont comptabilisées par l'intermédiaire des coefficients d'efficacité d'utilisation de l'azote ou Keq .

Une partie de l'azote des MAFOR n'est pas utilisé rapidement car il est sous forme organique, plus stable (cette caractéristique est prise en compte dans le modèle par les Keq). Cet azote est en partie minéralisé et utilisé par les plantes les années suivantes. Cet azote est considéré dans l'azote efficace par l'utilisation des Keq_{orga} .

Les coefficients utilisés sont présentés ci-dessous et sont issus du rapport du COMIFER (2013).

Tableau 7 : coefficient équivalent d'utilisation d'azote - Keq et Keq_{orga}

Type de MAFOR	Keq	Keq _{orga}
Fumier	15%	10%
Lisier - porcins	50%	2%
Lisier - volaille	80%	2%
Lisier - bovins	40%	2%
Lisier - autres	40%	2%
Compost de fumier	15%	10%
Digestat de méthaniseur	60%	10%

Les flux d'azote comptabilisés sont schématisés dans la figure ci-dessous.

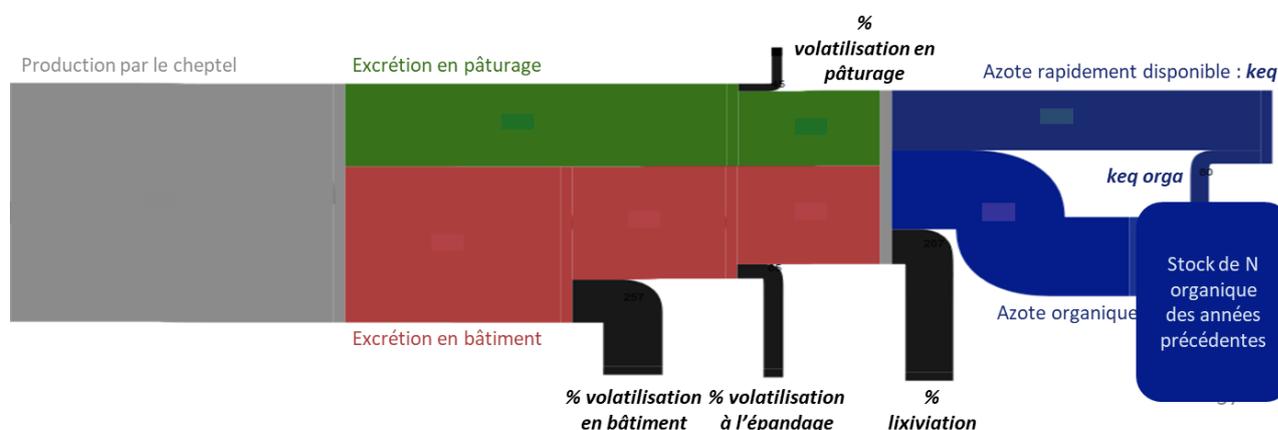


Figure 12 : schématisation des flux d'azote issus de l'élevage

La quantité totale d'azote excrétée par le cheptel ainsi que la quantité d'azote efficace sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8: Gisement efficace de MAFOR d'élevage en quantité d'azote équivalent

Source/Type de MAFOR	Azote total excrété par le cheptel (ktN)	Azote efficace disponible (ktN)
Porcins	143	19
Volaille	127	25
Bovins	1 326	206
Autres	134	21
Compost	NA	21
Digestats	NA	6
Total	1 730	552

3.1.1.1.2 Les MAFOR issues de la valorisation de résidus de cultures

La majorité des résidus de cultures est réutilisée directement sur place et laissée au champ pour assurer un certain retour des nutriments et un entretien de la matière organique du sol. Cette part n'est pas considérée dans les MAFOR. Elle restitue néanmoins des nutriments au sol. Elle est comptabilisée dans le calcul du besoin des cultures en fertilisant : retranchée à ce besoin (cf. §2.2).

Une partie est utilisée puis valorisée en fumier puis éventuellement compostée (hors fumier) ou méthanisée, à hauteur de 0,2 Mt de MB selon l'ESCO MAFOR 2014, ce qui ne représente qu'une part négligeable du total des MAFOR agricoles. Par souci de simplicité, et parce qu'il n'a pas été prévu de faire varier ce prélèvement, elle a été considérée de la même manière que les résidus directement utilisés au sol (évitant ainsi le double compte avec l'azote des fumiers : la quantité d'azote du gisement des fumiers étant calculée sur la base de l'azote excrété par le cheptel).

3.1.1.1.3 Les MAFOR d'origine agricole importées

Selon l'ESCO MAFOR 2014, qui s'appuie sur une enquête de l'UNIFA, **0,7 Mt de MS** de fientes déshydratées et de compost de fumier de volailles, ainsi que de phase solide de lisier de porcs, étaient importées en 2011 depuis les Pays-Bas et la Belgique, à destination des régions situées au Nord de la Seine. Ceci représenterait un **gisement total en azote de 22 ktN ou soit près 12 ktN d'azote efficace**.

3.1.1.1.4 Les MAFOR issues de ressources sylvicoles et cendres

Seules les cendres ont été considérées pour ces MAFOR. En effet, les résidus sylvicoles qui ne sont pas valorisés énergétiquement n'ont plutôt pas vocation à être récoltés et sont généralement laissés sur les sols forestiers pour préserver leur qualité.

L'ESCO MAFOR fait l'hypothèse d'une **production de cendres en 2011 comprise entre 0,13 et 0,25 Mt en ordre de grandeur**, sans qu'il soit possible de déterminer la part qui est épandue. Depuis, Boulday et Marvovecchio (2016)¹¹ ont estimé le gisement de cendres issu de la combustion. En 2015, la production totale de cendres issues de chaufferies biomasse s'élève à 200 000 tonnes par an, dont **100 000 tonnes sont valorisées en agriculture**. Le gisement total est constitué par les cendres sous foyers et les cendres volantes. Avec l'hypothèse que seules les cendres sous foyers sont valorisables et un ratio de cendres sous foyer équivalentes à 80-85% des cendres produites, le **potentiel de cendres valorisables** parmi les 200 000 t **est en fait de 165 000 t**. Ainsi, le taux de valorisation actuel est de 60%.

Les cendres ont des teneurs en azote quasi nulles⁶ (pour rappel, le potassium, présent en quantité importante dans les cendres, n'est pas traité dans ce bilan). Une quantité d'azote de 1,2% a été considérée (ADEME, 2014). Le **gisement total en azote** issu des cendres serait **de 2,0 ktN**. Sans information sur les Keq, mais avec des ratio C/N proches de 20 tels des fumiers, un taux d'azote efficace de 25% a été choisi. Ainsi le **gisement en azote efficace serait de 0,5 ktN** dont 60% déjà valorisé.

¹¹ RECORD 2016 - Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse - Revue des gisements et des procédés associés

3.1.1.2 Les MAFOR d'origine industrielles et urbaines

3.1.1.2.1 Boues et effluents industriels

Le gisement des boues et effluents industriels représente 4,9 Mt de MS (ESCO MAFOR 2014). Les gisements et les modes de valorisation actuels des boues et effluents des IAA d'une part, des boues et effluents hors IAA d'autre part sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Boues et effluents des industries (Source : Esco MAFOR 2014 d'après INSEE-SSP-Agreste, chiffres 2008)

	Boues et effluents des IAA : 2,7 Mt de MS	Boues et effluents hors IAA : 2,2 Mt de MS
Part des diverses industries productrices (t de MS)	<p>■ Industrie des viandes - 819 626 t ■ Industrie laitière - 749 862 t ■ Industrie des fruits et légumes - 512 584 t ■ Autres industries alimentaires - 180 545 t ■ Travail des grains, fabrication de produits amylacés - 74 332 t ■ IAA peu productrices de boues/effluents - 104 402 t ■ Fabrication de boissons - 212 648 t</p>	<p>■ Industrie du papier et du carton - 771 305 t ■ Industrie extractive - 755 731 t ■ Industrie chimique - 228 582 t ■ Métallurgie - 200 806 t ■ Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques - 80 198 t ■ Industrie pharmaceutique - 43 551 t ■ Industries hors IAA peu productrices de boues/effluents ou faisant valoir le secret statistique - 114 377 t</p>
Part (%) et quantités (t de MS) des différentes voies de valorisation et d'élimination	<p>■ épandage ■ compostage ■ station d'épuration ■ méthanisation ■ incinération ■ valorisation ■ mise en décharge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Epandage brut : 1,23 Mt de MS • Compostage : 0,05 Mt de MS • Méthanisation : 0,05 Mt de MS • STEP : 1,22 Mt de MS • Non MAFOR : 0,15 Mt de MS 	<p>■ épandage ■ compostage ■ station d'épuration ■ méthanisation ■ incinération ■ valorisation ■ mise en décharge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Epandage brut : 0,40 Mt de MS • Compostage : 0,09 Mt de MS • Méthanisation : 0 Mt de MS • STEP : 0,32 Mt de MS • Non MAFOR : 1,39 Mt de MS

Les boues et effluents industriels sont déjà fortement valorisés agronomiquement ou autrement (énergie, matière). Une part importante est traitée en station d'épuration avant potentiellement d'être également valorisée agronomiquement. Les boues et effluents des IAA sont peu mis en décharge ou incinérés (moins de 5,6%) tandis qu'ils le sont fortement pour les hors IAA (43,9%). Ce taux plus faible de valorisation est en partie dû à la qualité de ces déchets dont les teneurs en polluants ne permettent pas l'épandage (voir fiche « boues de stations d'épuration urbaines et industrielles » en annexe).

La production et la valorisation des **déchets organiques – dont les boues et les effluents des industriels** – ne sont pas réparties de manière homogène sur le territoire (voir figure ci-dessous). Les déchets organiques sont produits dans l'ouest et le nord de la France où sont concentrées les industries agroalimentaires françaises, et sont valorisés agronomiquement à proximité étant donné la faible transportabilité de ces déchets.

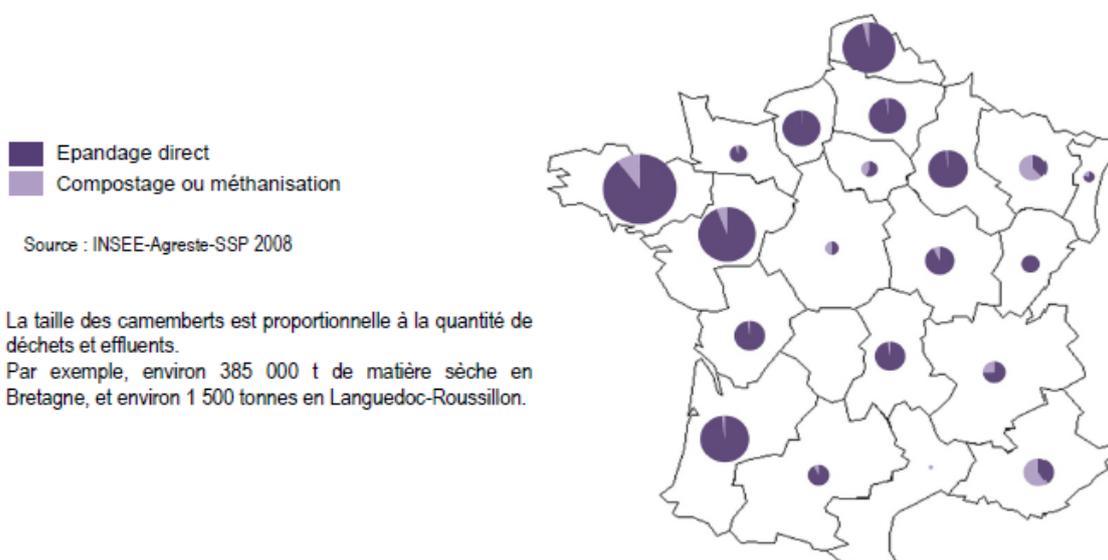


Figure 13 : répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinés à la valorisation agronomique en 2008 (Source Esco MAFOR 2014)

3.1.1.2.2 Boues des stations de traitement des eaux usées (STEU) urbaines

Selon l'ESCO MAFOR, la production annuelle de boues par les STEU urbaines serait de l'ordre de **1,06 Mt de MS** (en 2011, s'appuie sur le ministère de l'écologie).

- **41,8% sont épandues sans traitement** préalable (**0,45 Mt de MS** ou **2,4 Mt de MB**)
- **31,2% sont épandues après traitements**, tels que méthanisation, compostage, filtration, séchage, déshydratation, chaulage, hygiénisation (**0,33 Mt de MS** ou **1,8 Mt de MB**)
- **18,8% incinérées**, (soit **0,19 Mt de MS** ou **1,07 Mt de MB**)
- **9% ont un usage non MAFOR** (soit **0,1 Mt de MS** ou **0,53 Mt de MB**)

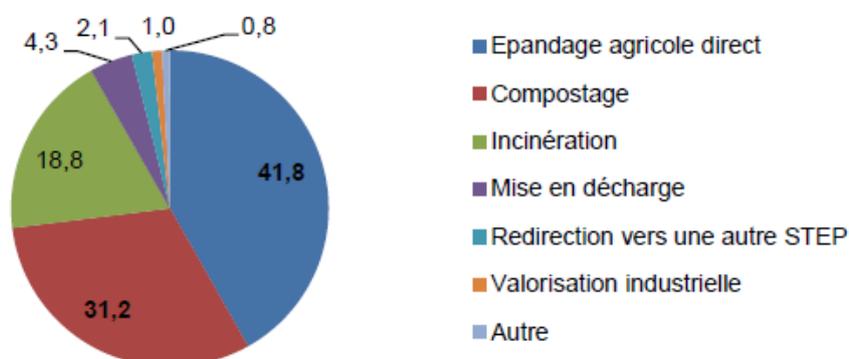


Figure 14 : Destination des boues de STEU en 2011. Source ESCO MAFOR 2014 Chapitre 1

Les boues de STEU sont produites là où les populations vivent, c'est-à-dire près des villes. Elles sont également peu transportables et sont épandues sur les terrains agricoles environnant. Elles sont plutôt épandues directement dans le nord et compostées avant dans le sud, sans que ce constat soit expliqué.

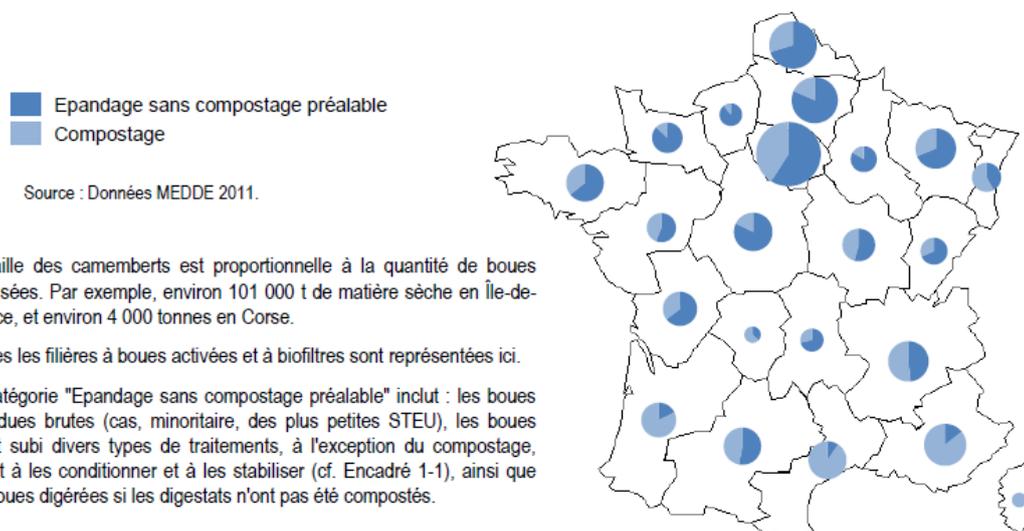


Figure 15 : Répartition des quantités de boues de STEU destinées à la valorisation agricole en 2011. Source ESCO MAFOR 2014 Chapitre 1

3.1.1.2.3 Les biodéchets des ménages, des entreprises et des collectivités

- Etude des gisements des déchets ménagers et assimilés (DMA)

Les déchets ménagers et assimilés représentent une grande catégorie de déchets divers, dont seulement une partie est organique et valorisable en MAFOR. Ils sont présentés dans la figure ci-dessous. Une fraction est collectée séparément et l'autre constitue les ordures ménagères résiduelles (OMR).



Figure 16 : Types de déchets inclus dans les déchets ménagers et assimilés

Les OMR sont constitués d'une fraction fermentescible et d'une fraction putrescible, dont la figure ci-dessus explicite la différence. La fraction putrescible des OMR correspond à l'ensemble des déchets verts et des déchets alimentaires, et représente 30% du tonnage des OMR. La fraction fermentescible inclut la fraction putrescible, et comprend également les papiers, cartons et textiles sanitaires. Elle représente environ 60% du tonnage total.

A l'heure actuelle, une partie de la fraction **fermentescible** des OMR est valorisée par les plateformes de Tri Mécano-Biologique. Ces plateformes permettent de séparer mécaniquement la matière organique (dilacération, tri), permettant la valorisation de ces matières via des procédés de compostage ou de méthanisation.

Toutefois, l'ADEME les déconseille par rapport au tri à la source des biodéchets¹², qui ne concerne que la partie **putrescible** des OMR (les papiers et cartons étant déjà triés à la source par ailleurs).

Selon l'ADEME¹³, en 2015, les DMA représentaient 37,9 Mt de MB, dont la fraction valorisable en MAFOR était la suivante :

- Le gisement total d'OMR est de 17,4 Mt de MB, dont une part fermentescible qui constitue 60% de ce total, soit **10,4 Mt de MB**, et une fraction putrescible constituant 30% de ce total, soit **6,96 Mt de MB**.
 - **8,9% (0,93 Mt de MB) d'OMR fermentescibles** sont valorisés grâce aux plateformes de Tri Mécano Biologique, ce qui représente 5,3% des OMR.
 - Par ailleurs, **4,8 Mt de MB de déchets verts et déchets alimentaires sont collectés séparément, valorisés agronomiquement à 100%**.
- Déchets solides des gros producteurs

L'étude bibliographique a mis en évidence un manque de données concernant les déchets des entreprises et des collectivités, manque déjà mentionné dans le rapport ESCO MAFOR. Dans cette étude, il a été décidé de les distinguer selon les catégories gros producteur / hors gros producteur, et non pas en fonction des sources des biodéchets (collectivités, industries hors IAA, ou IAA), bien que pour cette dernière catégorie, il existe des données plus récentes¹⁴.

Les gros producteurs de biodéchets sont les entreprises de restauration, de commerce alimentaire, les industries agro-alimentaires, les entreprises de cosmétique, de pharmacie, de parfumerie... Les biodéchets des collectivités (restauration collective, entretien des espaces verts) sont supposés inclus dans ces gros producteurs, l'ESCO Mafor étant peu clair à ce sujet.

Prise en application de la directive européenne du 19 novembre 2008 relative aux déchets (Directive 2008/98/CE), l'obligation de tri à la source et de valorisation organique des biodéchets des « gros producteurs » a été instaurée par l'article 204 de la loi du 12 juillet 2010, dite loi Grenelle 2.

Ce seuil de définition des gros producteurs s'est abaissé progressivement, au cours de réglementations successives (80 t/an en 2013, 40 t/an en 2014, 20 t/an en 2015, 10 t/an en 2016). Or, la loi de lutte contre le gaspillage alimentaire et l'économie circulaire fait passer le seuil de définition des gros producteurs de 10 tonnes à 5 tonnes de biodéchets par an à partir de 2023.

¹² « Avis ADEME Traitement des ordures ménagères résiduelles ». 2017. ADEME Presse. Consulté le 16 juillet 2020. <https://presse.ademe.fr/2017/04/avis-de-lademe-quel-avenir-pour-le-traitement-des-ordures-menageres-residuelles.html>.

¹³ Heyberger, Agnès. 2019. « Rafaëlle DESPLATS, ADEME, service Mobilisation et Valorisation des Déchets », 36.

¹⁴ RESEDA. 2017. « Gisements et valorisations des coproduits des industries agroalimentaires ».

En 2013, le gisement de biodéchets des gros producteurs est estimé comme suit :

- 4,7 Mt de MB provenant des gros producteurs (restauration, commerce alimentaire, IAA, entretien espaces verts, cosmétique, pharmacie, parfumerie). Ils sont composés de :
 - 3,2 Mt de déchets verts, largement collectés et valorisés. Il s'agit des déchets organiques formés de résidus (feuilles mortes, tontes de gazon, tailles de haies, d'arbustes et d'arbres, déchets d'entretien de massifs) issus de l'entretien des espaces verts, des zones récréatives, des jardins privés (des particuliers collectés séparément ou par le biais des déchetteries), des serres, des terrains de sports.
 - 1,5 Mt de MB d'autres biodéchets (commerce alimentaire, restauration, marchés).
- 2,2 Mt de MB hors gros producteurs (entreprises productrices de biodéchets mais en quantités inférieures aux seuils définissant les "gros producteurs".)

L'ESCO MAFOR 2014 propose l'hypothèse selon laquelle ces 2,2 Mt biodéchets ne sont actuellement pas comptés dans les quantités de DMA actuellement valorisées, ce sont donc 3,7 millions de tonnes supplémentaires de biodéchets (2,2 + 1,5) qui pourraient donc être dirigées vers les plateformes de compostage (ou les unités de méthanisation), puis valorisées sur sols agricoles ou forestiers. Le rapport « matières entrantes » / « compost sortant » étant environ de 3, de l'ordre de 1,2 millions de tonnes de compost supplémentaires pourraient ainsi être produites. Ne disposant pas de données sur la part des 2,2 Mt triés à la source suite à la nouvelle réglementation de 2016, le choix a été fait de conserver les données relatives à cette date.

A noter que les déchets verts souillés par des substances dangereuses (résidus phytosanitaires par exemple) sont des déchets dangereux et ne doivent pas être utilisés.

Par ailleurs, des données récentes¹⁵ montrent que les activités économiques produisaient 8,6 Mt de biodéchets en 2016, alors qu'ils ne représentaient que 3,9 Mt en 2004. Malgré cette croissance importante, nous conservons les données de 2013 de par la nécessité de distinguer les déchets verts et les déchets alimentaires dans le gisement.

En l'absence de données sur le traitement à la source des biodéchets des entreprises, une hypothèse est faite : un gisement de 0,5 Mt est considéré comme géré à la source, dont 0,25 Mt de déchets verts et 0,25 Mt de déchets alimentaires, à retrancher de ce qui est considéré comme actuellement collecté.

¹⁵ Haeusler, Laurence, Juliette Talpin, et Mathieu Hestin. 2019. « Déchets chiffres-clefs: l'essentiel 2019 ». ADEME.

- Voies de valorisation des DMA et des biodéchets des gros producteurs

Différentes sources permettent d'avoir des indications quant à la quantité de biodéchets allant en compostage et en méthanisation : l'ESCO Mafor mais également les enquêtes ITOM 2014¹⁶ et ITOM 2016¹⁷. Les chiffres de 2014 montrent qu'environ 5,3 Mt de MB sont envoyés en compost et en méthanisation (incluant les TMB), sur un total de 26,45 Mt biodéchets produits par an.

Selon le rapport CGEDD 2015, une partie des déchets ménagers et assimilés sont épandus directement. Avec l'ensemble des boues et des effluents, 3 MT de MS sont épandus directement chaque année. Néanmoins, un important gisement potentiellement valorisable n'est pas épandu, soit parce qu'il n'est pas collecté (déchets verts et biodéchets), ne respecte pas les normes sanitaires (boues de STEU, boues et effluents industriels) ou est envoyé en incinération.

3.1.1.3 Récapitulatif des données concernant les MAFOR agricoles et urbaines et leurs voies de transformation

3.1.1.3.1 Présentation des différentes sources de données

Comme expliqué précédemment, nous disposons de nombreuses données en ce qui concerne les gisements en MAFOR et leurs voies de transformation, même si l'on peut regretter leur caractère relativement ancien. Le tableau ci-dessous en fait en résumé, et permet d'identifier les données choisies pour le diagnostic actuel des traitements amont.

¹⁶ Rafaëlle, DESPLATS, et MAHE Chloé. 2017. « Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France » : Données 2014 ». ADEME.

¹⁷ Desplats, Raphaëlle. 2019. « Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France: données 2016 ». ADEME.

Tableau 10: Résumé des différentes sources de données concernant les gisements en MAFOR et leurs traitements

Type de MAFOR	Année donnée gisement	Année donnée traitement	Compostage		Méthanisation		Source données gisement	Sources données traitement
			Mt MB	%	Mt MB	%		
Effluents d'élevage	2010	2011	4,20 compost épandu		1,00 digestat épandu		RGA + calcul excréation CGEDD + taux collecte ANPEA	ESCO Mafor
		2013			0,67			ADEME - Bilan national des projets biogaz (à la ferme uniquement)
		2014			0,2 t MS			ADEME - Mobilisation biomasse agricole 2016
		2014	0,07		~0			ADEME - Enquête ITOM 2014
Tri TMB	2014	2015	0,93				ESCO Mafor	
		2016		54,0%		46,0%		ADEME - Enquête ITOM 2016
Déchets verts totaux (DMA, gros producteurs, producteurs hors GP)	DMA: 2013	2014	4,69		0,53		ADEME	ADEME - Enquête ITOM 2014
	Gros prod: 2013	2016	4,86		0,03		ADEME	ADEME - Enquête ITOM 2016
Déchets alimentaires (DMA, gros producteurs, producteurs hors GP)	DMA: 2013 Gros prod: 2013	2013			0,05		ADEME	ADEME - Bilan national des projets biogaz (à la ferme uniquement)
		2014	0,21		0,10			ADEME - Enquête ITOM 2014 (centralisé uniquement)
		2016	0,30		0,08		ESCO Mafor	ADEME - Enquête ITOM 2016 (centralisé uniquement)
Boues STEP	2011	2011		31,2%		0,0%	ESCO Mafor	ESCO Mafor
Boues hors IAA	2008	2008		1,9%		1,7%	ESCO Mafor	ESCO Mafor
Boues IAA	2008	2008		3,9%		0,1%	ESCO Mafor	ESCO Mafor
	2016						RESEDA 2017	
Toutes boues confondues		2016	1,75					ADEME - Enquête ITOM 2016
Déchets verts, Alimentaires et Boues		2014 2016	7,6					Base de données SINOE ADEME – Enquête ITOM 2016

3.1.1.3.2 Choix des données à utilisées pour le diagnostic de fertilisation MAFOR

Finalement, le diagnostic actuel de la fertilisation MAFOR regroupe les données issues des années suivantes :

Tableau 11: Années des sources choisies pour le diagnostic de la situation actuelle et pour les traitements amont

Type de MAFOR	Année de la donnée pour le gisement	Année de la donnée pour le traitement amont
Effluents d'élevage	2010	2011
Tri TMB	2015	2016
Déchets verts (DMA, gros producteurs, entreprises hors GP)	2013 données collecte Gisement total données 2016	2014
Déchets alimentaires (DMA, gros producteurs, entreprises hors GP)	2013 données collecte Gisement total données 2016	2014 (compostage et méthanisation centralisée), 2013 (méthanisation à la ferme)
Boues STEP	2011	2011
Boues hors IAA	2008	2008
Boues IAA	2008	2008

Il est ici supposé que les données sur le devenir des boues de STEP, d'IAA et d'industries hors IAA en ce qui concerne la méthanisation englobent à la fois la méthanisation centralisée et à la ferme. En revanche, en ce qui concerne les fumiers et lisiers et les déchets alimentaires, les données des tonnages entrant en unités de méthanisation centralisés (ITOM 2014) ont été additionnés aux données 2013 de méthanisation à la ferme.

Le choix de l'année des données utilisées est particulièrement important, et ceci pour plusieurs raisons :

- Le bilan actuel de la fertilisation MAFOR résulte d'un agrégat de données d'années différentes
- Le macro-scénario tendanciel expose des résultats à 2025 et 2035 d'évolutions supposées linéaires de chaque variable (micro-scénarios) en fonction des tendances passées. Pour chaque micro-scénario, il est nécessaire de calculer les scénarios tendanciels à partir de l'année exacte de départ.
- Les hypothèses de scénarios des traitements amont se basent fortement sur la situation actuelle, comme expliqué par la suite
- Les filières de compostage et de méthanisation évoluent très rapidement, et les tonnages de déchets compostés et méthanisés également, comme le montre le tableau ci-dessous, qui résume le nombre d'installations de compostage et méthanisation des principales sources de données disponibles :

Tableau 12: Evolution du nombre de centres de compostage et de méthaniseurs centralisés

	ESCO Mafor	2014 (ITOM 2014)	2016 (ITOM 2016)
Nombre de centres de TMB	37 (donnée 2013)	49	55
Nombre d'installations de compostage	593 (donnée 2010)	585	631
Tonnages totaux reçus en installations de compostage centralisés	6,7 Mt (donnée 2010)	7,2 Mt	7,6 Mt
Installations de méthanisation centralisée	9 (donnée 2010)	4	7
Tonnages totaux reçus en installations de méthanisation centralisées	Inclus dans les 6,7 Mt	0,166 Mt	0,126 Mt

La méthanisation à la ferme, quant à elle, comptait 130 projets en 2013, ce qui représentait 1,05 Mt de substrats.

3.1.1.3.3 Etat des lieux du traitement amont des MAFOR

Grâce aux différentes sources identifiées ci-dessus, un état des lieux des traitements amont des MAFOR a été réalisé. Il est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13: Etat des lieux du traitement amont des MAFOR, chiffres issus des données mentionnées ci-dessus

	Année gisement	Année traitement	Gisement (MB)	Compostage		Méthanisation		Epdandage direct	
				Mt	%	Mt	%	Mt	%
Effluents d'élevage	2010	2014 et 2013 (à la ferme)	122,60	12,60	10,3%	1,00	0,8%	109,00	88,9
DMA / Tri TMB	2015	2016	0,93	0,50	54,0%	0,43	46,0%	0,00	0,0%
DMA / Déchets verts	2013	2014	4,82	4,69	60,4%	0,53	6,8%	-	-
GP / Déchets verts	2013	2014	2,95						
DMA / Alim	2013	2014 et 2013 (à la ferme)	0,14	0,20	14,4%	0,13	9,4%	-	-
GP / Alim	2013	2014 et 2013 (à la ferme)	1,25						
Boues STEP	2011	2011	4,24	1,32	31,2%	0,00	0,0%	1,77	41,8%
Boues hors IAA	2008	2008	8,80	0,34	3,9%	0,01	0,1%	1,61	18,3%
Boues IAA	2008	2008	10,80	0,21	1,9%	0,18	1,7%	4,92	45,6%

Les gisements présentés concernent l'ensemble des gisements produits pour les effluents d'élevage et les boues, et les gisements collectés en ce qui concerne les biodéchets (DMA, Gros Producteurs et TMB). Pour l'ensemble des boues, les tonnages présentés ici sont exprimés en matière brute, et ont été calculés sur la base de données en matière sèche (ESCO Mafor), avec une hypothèse de 25% de matière sèche.

A noter également qu'une légère incohérence demeure pour les données d'épandage direct : le CGEDD 2015 indique que 3 Mt de MS de boues et de biodéchets sont épandues ; or ici, les boues épandues représentent 2,1 Mt de MS. Par simplicité, les chiffres du tableau sont conservés. Or, les rapports de l'ITOM 2014 et 2016 informent qu'une partie du compost produit et des digestats de méthanisation (hors méthanisation à la ferme) sont refusés. Cette proportion est assez variable : nous prenons donc la moyenne de ces deux valeurs.

Tableau 14: Proportion des refus issus des plateformes de compostage et de méthanisation centralisées

		ITOM 2014	ITOM 2016	Moyenne (hypothèse I care)
Méthanisation	Digestat épandu	25%	37%	31%
	Compost	43%	33%	38%
	Refus	32%	30%	31%
Compostage	Compost	78%	70%	74%
	Refus	7%	18%	13%
	Autres	15%	13%	14%

Par ailleurs, l'hypothèse est faite que l'intégralité des digestats de méthanisation issus de méthaniseurs à la ferme sont valorisés directement.

3.1.1.3.4 Calcul des apports azotés des MAFOR industrielles et urbaines

A partir des données sur les gisements (en matière brute ou sèche) produits et valorisés agronomiquement, ont été calculés les gisements en azote total, valorisé, et efficace sur la base de Keq et Keq_{orga} pour les différents produits.

Tableau 15 : Coefficients d'azote efficace utilisés – source : COMIFER 2013 ; ESCO MAFOR 2014

Type de MAFOR	Keq	Keq_{orga}
Composts - déchets verts et OMR	10%	10%
Composts – boues	15%	10%
Digestats méthanisation	60%	10%
Boues brutes	35%	2%

Dans un souci de simplification, nous avons assimilé le Keq des digestats de méthanisation compostés à celui d'un compost de déchets verts et OMR.

Tableau 16 : Synthèse des gisements azotés totaux, valorisés et efficaces des MAFOR industrielles et urbaines

Sous-composante	Gisement d'azote total produit (ktN)	Azote collecté puis valorisé agronomiquement (ktN)	Azote efficace utilisé (ktN)
DMA	298	109	X
Déchets des gros producteurs	107	65	X
Boues	77	74	X
Cendres	2	2	X
Total	484	249	X
Total épandage direct	X	X	6
Total compost	X	X	14
Total méthanisation	X	X	5
Total	X	X	26

3.1.2 Bilan de la fertilisation MAFOR

L'évaluation des gisements azotés de chaque type de MAFOR, de la part collectée, traitée, (compostage, méthanisation), épandue et de la part efficace d'azote a permis *in fine* le calcul de la part de fertilisation MAFOR. Ce processus de calcul ainsi que les résultats à chaque étape sont schématisés dans la figure ci-dessous. La part de fertilisation MAFOR est actuellement de 21%. Elle est principalement liée aux MAFOR issues des effluents d'élevage. Elle est à mettre au regard des 39% d'apports azotés issus des MAFOR ne comptabilisant ni les excréments au pâturage et ne considérant pas la question de l'efficacité de l'azote épandu (ESCO MAFOR 2014).

Cette part peut être augmentée par :

- Une meilleure collecte du gisement des déchets organiques d'origines industrielles et urbaines qui n'est pas totalement collecté, en particulier la fraction organique des DMA. Une augmentation de la part collectée valorisée en agriculture serait également pertinente.
- Des traitements générant des MAFOR dont l'azote, et plus généralement les nutriments, peuvent être plus efficacement utilisés par les plantes. C'est le cas de la méthanisation.
- Une diminution de la consommation totale en fertilisants
- Une diminution des pertes azotées et de nutriments entre la production des MAFOR et leur utilisation.

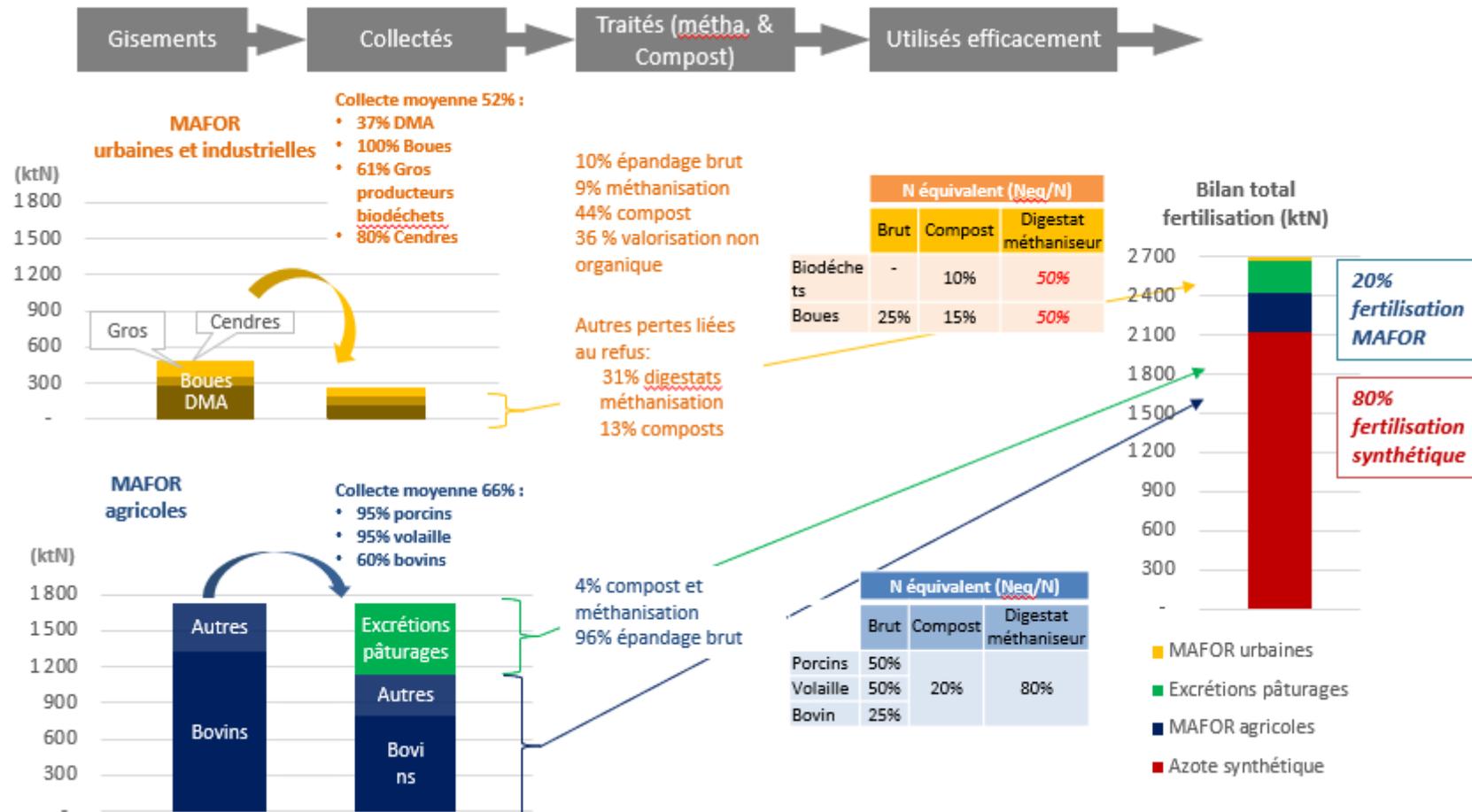
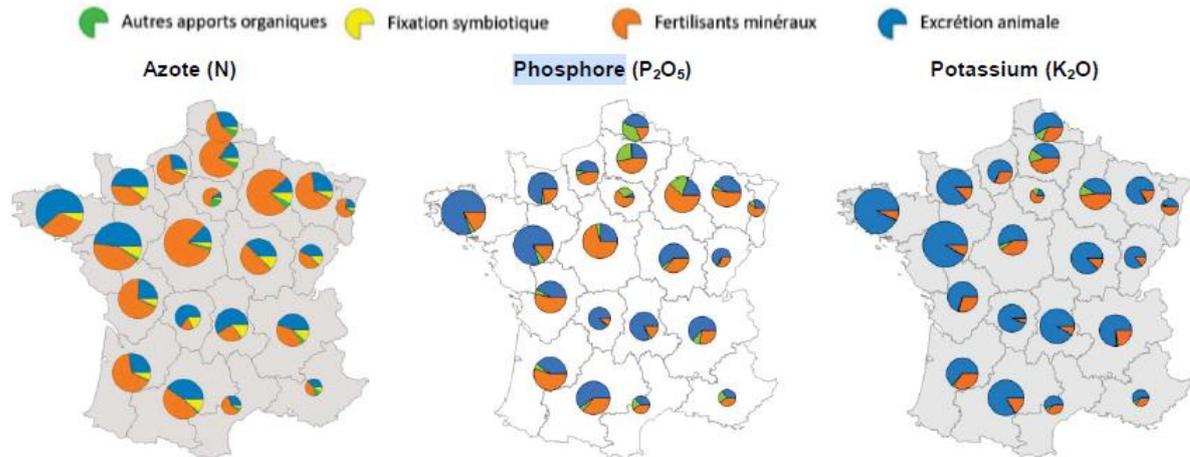


Figure 17 : bilan de la fertilisation MAFOR

La modélisation précise des gisements matière et azotés des MAFOR a été réalisée. Les données nationales des quantités d'apports en fertilisants issus des MAFOR et de leur part dans la fertilisation globale sont à considérer au regard d'une variabilité géographique forte. En particulier, les productions de MAFOR d'élevage et des industries agroalimentaires sont très localisées à l'ouest de la France. Par conséquent, les quantités d'apports en fertilisants MAFOR ainsi que les parts issus des MAFOR sont fortes dans ces régions. Ces données sont présentées dans la figure ci-dessous pour les éléments N, P, K.



Source : UNIFA. Pour le N : moyenne des trois campagnes 2008 à 2010. Pour le P et le K : moyenne des trois campagnes 2011 à 2013
La taille des camemberts est proportionnelle aux quantités de N, de P et de K apportées dans chaque région (voir rapport d'expertise)

Figure 18 : Répartition des apports en N, P et K en France selon leur origine

3.1.3 Etude des tendances passées et des dynamiques en œuvre

3.1.3.1 Observations des MAFOR commercialisés

Les données concernant la fertilisation MAFOR sont relativement limitées dans le temps et dans le type de MAFOR concernée.

L'observatoire national de la fertilisation minérale et organique publie les quantités de fertilisants commercialisés (voir figure ci-dessous). Cela ne concerne donc que les produits commercialisés et non les déchets. Les quantités de fertilisants commercialisés représentent entre 17 et 18 Mt¹⁸. Depuis 2010, les ventes de fertilisants minéraux diminuent tandis que celles de fertilisants organiques augmentent. La **part de fertilisation organique** est en également **augmentation constante** depuis 2011, et atteint **36%** de la fertilisation totale en France en 2017, chiffre qui se prolonge en 2018. La hausse des tonnages commercialisés de

fertilisants organiques est probablement en lien avec la mise en place du Grenelle II et l'obligation de tri et de valorisation des déchets alimentaires dans les établissements gros producteurs de biodéchets.

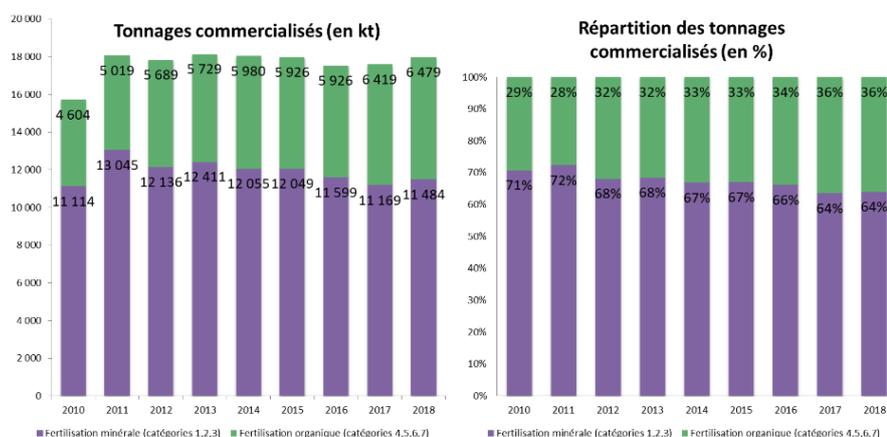
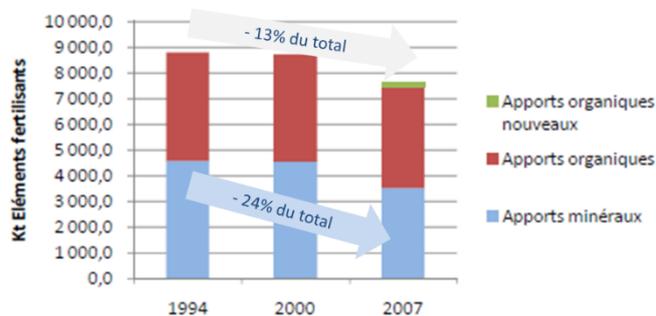


Figure 19: Evolution des de la commercialisation des fertilisants de 2010 à 2018 (en milliers de tonnes de produits) – Source : ANPEA

Des données plus anciennes montrent une diminution générale de la commercialisation des engrais entre 1994 et 2007 (voir graphique ci-dessous)¹⁹. Cette diminution est plus forte pour les engrais minéraux par rapport aux engrais organiques. Cette diminution semble principalement expliquée par la hausse exceptionnelle du prix des engrais à cette période, très dépendant des prix des marchés mondiaux. Même si la production française d'engrais représente une part significative (44%) du marché français, la France importe la quasi-totalité des matières premières. Cette situation confère à la France une grande vulnérabilité par rapport aux fluctuations des prix mondiaux.



¹⁸ ANPEA, 2018. Observatoire national de la fertilisation minérale et organique. Résultats 2018.

¹⁹ Etat, perspectives et enjeux du marché des engrais » (MAAP; 2010)

3.1.3.2 Observations des autres MAFOR

3.1.3.2.1 MAFOR issus des effluents d'élevage

La plus grosse part des MAFOR utilisée provient des effluents d'élevage en particulier bovins qui sont totalement valorisés agronomiquement. Ainsi, l'observation des estimations des quantités d'effluents d'élevage épandues au cours du temps apparaît relativement pertinente pour obtenir une vision sur la dynamique des quantités de MAFOR utilisées (voir graphique ci-dessous). Ces estimations sont réalisées en multipliant le cheptel par des coefficients d'excrétion kg(N)/animal et des taux de récupération (60% des effluents des bovins, ovins, caprins et équidés ; 95% pour les autres). Depuis 1980, les quantités d'effluents épandus sont en baisse, principalement en lien avec la diminution du cheptel bovin, et dans une très faible mesure du cheptel ovin. L'augmentation du cheptel de porcins et de volailles ne suffit pas pour compenser la baisse générale des quantités d'effluents produits et épandus.

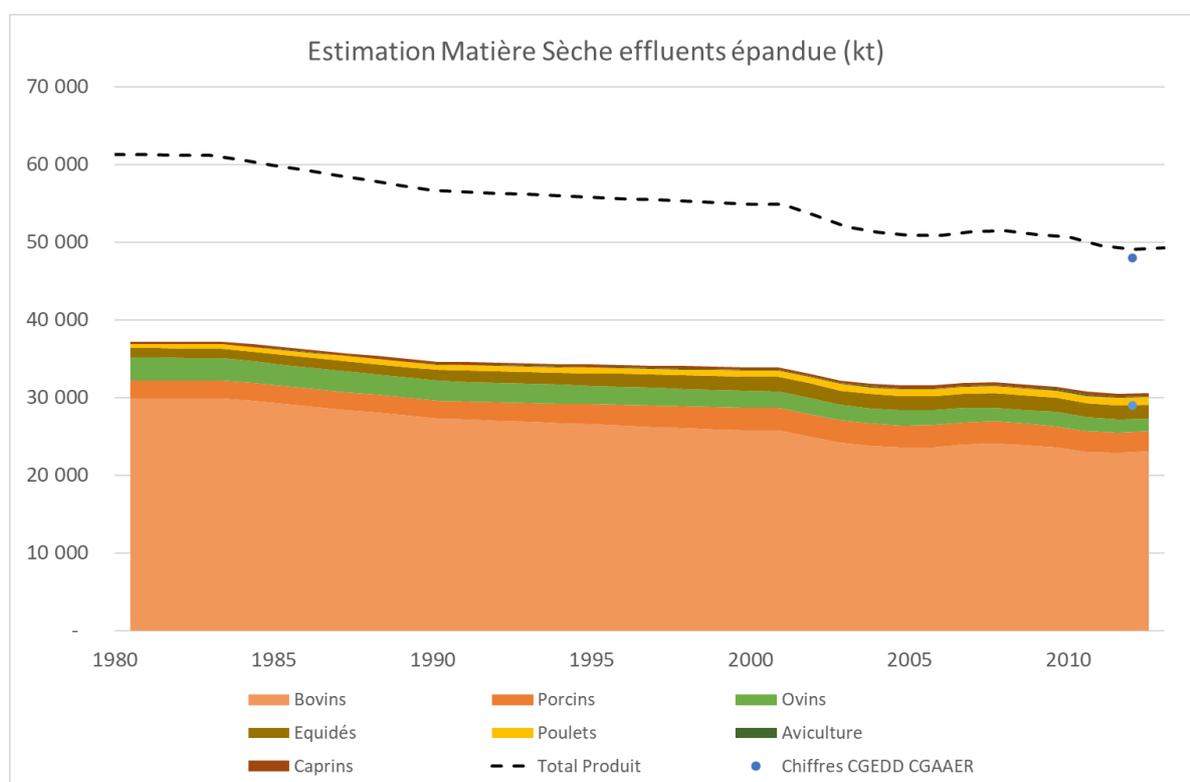


Figure 20 : Evolution des effluents d'élevage produits - Source : Agreste (nombre d'animaux), ANPEA (données effluents)

3.1.3.2.2 Autres MAFOR

Les dynamiques de production et d'utilisation des autres types de MAFOR et en particulier des biodéchets (urbains et industriels), des effluents et boues urbaines et industrielles, des cendres, sont directement traités dans les fiches variables clés en annexe.

3.1.4 Etude des stratégies d'acteurs

3.1.4.1 Filières MAFOR et chaîne d'acteurs

Pour l'étude des filières de MAFOR et des chaînes d'acteurs, les MAFOR agricoles et les MAFOR urbaines/industrielles ont été distinguées. Les différents acteurs et leur position dans la chaîne d'acteur ont été identifiés afin de mieux comprendre les relations entre eux. Ainsi ont été distingués les acteurs de : la production de déchets (ou matière première des MAFOR), de la collecte, de la transformation et de l'utilisation. Ces chaînes d'acteurs pour les deux grands types de MAFOR sont présentées ci-dessous.

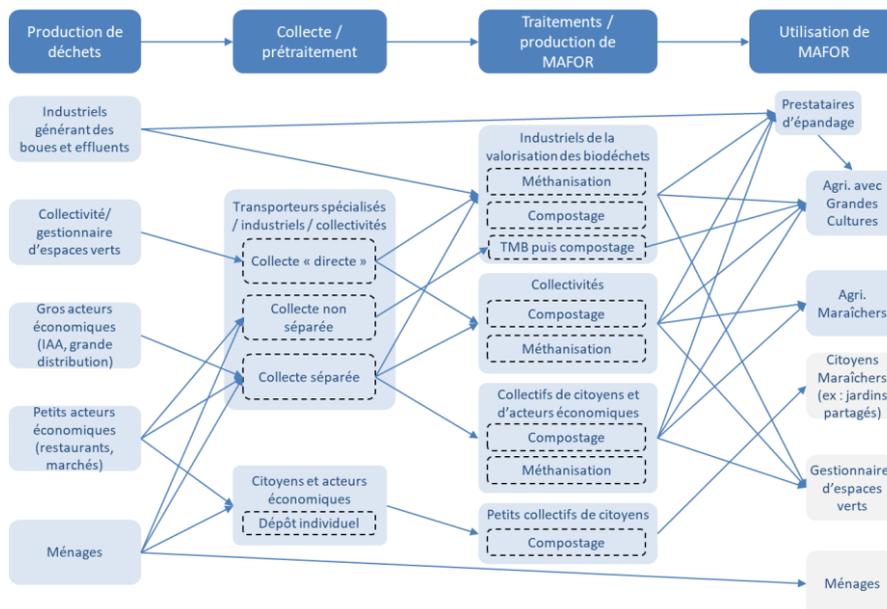


Figure 21 : Filière et chaîne d'acteur des MAFOR urbaines et industrielles

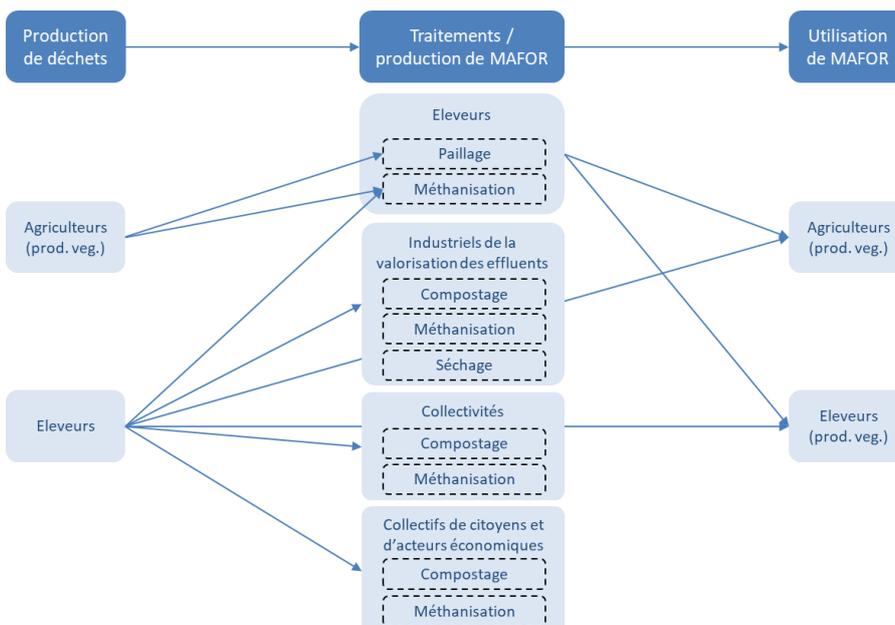


Figure 22 : Filière et chaîne d'acteurs des MAFOR agricoles

3.1.4.2 Freins et leviers à l'usage des MAFOR

Sur la base de l'identification de ces chaînes d'acteurs, des freins et des leviers à la production et l'usage de MAFOR ont été identifiés par I Care (entretien, littérature...). Ils sont présentés dans les figures ci-dessous. Ils serviront de base à l'élaboration de recommandations de politiques publiques. En effet, pour augmenter la fertilisation, ces freins devront être levés et ces leviers activés.

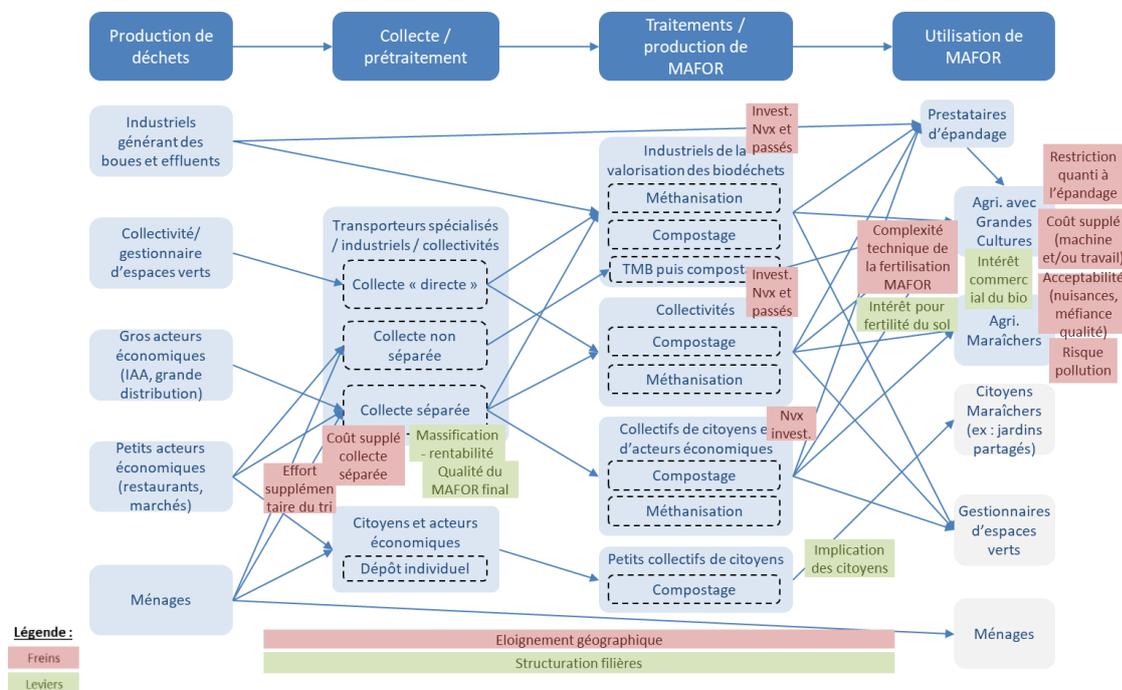


Figure 23 : Freins et leviers à la production et l'utilisation de MAFOR industrielles et urbaines

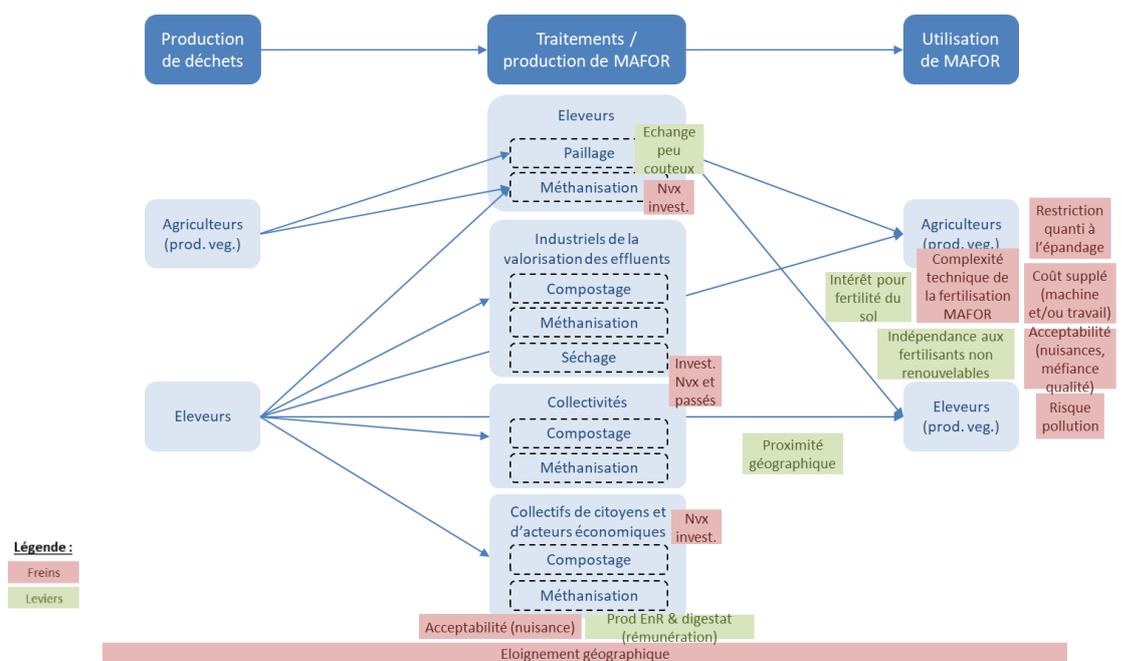


Figure 24 : Freins et leviers à la production et l'usage de MAFOR agricoles

3.2 Anticipation et fixation d'objectifs

3.2.1 Identification des variables clés et hiérarchisation

L'identification des variables a fait l'objet d'un exercice spécifique lors de la 1^{ère} réunion du groupe prospectif. Après présentation du système MAFOR considéré, les experts se sont employés à l'identification des variables du système puis à leur caractérisation. Parmi les éléments de caractérisation de ces variables figurent :

- Les facteurs qui influencent la variable ;
- Les facteurs influencés par la variable ;
- La sensibilité à la politique publique ;
- L'impact sur la fertilisation MAFOR.

Un travail de compilation, classement, sélection... a été nécessaire à l'issue de cette réunion : les résultats de cet exercice sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 17 : Caractérisation des variables du système MAFOR

Aspect du système concerné par les variables	Variable (sous-variables éventuelles)	Indicateurs	unité	Facteurs/variables qui influencent la variable	Facteurs/variables influencés par la variable	Sensibilité à la politique publique	Impact sur la fertilisation MAFOR	
Offre de MAFOR	Gisement	Taille et composition cheptel	<i>Nb de têtes et part relative des cheptels bovins, ovins, ...</i>	<i>Nb de têtes, UGB, %</i>	-Demande en produits animaux (consommation, prix) -Productivité du cheptel	-Type d'assolement		
		Modes d'élevage	% pâturages, % élevage en bâtiment	%	-Demandes sociétales, part de bio -Maladies émergentes -Climat	-Type d'assolement		
		Gaspillage alimentaire	Quantités de biodéchets	<i>Mt MB</i>				
		Production de cendres / chaufferies biomasse	Nb de chaufferies, puissance installée	<i>Nb, kW</i>	-Collecte déchets bois bâtiment -Réglementation cendres de chaufferie - développement nb chaufferie			<i>(Moyenne à fort sur P et K)</i>
		Importation MAFOR	Quantité importée	<i>Mt MS</i>	-Réglementation européenne et nationale ?	-Compétitivité de la filière française		
	Collecte, traitement	Traitement amont des MAFOR	Méthanisation	Quantité MAFOR méthanisée	<i>Mt MS</i>	-Nb méthaniseurs, coût, techniques, demande biogaz	-Transportabilité des MAFOR -keq produit	
			Compostage	Quantité de MAFOR compostée	<i>Mt MS</i>	-Nb composteurs collectivités, coûts, techniques	-Augmentation quantité MAFOR totale (pour produits non épandables à l'état brut)	
		Tri à la source des déchets alimentaires	Taux de collecte / tri	%	-Logistique tri et de collecte à la source OMR -Nb unités traitement amont	-Qualité biodéchets		
		Valorisation des déchets d'espaces verts	Quantité collectée et valorisée	<i>Mt MS</i>				
		Collecte en STEPs	Part de boues collectée	%	-Extraction P, abattement N -Maîtrise risques contamination			

						-Techniques (séchage, séparation de phases)		
	Pertes/Assimilations	Pertes par volatilisation et lixiviation	Volatilisation en bâtiment	Part de N volatilisé lors du stockage de MAFOR en bâtiment	%	-Inhibiteurs uréase / dénitrification -Conditions de stockage -Temps de stockage		
			Volatilisation au champ	Part de N volatilisé lors des épandages	%	-Caractéristiques pédo climatiques -Pratiques d'épandages		
			Lixiviation	Part de N lixivié lors des épandages	%	-Epandage (matériel, enfouissement) -Directive nitrates -Pratiques d'épandages		
	Pertes/Assimilations	Pratiques d'épandage	Surface adoptant les pratiques	Mha	-Investissements et innovation technologique -Matériel	-keq du produit -Réduction fertilisation minérale		
		Assimilation à court terme	Part de N apportée assimilée	keq	-Période d'épandage -Pratiques d'épandage			
		Arrière-effet		ktN	-Taux de MO, contexte pédoclimatique -Pratiques d'épandage			

Aspect du système concerné par les variables	Variable (sous-variables éventuelle)	Indicateurs	unité	Facteurs/variables qui influencent la variable	Facteurs/variables influencés par la variable	Sensibilité à la politique publique	Impact sur la fertilisation MAFOR
Transport	Transportabilité MAFOR	Prix du transport par unité de masse	€/tonne/km	-Prix du pétrole -Traitement amont des MAFOR	-Coût fertilisation		
	Distance puits/source		km	-Répartition assolement France	-Coût fertilisation		

Aspect du système concerné par les variables		Variable (sous-variable éventuelle)		Indicateurs	unité	Facteurs qui influencent la variable	Facteurs/variables qui sont influencés par la variable	Sensibilité à la politique publique	Impact sur la fertilisation MAFOR				
Demande en MAFOR	Agronomie	Assolement	-Surface de légumineuses	Surface	Mha	-Type d'élevage (rotation...) -Demande alimentaire -Prix du marché							
			-Surface de cultures intermédiaires										
		-autres cultures											
		Surfaces en AB	Surface							Mha			
		Rendements espérés	Rendements							qtx/ha	-Climat, pression ravageurs		
	Surfaces épandables	Surface	Mha	-Réglementation épandages									
	Retour au sol par résidus	Quantité ou part des résidus retournés au sol	Mt MS, %										
Economique	Coût total MAFOR vs engrais minéraux	Prix engrais minéraux		€	-Taxes engrais minéraux -Quotas carbone ETS -Volatilité prix énergie -Nouvelles technologies	-Rendements, teneurs en protéine ? -Recherche d'efficacité/de réduction des pertes							
		Coût transport et épandage		€	-Distance puits/sources, -Techniques d'épandages								

	Fort
	Moyen
	Faible
	Non abordé en groupe prospectif

Sur la base des deux derniers caractères (sensibilité à la politique publique, impact sur la fertilisation MAFOR), 6 variables considérées comme « clé » ont été choisies. Elles ont fait l'objet de fiches détaillées présentées en annexe. Les liens entre chaque variable et leurs facteurs d'influence ont été décrits, ainsi que des leviers activables par les politiques publiques.

Ces variables clés sont :

1. Assolement
2. Cheptel (taille et composition (% bovins, caprins...))
3. Chaufferies biomasse (en lien avec la production de cendres)
4. Valorisation des boues de STEP
5. Tri à la source des biodéchets (déchets alimentaires des particuliers, des IAA, des restaurants, déchets verts...)
6. Traitement amont des MAFOR (lien avec la variable transportabilité)

3.2.2 Définition de scénarios de variables clés (microscénarios)

Les différents échanges avec le groupe prospectif sur les évolutions possibles des variables clés, et en cohérence avec des macros scénarios, ont permis la définition de ces microscénarios avec un paramétrage précis pour chacune de ces variables.

Les macros scénarios (auxquels les microscénarios se rattachent) sont nommés (i) tendanciel, (ii) sobriété locale, (iii) transition ambitieuse.

Ces échanges se sont appuyés sur une caractérisation de chacune des variables formalisées par des fiches variables annexées au rapport. Elles contiennent notamment une étude des facteurs influençant la variable et l'étude des tendances passées.

3.2.2.1 Cheptel

Comme expliqué précédemment, les microscénarios des variables cheptel et assolement ont été construits à l'aide des scénarios AMS 2 et TYFA, respectivement issus des travaux réalisés par le Commissariat Général au Développement Durable²⁰ et l'ADEME²¹ et de l'IDDRI²².

Comme expliqué dans la fiche variable cheptel en Annexe 8, le cheptel français est influencé par :

- o Les paramètres de marché (offre et demande) en produits issus de l'élevage (viande et produits laitiers), en France et à l'international
- o Les évolutions du monde agricole, à savoir l'évolution du nombre d'exploitations et les modes d'élevage.

Le tableau ci-dessous résume les évolutions du cheptel à horizon 2025 et 2035, en fonction des hypothèses choisies pour chacun des scénarios.

Tableau 18: Présentation des microscénarios de la variable cheptel

Nom scénario	Référence	Tendanciel		Sobriété locale		Transition ambitieuse	
Source principale	RGA 2010	MAA ; 2019		Scénario TYFA (IDDRI ; 2019)		Scénario AMS2 (DGEC ; 2019)	
Horizon temporel	2010	2025	2035	2025	2035	2025	2035
Hypothèses commerce international		Pas de changements du commerce extérieur (très variable par le passé et sans tendance claire). Actuellement, solde export-import : +10 % porcs, +3% volailles, -18% ovins/caprins		Forte diminution de l'export de produits laitiers. Arrêt des imports européens de protéine. Solde export-import nul pour ovins, caprins, porc, volaille		Maintien du commerce extérieur.	
Hypothèses consommation intérieure		Baisse consommation de viande		Baisse consommation de viande (surtout porcine et volaille)		Baisse consommation de viande	
Autres hypothèse		Pas d'évolution majeure de l'agriculture : baisse nombre d'exploitation d'élevage Evolution tendancielle du cheptel		Retour massif à polyculture élevage		Pas d'évolution majeure de l'agriculture Répartition de la diminution du cheptel répartie entre les types de bétail.	
Unité	Milliers têtes (mères)	Différence relative à la situation de référence (2010)					
Bovins lait	3 730	-13%	-21%	-11%	-18%	-11%	-17%
Bovins viande	4 230	+0%	+0%	-3%	-4%	-7%	-15%
Ovins	5 835	-21%	-35%	-13%	-21%	-19%	-23%
Caprins	962	-1%	-2%			-18%	-22%
Porcins	8 503	-34%	-56%	-17%	-28%	-19%	-27%
Volailles	193 205	+0%	+0%	-24%	-40%	-30%	-31%

²⁰ Direction Générale de l'Énergie et du Climat. 2020. « Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat: Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ».

²¹ ADEME. 2017. « Actualisation du scénario Energie-Climat de l'ADEME 2035-2050 ».

²² Poux, Xavier, et Pierre-Marie Aubert. : « Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine », 78.

3.2.2.2 **Assolement**

Comme expliqué dans la fiche variable assolement (Annexe 8), l'assolement est influencé par plusieurs paramètres. En ce qui concerne la SAU globale à l'échelle française, il s'agit de :

- Le niveau de déprise, c'est-à-dire la progression de la forêt
- La progression de l'artificialisation

En ce qui concerne la répartition des cultures :

- La demande de l'élevage
- Le niveau de compétitivité des cultures
- Les conditions climatiques

La variable assolement est étroitement liée à celle du cheptel. En effet, la majeure partie des céréales, oleo-protéagineux et l'intégralité des prairies sont destinées à l'alimentation du bétail. Pour s'assurer de la cohérence interne des macro-scénarios sobriété locale et transition ambitieuse, les sources TYFA et AMS 2 ont été conservées. Le scénario tendanciel, quant à lui, prolonge les tendances passées (2000-2020).

En ce qui concerne la SAU globale, le scénario tendanciel a conservé l'hypothèse de la plus forte diminution de la SAU pour 2035, telle que présentée dans la fiche variable. Le scénario transition ambitieuse intègre des hypothèses de maintien de la SAU, notamment grâce à une maîtrise de l'artificialisation. Le scénario sobriété locale est basé sur le scénario TYFA de l'IDDRI, où l'assolement est modélisé à une échelle européenne. Les valeurs de la SAU ont donc été choisies comme égales à celles du scénario AMS 2.

Tableau 19: Présentation des microscénarios de la variable assolement

Nom scénario	Référence	Tendanciel		Sobriété locale		Transition ambitieuse	
Source principale	RGA 2010	MAAF ; 2019		Scénario TYFA (IDDRI ; 2019)		Scénario AMS2 (DGEC ; 2019)	
Horizon temporel	2010	2025	2035	2025	2035	2025	2035
Hypothèses concernant la SAU		Baisse de la SAU liée à déprise agricole et artificialisation		Arrêt diminution SAU, maintien surfaces prairies permanentes		Arrêt diminution SAU grâce à des politiques de maintien de l'artificialisation et limitation afforestation	
Hypothèses sur la compétitivité des cultures		Marché intérieur : diminution demande viande, augmentation demande produits AB. Pas de changements sur le commerce extérieur		Marché intérieur : changement régime alimentaire (-30% kcal consommées, plus de légumes), Reterritorialisation massive : passage généralisé à la polyculture-élevage, allongement des rotations Marché extérieur : maintien export céréales		Marché intérieur : changement régime alimentaire (moins viande et produits laitiers). 25% SAU totale et 15% des grandes cultures en AB, plafonnement baisse des prairies permanentes (-2,5%), fort développement haies et agroforesterie Pas de changement commerce extérieur	
Hypothèses sur l'évolution des conditions climatiques		Rendements constants (tendance 2000-2018)		Baisse des rendements (-10 à -50%) liée à généralisation pratiques agro-écologiques		Baisse des rendements à cause du réchauffement climatique	
Unité	kha (%SAU)	Différence relative à la situation de référence (2010)					
Céréales hors maïs f.	9 231 (32%)	+0,1%	+0,1%	-1,6%	-2,9%	+0,2%	+1,6%
Maïs fourrage	1 406 (5%)	+0,2%	+0,3%	-0,2%	-2,9%	+0,1%	-0,4%
Oléagineux	2 233 (8%)	+1,1%	+1,9%	-	-	+1,1%	+1,3%
Protéagineux	447 (2%)	-1,1%	-1,5%	+3,2%	+5,3%	+0,5%	+1,1%
Prairies temporaires	3 438 (12%)	-0,5%	-0,5%	-2,5%	-4,2%	-4,6%	-6,7%
Prairies permanentes	9 463 (33%)	-0,6%	-1,4%	+0,3%	+0,3%	-0,5%	-0,7%
Vergers, maraichage	512 (2%)	-0,1%	-0,1%	+1,5%	+2,7%	+2,4%	+2,3%
Betteraves, P d.T.	816 (3%)	+0,5%	+0,9%	-0,4%	-0,6%	-1,3%	-1,3%
Vignes	796 (3%)	-	-	-0,3%	-0,5%	-2%	-2%
Autres	584 (2%)	+0,3%	+0,3%	+0,7%	+2,7%	-2%	-2%
TOTAL	28 926	28 247	27 680	28 500	28 100	28 500	28 100

3.2.2.3 Chaufferies biomasse (en lien avec la production de cendres)

Cette variable concerne l'ensemble des cendres produites par les chaufferies biomasse, c'est-à-dire les installations de production d'énergie alimentées par de la biomasse (matières issues des animaux et végétaux). Ces scénarios excluent le bois de feu domestique, non valorisé et difficilement valorisable, qui représente actuellement 7,4 Mtep.

Comme expliqué dans la fiche variable en annexe 8, la quantité de cendres épandues dépend de deux facteurs :

- La quantité de cendres produites, en lien avec l'évolution de la filière bois-énergie
- La quantité de cendres épandues parmi les cendres produites

Actuellement, la totalité des cendres produites respectent la réglementation et seraient susceptibles d'être épandues. Les différents scénarios prospectifs intègrent les évolutions à venir liées à la mise en place d'un socle commun d'innocuité et d'efficacité agronomique pour les MAFOR, prévu dans l'ordonnance n° 2020-920 du 29 juillet 2020 relative à la prévention et à la gestion des déchets, et le volet agricole de la Feuille de Route Economie Circulaire (FREC). Pour tenir compte des recommandations de l'Anses²³, cette réglementation pourrait durcir le seuil en cadmium. La comparaison de ce seuil avec des données d'analyses des cendres²⁴ de chaufferies biomasse nous permettent de prévoir que 75% des cendres produites respecteront la réglementation.

Tableau 20: Présentation des microscénarios de la variable chaufferies biomasse

Nom scénario	Référence	Tendanciel		Sobriété locale		Transition ambitieuse	
Source principale	ADEME 2016	ADEME 2016		ADEME 2016		SNBC Plumail et al. 2018	
Horizon temporel	2012	2025	2035	2025	2035	2025	2035
Hypothèses sur le gisement	2,6-2,8 Mtep/an de « bois énergie » soit 6 Mt/an biomasse	+ 0,9 Mtep BIBE sylviculture constante (ADEME 2016)		+2,4 Mtep de BIBE développement d'une sylviculture dynamique		+5,1 Mtep de BIBE Scénario SNBC	
	70%	Taux de valorisation constant : 70%		Valorisation par épandage maximale (75%) par rapport à la réglementation ETM			
Unité	t MS cendres / % épandues						
Cendres produites	200 000	232 217	257 000	296 087	370 000	386 522	530 000
Cendres produite	140 000	162 552	179 900	216 144	277 500	282 161	397 500
Taux de valorisation	70%	70%	70%	73%	75%	73%	75%

NB : les cendres contiennent peu d'azote, ainsi les microscénarios ont peu d'influence sur la part de fertilisation azotée issue des MAFOR, mais plus sur le volet phosphore ou le volet chaulage.

²³ Saisine 205-SA-0140 exposition au cadmium : Propositions de niveaux en cadmium dans les matières fertilisantes et supports de culture permettant de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales

²⁴ Plumail, Dominique, Dominique Boulday, et Jean-Jacques Ribot. 2018. « Le retour au sol des cendres de biomasse, un accord gagnant-gagnant ». *Bioenergie internationale*, n° 58 (décembre): 8-20.

3.2.2.4 Valorisation des boues de STEP

Cette variable concerne les boues issues des filières d'assainissement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel, provenant des stations d'épuration urbaines et industrielles. La fiche variable (annexe 8) montre qu'il existe peu de marges de manœuvres quant au taux d'épandage des boues de STEP, du fait des teneurs limites en polluants organiques et éléments traces métalliques imposés par la réglementation. En revanche, des hypothèses sont faites sur les volumes de boues produites par les STEP urbaines et industrielles, dont on suppose qu'elles augmentent de façon linéaire avec l'augmentation démographique.

Tableau 21: Présentation des microscénarios de la variable boues de STEP

Nom scénario		Référence	Tendanciel		Sobriété locale		Transition ambitieuse	
Source principale		INRA 2014						
Horizon temporel		2008 (IAA et industries hors IAA) et 2011 (STEP)	2025	2035	2025	2035	2025	2035
Hypothèse principale		Les gisements de boues sont proportionnels aux nombres d'habitants. Les parts de valorisation des boues industriels sont constantes.						
			Les parts de valorisation des boues urbaines sont constantes	Les parts de valorisation des boues urbaines diminuent légèrement (par durcissement réglementaire par exemple)	Les parts de valorisation après traitement des boues urbaines augmentent légèrement (par investissement dans des moyens de traitements des boues)			
Nombre d'habitants (Millions)		2008 : 69,96 2011 : 64,93	69,093	70,281	69,093	70,281	69,093	70,281
Unité		Mt MS/an et %						
STEP	Gisement total	1,06	1,13	1,15	1,13	1,15	1,13	1,15
	Part épandue directement	42%	42%	42%	40%	40%	42%	42%
	Part épandue après traitement	31%	31%	31%	30%	30%	33%	33%
	Part incinérée ou enfouie	27%	27%	27%	30%	30%	25%	25%
Boues et effluents hors IAA	Gisement total	2,20	2,38	2,42	2,38	2,42	2,38	2,42
	Part épandue directement	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
	Part épandue après traitement	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
	Part envoyée en STEU	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
	Part incinérée ou enfouie	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
Boues et effluents IAA	Gisement total	2,70	2,92	2,97	2,92	2,97	2,92	2,97
	Part épandue directement	46%	46%	46%	46%	46%	46%	46%
	Part épandue après traitement	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
	Part envoyée en STEU	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
	Part incinérée ou enfouie	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

3.2.2.5 Tri à la source des biodéchets (déchets alimentaires des particuliers, des IAA, des restaurants, déchets verts...)

Les biodéchets concernent l'ensemble des déchets alimentaires et de cuisine et des déchets verts, issus des jardins et des parcs (feuilles mortes, tontes de gazon, tailles de haies, d'arbustes, d'arbres...). Ils sont produits par les ménages, les collectivités et les entreprises.

Le tri à la source concerne l'ensemble des dispositifs permettant de collecter les biodéchets et de les traiter séparément des autres déchets, afin de mieux les valoriser qu'une collecte mélangée. Cette variable traite à la fois du tri à la source de ces déchets (en point d'apports volontaires et en collecte en porte à porte) et de leur gestion à proximité du lieu d'émission, comme le compostage domestique.

De nombreuses données sont disponibles sur les gisements des déchets ménagers et assimilés. En revanche, c'est moins le cas pour ce qui concerne les biodéchets issus des collectivités (cantines, entretiens des espaces verts...) et des entreprises (entreprises agro-alimentaires, restaurants...). Ici, il a donc été choisi de traiter ensemble les traiter ensemble, en faisant une distinction entre les gros producteurs (plus de 10 t de biodéchets produits par an) et les autres. En effet, les gros producteurs ont l'obligation de trier à la source et de valoriser leurs biodéchets par voie organique. En dessous de ce seuil, il a été considéré que les biodéchets étaient résiduels : gérés à proximités, incinérés ou enfouis. Ils sont considérés comme un gisement à part des DMA²⁵.

L'ensemble des scénarios intègrent une hypothèse d'augmentation des gisements des biodéchets et des entreprises, de façon proportionnelle avec l'augmentation démographique²⁶. Pour permettre de réaliser des hypothèses sur les traitements amont, et notamment sur l'évolution du compostage, les gisements collectés ont été séparés selon les catégories des déchets verts et des déchets alimentaires.

Tout d'abord, des hypothèses sont faites quant à l'augmentation de la gestion de proximité, à la fois de la part des particuliers et des entreprises. C'est le cas dans l'ensemble des scénarios, conformément aux mesures de soutien à la gestion de proximité mises en place par l'ADEME²⁷, avec une gestion de proximité plus forte dans le scénario sobriété locale. Les hypothèses sont les suivantes :

- +1 Mt en 2035 par rapport au niveau actuel de gestion de proximité pour les particuliers et + 1 Mt pour les entreprises, dans les scénarios tendanciel et transition ambitieuse
- + 2 Mt gérés à la source par les particuliers, + 2 Mt par les entreprises en 2035 pour le scénario sobriété locale
- La moitié de ces gisements sont gérés à la source dès 2025 dans tous les scénarios.

La fiche variable en annexe 8 montre que le tri à la source est directement lié à la volonté des collectivités de le mettre en place le tri à la source et aux politiques publiques de soutien à la réduction du gaspillage alimentaire. Ces deux facteurs sont ceux qui distinguent ces trois scénarios, sur lesquels plusieurs hypothèses ont été faites.

²⁵ Houot, Sabine, Marie-Noëlle Pons, et Marilyns Pradel. 2014. Esco Mafor, Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier

²⁶ Blanpain N. et Buisson G., 2016, Projections de populations 2013-2070 pour la France : principaux résultats, INSEE

²⁷ ADEME. 2015. « Fiche technique: Prévention / Gestion de proximité des biodéchets ».

En ce qui concerne le tri à la source des biodéchets ménagers et assimilés, elles sont les suivantes :

- Les scénarios sobriété locale et transition ambitieuse proposent une généralisation par toutes les collectivités de la mise en place d'un tri à la source. A l'heure actuelle, deux types de tris à la source coexistent : un tri des déchets alimentaires seuls, et un tri des déchets verts et des déchets alimentaires. Dans ces scénarios, un choix a été fait de considérer que la mise en place à venir du tri à la source ne concernera que les déchets alimentaires, ce qui permettra de trier 46 kg de déchets alimentaires par habitant par an. Ce choix résulte du constat que la qualité du tri était meilleure dans ce cas de figure²⁸.
- Dans le scénario tendanciel, une augmentation de 5% des déchets alimentaires collectés par an a été proposée, sur la base des tendances observées entre 2005 et 2015 (ESCO Mafor).
- En ce qui concerne les déchets verts, il a été supposé dans l'ensemble des scénarios que l'intégralité était collectée à partir de 2035, et la moitié à partir de 2025. Les gisements sont calculés à partir de données de l'ADEME de 2007 qui montrent qu'ils représentent 25% des ordures ménagères résiduelles (OMR) restantes²⁹.
- La quantité de déchets restante dans les OMR est alors calculée par différence.

En ce qui concerne le tri à la source des biodéchets des entreprises, les hypothèses suivantes ont été réalisées :

- Avant 2012, les gisements des gros producteurs de biodéchets représentaient 3,2 Mt, dont la majorité en déchets verts. Une première hypothèse les a assimilés à 100% de déchets verts, et a supposé que l'intégralité était triée à la source.
- Depuis la loi Grenelle 2 de 2012, l'abaissement du seuil de définition des gros producteurs (à 120 t de biodéchets produits par an) a élargi l'obligation du tri à la source pour 1,5 Mt de biodéchets. L'hypothèse a été faite que l'ensemble de ce tonnage concerne des déchets alimentaires, et que le tri à la source obligatoire est effectif.
- Les entreprises réalisent aujourd'hui une gestion de proximité sur 0,5 Mt de biodéchets : à 50% des déchets verts et à 50% des déchets alimentaires, comptabilisés dans la catégorie « trié à la source » de l'Esco Mafor.
- Parmi les 2,2 Mt de biodéchets des entreprises restant, l'hypothèse a été faite que 50% sont des déchets verts, et 50% sont des déchets alimentaires.
- Ce gisement n'était pas soumis aux obligations de tri à la source en 2012. Toutefois, une part de plus en plus importante y a été soumis depuis, avec un seuil de définition des gros producteurs qui s'est abaissé progressivement, au cours de réglementations successives (80 t/an en 2013, 40 t/an en 2014, 20 t/an en 2015, 10 t/an en 2016). Or, cette réglementation va de nouveau évoluer avec la loi de lutte contre le gaspillage alimentaire et l'économie circulaire, qui fera passer le seuil de définition des gros producteurs de 10 Mt à 5 Mt de biodéchets par an à partir de 2023.
- Les données concernant les gisements des biodéchets des entreprises datent de 2013. Ne disposant pas de données sur la part des 2,2 Mt triés à la source suite à la nouvelle réglementation de 2016, le choix a été fait de conserver les données relatives à cette date. Nous supposons que 75% des déchets seront soumis à l'obligation du tri à la source à partir de 2023.

²⁸ Kergaravat, Olga, Alexandra Gentric, Raphaël Guastavi, Christèle Riviere, Olivier Leviel, Dominique Burgess, Thomas Kergaravat, Olga, Alexandra Gentric, Raphaël Guastavi, Christèle Riviere, Olivier Leviel, Dominique Burgess, Thomas Colin, Sylvie Pivoteau, Philippine Dubois, et Nathalie Hery. s. d. « Comité de pilotage de l'étude », 117

²⁹ ADEME, 2007. « La composition des ordures ménagères et assimilées en France ».

Enfin, différentes hypothèses ont été choisies en ce qui concerne le gaspillage alimentaire des particuliers et des entreprises.

- L'évaluation des gisements gaspillés des particuliers et des entreprises s'est fait grâce au croisement de données des tonnages de gaspillage alimentaire par habitant, et de la répartition de l'origine de ces déchets³⁰. Les biodéchets gaspillés par les ménages représentent 29 kg par habitant par an, et l'étape de consommation pèse pour 33% des biodéchets gaspillés. Ainsi, le calcul indique que le gaspillage alimentaire lié aux activités économiques représente 58 kg par habitant par an.
- L'hypothèse est faite que les quantités de biodéchets liées au gaspillage alimentaire évoluent elles-aussi proportionnellement à l'augmentation démographique.
- Le scénario de transition ambitieuse propose une réduction du gaspillage alimentaire de 50%, conformément aux objectifs de la SNBC. Le scénario de sobriété locale est encore plus ambitieux, puisque cette diminution atteint 60%. Cette réduction a été appliquée à la fois au gaspillage alimentaire des particuliers et des entreprises.

³⁰ « Gaspillage alimentaire ». s. d. Ministère de la Transition écologique et solidaire. Consulté le 6 juillet 2020. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/gaspillage-alimentaire-0>.

Le tableau ci-dessous résume ces différentes hypothèses et donne les résultats suivants :

Tableau 22: Présentation des microscénarios de la variable tri à la source des biodéchets

Nom scénario		<i>Référence</i>		<i>Tendanciel</i>		<i>Sobriété locale</i>		<i>Transition ambitieuse</i>	
Source principale		ESCO MAFOR							
Horizon temporel				2035		2035		2035	
Hypothèse principale		Gisement de DMA proportionnelle à la population							
				<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation tendancielle du tri à la source • Augmentation modérée de la gestion de proximité 		<ul style="list-style-type: none"> • Généralisation accès tri à la source biodéchets alimentaires • Réduction gaspillage alimentaire 60% • Augmentation forte de la gestion de proximité : + 2 Mt pour les particuliers et entreprises 		<ul style="list-style-type: none"> • Généralisation accès tri à la source biodéchets alimentaires • Réduction gaspillage alimentaire 50% • Augmentation modérée de la gestion de proximité (particuliers et entreprises) 	
Unité		Mt							
Type de biod modér		Tous biodéchets		Tous biodéchets		Tous biodéchets		Tous biodéchets	
		Déchets alimentaires	Déchets verts	Déchets alimentaires	Déchets verts	Déchets alimentaires	Déchets verts	Déchets alimentaires	Déchets verts
DMA	Gisement total	17,95		19,24		18,02		18,22	
	Gestion de proximité	5,1		6,1		7,1		6,1	
	Collecte séparée	1,07	4,82	2,37	6,56	4,16	6,56	4,16	6,56
	Résiduels OMR	6,96		4,21		0,2		1,4	
Gros producteurs	Gisement total	6,9		7,4		4,95		5,36	
	Gestion de proximité	0,5		1		2		1	
	Tri à la source	1,25	2,95	1,95	3,65	0,23	1,93	0,93	2,63
	Résiduel	1,1	1,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
GISEMENT TOTAL		24,85		26,64		22,97		23,58	
% Valorisation agronomique		63%		81%		96%		91%	

A noter : le pourcentage de valorisation agronomique présenté ici comprend la gestion de proximité, qui est toutefois exclue du calcul de fertilisation MAFOR.

1.1.1.1 Traitement amont des MAFOR (lien avec la variable transportabilité)

La variable traitement amont des MAFOR traite du compostage et de la méthanisation. Ces deux transformations modifient les caractéristiques chimiques des MAFOR, ce qui a deux conséquences :

- Un effet direct sur la capacité des plantes à absorber ces MAFOR, ce qui se traduit par une modification des Keq
- Un effet indirect d'une meilleure transportabilité, due à une augmentation du taux de matière sèche et une stabilisation de la composition chimique des MAFOR

A partir du diagnostic de la situation actuelle, détaillée dans la partie 3 du rapport, les scénarios sont construits de la manière suivante :

- Les gisements calculés aux étapes précédentes (intégrant les hypothèses d'augmentation démographique, de réduction du cheptel, de réduction du gaspillage alimentaire...) sont introduits comme base de la prospective sur les traitements amont
- Par construction des scénarios précédents, les pourcentages compostés et méthanisés des boues restent identiques dans les trois scénarios. Il en va de même pour les biodéchets collectés par TMB.
- Des hypothèses sont ensuite réalisées sur le compostage et la méthanisation des effluents d'élevage, des déchets alimentaires et déchets verts triés à la source.

En ce qui concerne le **scénario tendanciel**, ces hypothèses sont les suivantes :

- o Les % compostés restent constants pour l'ensemble des gisements
- o La part méthanisée des effluents d'élevage et des déchets alimentaires augmente : elle atteint 5% en 2025 et 10% en 2035 (hypothèse I Care & Consult).

En ce qui concerne le scénario de **sobriété locale**, les hypothèses sont les suivantes :

- o Les tonnages méthanisés restent constants pour l'ensemble des gisements
- o L'ensemble des déchets alimentaires et déchets verts qui ne sont pas méthanisés sont compostés à partir de 2035
- o La part des effluents d'élevage compostée (%) reste constante

En ce qui concerne le scénario de **transition ambitieuse**, les hypothèses sont les suivantes :

- o L'ensemble des boues et déchets méthanisés en 2035 représentent 3 Mt (hors effluents d'élevage), ce qui est une hypothèse de la SNBC. Comme les pourcentages de boues méthanisés sont considérés comme constants, la variable d'ajustement choisie est l'ensemble des déchets alimentaires.
- o Le reste des déchets alimentaires est composté.
- o Les tonnages de déchets verts compostés n'évolue pas.
- o En 2035, 30% des effluents d'élevage sont méthanisés, ce qui est également une hypothèse de la SNBC. La part des effluents compostés n'évolue pas.

Enfin, l'hypothèse a été faite que les pourcentages de refus en sortie de plateformes de compostage et de méthanisation sont constants, ainsi que le pourcentage de digestats de méthanisation qui sont compostés.

Tableau 23: Présentation des microscénarios de la variable traitement amont des biodéchets

Nom scénario	<i>Référence</i>			<i>Tendancier</i>			<i>Sobriété locale</i>			<i>Transition ambitieuse</i>			
Source principale	ESCO Mafor, ITOM 2014			Tendance à l'augmentation des plateformes de compostage et méthanisation Hypothèses I care			Scénario TYFA, IDDRI Hypothèses I care			Scénario AMS 2, SNBC Hypothèses I care			
Horizon temporel	2008 - 2010 - 2014			2035			2035			2035			
Hypothèses principales				% gisements compostés constants 10% effluents et déchets alim méthanisés en 2035			Pas d'évolution de la méthanisation Fort développement compostage : Ensemble déchets verts et déchets alim non métha sont compostés			Fort développement méthanisation, En 2035 : 2 Mt déchets alimentaires méthanisés, 30% des effluents d'élevage Faible développement du compostage			
Unité	MB		Mt (%)		MB		Mt (%)		MB		Mt (%)		
Type traitement amont	Gisemt	Comp	Métha	Gisemt	Comp	Métha	Gisemt	Comp	Métha	Gisemt	Comp	Métha	
Effluents d'élevage	123	13 (10%)	1 (0,8%)	118	12,2 (10%)	11,8 (10%)	76	7,9 (10%)	1 (1%)	86	8,8 (10%)	25,7 (30%)	
DMA	TMB	0,9	0,5 (54%)	0,4 (46%)	0,93	0,5 (54%)	0,4 (46%)	0,93	0,5 (54%)	0,4 (46%)	0,93	0,5 (54%)	0,4 (46%)
DMA	D. Verts	4,8	4,7 (60%)	0,5 (7%)	6,6	6,2 (60%)	0,5 (5%)	6,6	8 (94%)	0,5 (6%)	6,6	4,7 (51%)	0,5 (6%)
Gros Prod	D. Verts	3			3,7			3,7			2,6		
DMA	Alim	0,1	0,2 (14%)	0,13 (9%)	1,4	0,5 (14%)	0,3 (10%)	3,2	3,3 (96%)	0,1 (4%)	3,2	2,2 (52%)	2 (48%)
Gros Prod	Alim	1,3			2			0,2			0,9		
Boues STEP	4,2	1,3 (31%)	0 (0%)	4,6	1,4 (31%)	0 (0%)	4,6	1,4 (30%)	0 (0%)	4,6	1,4 (31%)	0,1 (2%)	
Boues hors IAA	8,8	0,3 (4%)	0,01 (0,1%)	9,7	0,4 (4%)	0,01 (0,1%)	9,7	0,4 (4%)	0,01 (0,1%)	9,7	0,4 (4%)	0,01 (0,1%)	
Boues IAA	10,8	0,2 (2%)	0,2 (2%)	11,9	0,2 (2%)	0,2 (2%)	11,9	0,2 (2%)	0,2 (2%)	11,9	0,2 (2%)	0,2 (2%)	

3.2.3. Définition de scénarios d'usage des MAFOR

Les scénarios sont présentés dans le tableau ci-dessous et caractérisés par :

- Leur histoire générale et détaillée
- Leur niveau de besoin en fertilisants, de production de MAFOR, et de part de fertilisation MAFOR, ainsi que l'adéquation offre demande en MAFOR

Tableau 24: Présentation des macro-scénarios de fertilisation MAFOR

	« Tendancier »	« Sobriété locale »	« Transition ambitieuse »
Histoire	Les politiques agricoles et déchets mises en œuvre récemment ne permettent pas l'inflexion des tendances actuelles	Citoyens et politiques misent sur la sobriété des modes de consommations, et le caractère local des produits consommés. La relocalisation des productions suit	Des politiques opérationnalisent les stratégies ambitieuses déjà validées (SNBC)
Source principale	Données des tendances passées	Scénario TYFA de l'IDDRI et de l'ASCA	Scénarios AMS2 de la SNBC
Précision	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution assez importante des productions animales, sauf pour le cheptel bovin viande. • Développement tendancier des gisements de MAFOR. • Taux de collecte constants sauf pour les biodéchets où les taux de collecte progressent légèrement. • Les volumes traités par compostage augmentent légèrement, et ceux traités par méthanisation augmentent fortement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution limitée du cheptel bovin viande, moins forte que le tendancier des ovins et porcins. Diminution des caprins et volailles plus fortes que le tendancier. • Transformation des modes productions vers des élevages plus extensifs et reterritoriaisés. • Les productions fourragères légumineuses augmentent vers plus d'autonomie en matière d'alimentation animale. • Concernant les biodéchets, l'accent est mis sur la réduction du gaspillage et la gestion des de proximité. • La totalité des déchets verts collectés sont affectés au compostage, ce qui permet de valoriser d'avantage de biodéchets. En revanche, la méthanisation se développe peu. • Concernant les boues d'épuration, une augmentation de l'exigence en matière de qualité des boues diminue le taux de valorisation du gisement. • La filière forestière suit un scénario de sylviculture dynamique, augmentant l'usage du bois énergie et le gisement valorisable de cendres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution assez importante des productions animales, répartie entre les différents types de productions. • Augmentation des productions grandes cultures céréalières et oléagineuses mais en haute valeur environnementale et agriculture biologique. Augmentation légère des protéagineux et diminution conséquentes des surfaces de prairies. Augmentation des vergers et surfaces maraichères au détriment des cultures industrielles. • La totalité des déchets verts collectés sont affectés au compostage, ce qui permet de valoriser d'avantage de biodéchets, et de conserver un taux de valorisation des boues malgré des gisements en augmentation. Des efforts importants sur le développement de la méthanisation permettent de valoriser le surplus de biodéchets et d'augmenter la méthanisation à la ferme. • La filière forestière suit le scénario très ambitieux AMS2 augmentant fortement l'usage du bois énergie et le gisement valorisable de cendres.

Dans les trois scénarios, les quantités de MAFOR industrielles et urbaines augmentent, de part plusieurs facteurs :

- Une augmentation du tri à la source dans l'ensemble des scénarios
- Une augmentation des cendres produites et/ou collectées dans l'ensemble des scénarios
- Une augmentation des traitements amont des MAFOR (et donc des Keq) dans l'ensemble des scénarios.

En ce qui concerne les MAFOR agricoles, la situation est plus contrastée. Les données du modèle montrent que la prospective sur le cheptel bovin a un impact majeur sur cette fertilisation. Le scénario de sobriété locale donne les meilleurs résultats, suivis du scénario de transition ambitieuse et enfin du scénario tendanciel.

En ce qui concerne la demande en MAFOR, elle diminue par rapport à 2010 dans l'ensemble des scénarios. La demande la plus faible est celle du scénario de sobriété locale qui implique un fort développement des légumineuses. Le scénario tendanciel présente une demande en azote plus faible que le scénario transition ambitieuse car il implique une diminution plus rapide de la SAU. A noter toutefois que les besoins en azote des cultures a certainement été sous-estimé dans les scénarios sobriété locale et transition ambitieuse, car la part des cultures en agriculture biologique n'a pas été prise en compte.

Finalement, la part de fertilisation MAFOR est plus importante dans le scénario de sobriété locale que dans celui de transition ambitieuse que dans le tendancier, comme le résume le tableau ci-dessous :

Tableau 25: Bilan de la fertilisation MAFOR

Nom des scénarios	« Tendancier »	« Sobriété locale »	« Transition ambitieuse »
Demande totale en fertilisant	Légère ↘ -2,7% en 2025, -4,7% en 2035	↘ -2,9% en 2025, -6% en 2035	Légère ↘ -2,6% en 2025, -4% en 2035
	↗ des surfaces de grandes cultures (céréales, maïs fourrages, oléagineux) et ↘ des protéagineux et prairies Forte ↘ de la SAU	↘ des surfaces de grandes cultures (céréales, maïs fourrages, oléagineux) et prairies temporaires. ↗ des protéagineux et maintien des prairies permanentes. Faible ↘ de la SAU	↗ des surfaces de grandes cultures (céréales, maïs fourrages, oléagineux) sauf ↘ des pommes de terre et betteraves. ↗ des protéagineux mais ↘ des prairies temporaires. Faible ↘ de la SAU
Production en fertilisant renouvelable	Forte ↘ -7,2% en 2025, -12,4% en 2035	Faible ↘ -2,9% en 2025, -6% en 2035	↘ -4,5% en 2025, -6,8% en 2035
	Augmentation des MAFOR urbaines qui ne compense pas la baisse du cheptel et donc des MAFOR agricoles	Augmentation des MAFOR urbaines qui ne compense pas la baisse du cheptel MAFOR agricoles produites sont les plus importantes des trois scénarios MAFOR industrielles et urbaines sont plus importantes que le tendancier mais moindres que le scénario transition ambitieuse	Augmentation des MAFOR urbaines qui ne compense pas la baisse du cheptel MAFOR agricoles proches du tendancier, mais forte production de MAFOR industrielles et urbaines Malgré le développement de la méthanisation à la ferme, les MAFOR agricoles restent plus faibles que le scénario sobriété locale
Part de fertilisation MAFOR Ref 2015 : 19,87%	Forte ↘ Jusqu'à 18,2% en 2025 et 17% en 2035	Légère ↘ Jusqu'à 19% en 2025 et 18,2% en 2035	↘ Jusqu'à 18,5% en 2025 et 17,6% en 2035
	La diminution du cheptel, très importante, n'est pas compensée par la diminution des besoins des cultures.	Malgré un développement moindre des MAFOR industrielles et urbaines que dans le scénario transition ambitieuse, le maintien du cheptel bovin et la diminution des besoins en azote des cultures en font le scénario avec la plus grande part de fertilisation MAFOR.	Parmi les trois scénarios, le niveau de production de MAFOR est intermédiaire, tout comme la demande en MAFOR. La part de fertilisation diminue globalement et est intermédiaire par rapport aux deux autres scénarios.
Adéquation offre/demande	Offre < demande Eloignement géographique offre et demande	Offre << demande Rapprochement géographique offre et demande et ↗ probable mais non comptabilisée de l'efficacité d'usage	Offre < demande ↗ des traitements des MAFOR améliore la transportabilité des MAFOR et ↗ probable mais non comptabilisée de l'efficacité d'usage

3.2.4. Discussion des résultats des trois scénarios prospectifs

3.2.4.1. La question de la prise en compte de la distance entre puits et sources de MAFOR et de leur transportabilité

Un autre élément à prendre en compte est le paramètre de l'adéquation géographique entre l'offre et la demande, qui peut avoir une influence sur l'efficacité de la fertilisation. Une meilleure adéquation se traduirait par des apports en nutriments plus ciblés sur les cultures et les sols qui en ont le plus besoins, et indirectement sur l'efficacité de l'utilisation des nutriments épandus. Ce gain d'efficacité n'a pas été intégré au modèle, mais est testé dans l'analyse de sensibilité sur l'azote via les Keq en dessous.

Dans le scénario tendanciel, l'offre en MAFOR et la demande peuvent être très éloignés géographiquement, dans un contexte où il existe une spécialisation importante des productions agricoles vers de l'élevage ou des grandes cultures dans certaines régions.

Le scénario de sobriété locale propose une reterritorialisation massive de l'agriculture française, avec un passage généralisé vers de la polyculture-élevage. Ce scénario permet de rapprocher géographiquement l'offre et la demande en MAFOR en les répartissant sur l'ensemble du territoire.

Le scénario transition ambitieuse, quant à lui, propose une amélioration de la transportabilité des MAFOR par un recours accru aux traitements amont de compostage et de méthanisation. Comme expliqué en annexe 8, ces derniers augmentent le taux de matière sèche des MAFOR, augmente les Keq et leur possibilité d'être valorisés sous statut de produit, donc à un prix plus élevé. Ces traitements pourraient ainsi rendre plus intéressants économiquement et plus réalisable la généralisation de filière de transports de MAFOR entre régions émettrices et régions utilisatrices.

Encadré analyse de sensibilité sur les Keq en lien avec une meilleure adéquation offre-demande

Dans le scénario sobriété locale, si les Keq des effluents d'élevage augmente de 10%, la part de fertilisation MAFOR augmenterait de 19 à 20,8% en 2025 et à 18,2 à 19,9% en 2035, traduisant une forte sensibilité à cette adéquation. Le gain en efficacité lié à cette adéquation n'est pas connu et mériterait une étude à part entière.

Dans le scénario de transition ambitieuse, la meilleure transportabilité a déjà été prise en compte dans les résultats du modèle : davantage de gisements ont été calculés avec des Keq du compost et des digestats de méthanisation.

3.2.4.2. Discussion sur la compatibilité des scénarios avec les objectifs de développement de l'agriculture biologique

L'une des hypothèses évoquées dans les différents scénarios est le passage d'une partie des surfaces en agriculture biologique, comme le résume le tableau ci-dessous :

	Scénario tendanciel	Sobriété locale	Transition ambitieuse
2025	12%	24%	14% (dont 7% grandes cultures)
2035	18,5%	54%	25% (dont 15% des grandes cultures)

Ces hypothèses n'ont pas été directement intégrées au modèle. Le passage à une agriculture biologique ne change pas les gisements disponibles en MAFOR, qui sont indépendants des choix de production des agriculteurs (tri à la source des biodéchets, cendres de chaufferies biomasse, boues de stations d'épuration urbaines et industrielles, quantités de fumiers et lisiers produits et récupérés...). En revanche, le dénominateur, qui exprime les besoins en azote des plantes est modifié, et ceci pour deux raisons :

La composition de l'assolement, c'est-à-dire la répartition des cultures dans la SAU est modifiée. En effet, le passage à de l'agriculture biologique implique pour les agriculteurs d'adopter de nouvelles rotations et donc d'introduire de nouvelles cultures dans leurs systèmes. **Cet effet est déjà pris en compte dans le modèle** : en effet, les assolements proposés sont issus d'études prospectives qui intègrent ce paramètre. Seul le scénario tendanciel prolonge les tendances passées sans vérifier la compatibilité de celui-ci avec les tendances de développement de l'agriculture biologique. Notamment, les données de la prospective proposent une diminution des surfaces en protéagineux, alors que le développement de l'agriculture biologique conduirait à les introduire dans les rotations.

En revanche, les effets de ce facteur sur la quantité d'azote dont les plantes ont besoin ne sont pas connus. Ce besoin diminue un peu, car les rendements en agriculture biologique diminuent (-20% de rendements en moyenne)³¹. Or, certaines cultures ont des besoins en azote strictement indépendants des rendements, comme les betteraves et les pommes de terre. Les céréales, en revanche, ont des besoins en azote qui sont proportionnels aux rendements. Ce paramètre n'a pas été intégré au modèle, d'une part parce que les prospectives relatives au développement de l'agriculture biologique ne précisent pas les types de cultures concernées. D'autre part, la baisse de rendement en agriculture biologique est spécifique à chaque type de culture, tout comme sa traduction en baisse de besoin azoté. Cet effet nécessitait donc d'importantes modifications sur le modèle dans le calcul du besoin global en azote, et il n'a donc pas été intégré.

Le tableau ci-dessous résume les résultats d'une analyse de sensibilité sur les hypothèses suivantes : 50% des surfaces en AB sont des céréales, dont la baisse de rendement est de 20% en moyenne. L'effet induit par la baisse de rendements sur d'autres types de cultures n'est pas étudié ici. A horizon 2035, les résultats sont les suivants :

	Scénario tendanciel	Sobriété locale	Transition ambitieuse
Hypothèse baisse de rendements		-20%	
Part des céréales en AB	9%	27%	15%
Variation du dénominateur (besoin en azote des cultures)	-0.75%	-3%	-1.3%
Taux de fertilisation MAFOR en France (Bilan prospective fertilisation MAFOR) tenant compte de l'hypothèse sur l'AB	17%	18,2%	17,6%

Ce tableau montre que cette hypothèse n'a pas d'influence sur le résultat final du bilan de fertilisation MAFOR.

En revanche, le paramètre non étudié jusqu'ici est la faisabilité d'atteinte de ces objectifs, au regard de l'obligation pour les cultures en agriculture biologique de ne recevoir que des MAFOR.

³¹ Guyomard H., 2013, « Analyse des performances de l'Agriculture Biologique », Vers des agricultures à haute performance, INRA

Les pourcentages de fertilisation MAFOR représentent la part du besoin en azote couverte par les MAFOR. Il est difficile de se prononcer sur une équivalence entre ce pourcentage et une surface en agriculture biologique (AB). Pour le traduire, il serait en effet nécessaire d'avoir la répartition des différentes cultures en AB en 2035.

Toutefois, quelques conclusions qualitatives peuvent être avancées.

Dans le scénario tendanciel, la quantité de MAFOR disponible semble être suffisante pour couvrir les besoins du développement de l'AB. Dans le scénario « AMS 2 », une tension semble survenir assez rapidement : on suppose 25% de la surface agricole utile en agriculture biologique en 2035, avec un pourcentage de fertilisation MAFOR en prospective à 17,6%. Cette tension sera sans doute d'autant plus importante si la part des céréales dans les surfaces biologiques est supérieure à leur part dans la SAU française totale.

En revanche, le scénario TYFA appliqué à l'échelle France ne paraît réalisable qu'avec un recours massif à l'importation de MAFOR. Cela tient peut-être à la façon dont ont été calculés les prospectives sur l'assolement français : peut-être que le scénario TYFA ne proposait qu'une faible diminution des céréales à l'échelle européenne, mais que celle-ci impliquait une forte diminution de ces surfaces en France, actuellement le plus gros producteur européen. A contrario, d'autres régions voyaient sans doute leurs surfaces en céréales augmenter. Cette hypothèse est plausible, dans le cadre d'un scénario dont l'approche est basée sur un retour massif à la polyculture-élevage.

Un autre élément permettant d'expliquer ce résultat est que les pertes d'azote par volatilisation au moment du stockage, du transport et de l'épandage ont été supposées constantes et ne pas varier selon les scénarios. Or, il est probable qu'un retour à la polyculture-élevage minimise les distances et temps de transports, et donc une partie de ces pertes.

3.2.4.3. **Malgré les résultats obtenus dans ces scénarios, des marges de manœuvre sont possibles**

Les résultats des trois scénarios prospectifs proposent une vision assez pessimiste : il semble qu'il existe peu de marges de manœuvre possibles pour augmenter la part de fertilisation MAFOR, contrairement à ce qui était envisagé initialement et qui avait conduit le Ministère de l'Agriculture à commander cette étude.

Ces trois scénarios ont été construits en intégrant différentes hypothèses. Ainsi, malgré ces résultats, des marges de manœuvre sont possibles pour améliorer la part de fertilisation MAFOR.

Tout d'abord, l'ensemble des scénarios proposent des baisses importantes du cheptel français. Un soutien aux filières d'élevage pourrait permettre de limiter cette diminution du cheptel, et donc d'améliorer la part de fertilisation MAFOR.

De plus, deux paramètres ont été considérés comme constants dans l'ensemble des scénarios :

- Les **pratiques d'épandage** ont été considérées comme constantes car hors du champ étudié dans nos prospectives. Toutefois, ces pratiques représentent un levier important.
- Dans les scénarios, les pourcentages de composts et de digestats de méthanisation partant en refus **ne diminuent pas**. Pourtant, des marges de manœuvre sont possibles sur la qualité de ces derniers, même si l'analyse de sensibilité montre que

Analyse de sensibilité des pourcentages de refus en sortie des traitements amont

Comme expliqué au début de cette étude, des hypothèses ont été faites sur la part de digestats de méthanisation et de composts ne sont pas valorisables en agriculture en sortie de traitement, à cause de leur qualité trop faible : 31% des digestats de méthanisation et 13% des composts sont refusés.

Il s'agit là d'une moyenne entre les données des années 2014 et 2016. Ces scénarios prospectifs ont intégré ce paramètre comme étant constant. Or, l'amélioration de ces processus pourrait permettre d'améliorer la qualité de ces MAFOR.

La tableau-ci-dessous présente les résultats du bilan prospectif de fertilisation MAFOR, avec une hypothèse que l'ensemble des tonnages sortant des plateformes de compostage et de méthanisation sont valorisés.

	Niveau actuel (référence)	Scénario tendanciel	Sobriété locale	Transition ambitieuse
Taux de fertilisation MAFOR en France (Bilan prospective fertilisation MAFOR) tenant compte de l'hypothèse sur l'AB	20,1%	17,3%	18.6%	18%

Ce tableau montre que ce paramètre a un effet visible sur le pourcentage de fertilisation MAFOR, bien qu'à lui seul il ne permette pas de proposer des scénarios prospectifs qui augmentent ce taux.

A noter également que dans le modèle, les Keq des digestats de méthanisation compostés sont assimilés à ceux d'un compost. De même, les digestats de méthanisation compostés sont supposés diminuer de volume de la même manière que tous les autres gisements via l'étape de compostage.

La **demande en azote** est **sans doute surestimée** dans le **scénario sobriété locale** de part la façon dont a été construit le micro-scénario de la variable assolement, comme expliqué dans le paragraphe précédent.

Le potentiel de tri à la source des biodéchets **peut également être sous-estimé**. En effet, les hypothèses des scénarios supposent que les gros producteurs trient déjà beaucoup les biodéchets à la source, ce qui laisse peut-être moins de marge d'amélioration que le cas réel.

De plus, des hypothèses sont prises sur l'évolution de la gestion de proximité, qui sont ambitieuses. Le tri à la source est peut-être surestimé et limite potentiellement les tonnages triés à la source.

Par ailleurs, la question du taux d'azote dans les boues a été comparée avec celle de l'azote dans les urines. Cette comparaison est présentée dans l'encadré ci-dessous :

Encadré apport de P et N dans les urines et les boues de stations d'épuration urbaines

Cet encadré a pour but de comparer les gisements en azote et en phosphore des boues de stations d'épuration urbaines et des urines, afin d'étudier si la séparation à la source de celles-ci pourraient avoir un impact sur la fertilisation MAFOR. Les données suivantes sont utilisées :

URINE	Unité	Valeur
gN/ jour excrété / habitant ³²	gN	11
Contenu 1 L d'urine ³³	gN	6
	gP	1
BOUES DE STEP	Unité	Valeur
Kt N / t MB ³⁴	ktN	10
Kt P / t MB	ktP	53,1
% MS ³⁵	% MS	0,517
Mt MS de boues produites en 2011	Mt MS	1,06
EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE	Unité	Valeur
Population française en 2011	Millions habitants	64,93
Population française en 2020		66,524
Population française en 2025 ³⁶		69,093
Population française en 2035 ³⁵		70,281

Les calculs donnent les résultats suivants :

		2020	2025	2035
URINES	ktN/an	267	277	282
	ktP/an	44,5	46	47
BOUES	ktN/an	21	22	22
	ktP/an	111,5	116	118

Ainsi, on peut voir que les urines représentent un gisement plus fort pour l'azote que les boues de stations d'épuration, alors que l'inverse est vrai en ce qui concerne le phosphore.

³² Esculier, Fabien. 2018. « Le système alimentation/excrétion des territoires urbains: régimes et transitions socio-écologiques ». Université Paris Est. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01787854/document>

³³ Nowak, Catherine. 2019. « L'urine, un engrais efficace à utiliser au jardin et au potager ». 5 décembre 2019. <https://monjardinmamaison.maison-travaux.fr/mon-jardin-ma-maison/conseils-jardinage/urine-engrais-efficace-jardin-potager-249249.html>.

³⁴ SEDE Environnement. 2018. « Dossier de demande d'autorisation: Périmètre d'épandage des boues de l'usine d'épuration Seine aval, Document d'étude d'impact ».

³⁵ Le département Seine et Marne. s. d. « Traitement des boues d'épuration ». Consulté le 21 juillet 2020. <https://eau.seine-et-marne.fr/traitement-des-boues-depuration>.

³⁶ Blanpain N. et Buisson G., 2016, Projections de populations 2013-2070 pour la France : principaux résultats, INSEE

3.2.4.4. Apports d'autres nutriments par les MAFOR

Certaines MAFOR comme les cendres contiennent peu d'azote et semblent présenter un intérêt limité au regard des scénarios. Elles présentent néanmoins des intérêts concernant d'autres éléments nutritifs (P,K) et de chaulage. Les apports des cendres en termes de P et K sont présentés dans l'encadré ci-dessous.

Encadré apport de P et K des cendres

	Unité	Valeur 2012
Gisement total cendres issus de chaufferies	tMS	200 000
Valorisé en agriculture	tMS	140 000
Phosphore total (P2O5 > 2%)	g/kg MS	10-28 ³⁷
Potassium total (K2O > 5%)	g/kg MS	28-153 ³⁸
P épandu	ktP	1,4-3,9
K épandu	ktK	3,9- 21,4
Vente de P minéral	ktP	398 ³⁹
Vente de P via minéral et orga	ktP	487 ⁴⁰
Vente de K minéral	ktK	417 ⁴¹
Vente de K via minéral et orga	ktK	500 ⁴²

La valorisation actuelle des cendre représente moins de 1% du phosphore épandu et entre 1 et 4% du potassium épandu. Une augmentation de la valorisation des cendres permettrait une substitution non négligeable de fertilisants d'origine minérale.

³⁷ ADEME 2014 ETUDE SUR LA VALORISATION DES CENDRES DE BIOMASSE EN FORET 2011-2013

³⁸ Idem

³⁹ ANPEA 2017 Observatoire national de la fertilisation minérale et organique

⁴⁰ Idem

⁴¹ Idem

⁴² Idem

3.3. Erreur ! Signet non défini.

3.3.1. Listing hiérarchisé des freins et des leviers à la fertilisation MAFOR et recommandations

Les tableaux ci-dessous présentent les freins et leviers principaux à l'augmentation de la part de fertilisation MAFOR et les recommandations associées. Ce travail a été conduit pour chacune des variables ; sa consolidation a permis la rédaction de la partie suivante, consacrée aux orientations stratégiques.

La méthode utilisée est la suivante :

- Les leviers de politique publique associés à chaque variable clé sont identifiés, ces variables étant les éléments susceptibles de faire varier les scénarios prospectifs dans notre modèle
- Chacun de ces leviers a été traduit en un ensemble de politiques publiques associées. Par exemple, le levier « maintien de l'élevage » est associé à différentes mesures de politique publique : « aides à l'installation », « communication autour du métier d'éleveur », « paiements pour services écosystémiques » ...
- Ont ensuite été évalués :
 - o L'intensité de chaque freins et leviers
 - o La quantité de MAFOR concernée
- Pour chaque politique publique, analyse du niveau de cohérence avec les scénarios prospectifs **sobriété locale** et **transition ambitieuse**

Les politiques publiques choisies sont celles qui sont :

- Cohérentes avec les scénarios **sobriété locale et transition ambitieuse**
- Des ajouts ont été réalisés suite aux retours des membres du comité de pilotage

Elles ont ensuite été hiérarchisées selon un ordre d'importance de la **quantité de MAFOR concernée** et de **l'intensité du levier**.

Légende:	
Intensité du frein ou du levier	
	<i>Frein ou levier mineur, peu important/impactant</i>
	<i>Frein ou levier moyennement important/impactant</i>
	<i>Frein ou levier majeur, très important/impactant</i>
Quantité de MAFOR concernée	
	<i>Quantité faible</i>
	<i>Quantité moyenne</i>
	<i>Quantité forte</i>
Cohérence avec les scénarios	
	<i>Recommandation allant à l'encontre de l'histoire générale du scénario</i>
	<i>Recommandation indifférente de l'histoire générale du scénario</i>
	<i>Recommandation allant dans le sens de l'histoire générale du scénario</i>
Cohérence globale de la recommandation	
	<i>Recommandation déconnectée des scénarios ou incompatible avec certains scénarios</i>
	<i>Recommandation globalement compatible avec les différents scénarios prospectifs</i>
	<i>Recommandation cohérente avec les principaux scénarios prospectifs</i>
Hierarchisation de la recommandation	
	<i>Recommandation abandonnée</i>
	<i>Recommandation conservée mais en priorité 2</i>
	<i>Recommandation en priorité 1</i>

Variables	Leviers et freins			Recommandations		Cohérence avec les scénarios			Crédibilité des recommandations		
Variables	Levier ou frein	Description du levier ou du frein	Intensité	Quantité de MAFOR concernée	Type de moyen	Moyen de politique publique à mettre en œuvre	"Tendanciel"	"Sobriété locale"	"Transition ambitieuse"	Contexte et cohérence	Souhaitabilité / hiérarchisation
Taille et composition du cheptel	Maintien de l'élevage	Les effluents d'élevage constituent actuellement le principal gisement de MAFOR. La tendance actuelle est à la diminution du cheptel. Par conséquent, toutes les mesures visant à maintenir les filières d'élevages favorisent l'utilisation de MAFOR.	★		Soutien économique	Soutien aux filières et valorisation des produits d'élevage: développement de filières certifiées, labellisées (labels sur la qualité ou l'origine: SIQO, produits fermiers, HVE, produits de montagne ...). La filière bovine vise d'ailleurs de passer à 40% de Label Rouge d'ici 5 ans.	▶	▶	▶	●	✔
					Soutien économique	Il peut s'agir de renforcer les aides à l'installation de jeunes éleveurs, de garantir un niveau de prix à la vente ou d'encadrer les marges des entreprises amont et aval	▶	▶	▶	●	✔
					Soutien économique	Instauration de "paiement pour service écosystémique": maintien de milieux ouverts, de la biodiversité ...	▶	▶	▶	●	✔
					Sensibilisation / Formation	Communication positive sur le métier d'éleveur, qui pourrait s'appuyer sur les travaux de l'Institut de l'élevage	▶	▶	▶	●	⚠
	Réduction des importations des viande bovine	Les importations de viande bovine provoquent indirectement une réduction de l'élevage français, ce qui contribue à réduire l'offre en MAFOR.	★		Fiscalité	Taxes à l'importation de viande bovine	▶	▶	▶	●	✘
					Soutien économique	Soutien de la demande intérieure de viande française, notamment via la restauration collective	▶	▶	▶	●	✔
					Sensibilisation / Formation	Orientation de la consommation intérieure de viande vers la viande française (communication)	▶	▶	▶	●	⚠
Production de cendres	Développement de la filière biomasse-énergie	Le développement de la filière bois-énergie permet d'assurer une augmentation du gisement de cendres issus de chaufferies, qui est un gisement de MAFOR.	★		Soutien économique	Soutien à la filière biomasse-énergie: Subventions Prix garantis (électricité)	▶	▶	▶	●	⚠
	Cendres autorisées pour l'épandage	Actuellement, seules les cendres sous-foyer sont autorisées, dans une limite de 5000t pour les installations ICPE produisant moins de 20 MW. De plus, la teneur en polluants résiduels peut aussi limiter leur utilisation.	★		Réglementation	Autorisation du recyclage des cendres de chaufferies bois. Entrée des cendres de biomasse dans la régulation européenne sur les fertilisants Augmentation de la quantité de cendres épandable et élargissement du type de cendres utilisables au-delà des cendres sous-foyer	▶	▶	▶	●	⚠

<p>Transportabilité des MAFOR</p>	<p>Les MAFOR sont des produits fertilisants « dilués »: pour un même pouvoir de fertilisation, ils sont plus lourds que leur alternative minérale.</p> <p>Faible transportabilité et coûts supplémentaires élevés</p> <p>Par conséquent, les MAFOR ont un poids et un volume contraignant pour le transport. Cette caractéristique est d'autant plus contraignante que certains potentiels utilisateurs de MAFOR peuvent se trouver à une distance importante des gisements de MAFOR.</p> <p>★ </p>	<p>Soutien économique</p> <p>Développement des filières de traitement des MAFOR (méthanisation, compostage, séchage ...)</p> <p>Cf. recommandations ci-après</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>
<p>Traitement amont des MAFOR</p>	<p>Développement de la méthanisation</p> <p>La méthanisation peut constituer un traitement « amont » à l'utilisation des MAFOR. Elle permet notamment une meilleure transportabilité de ces matières.</p> <p>★ </p>	<p>Soutien économique</p> <p>Poursuivre les appels à projets, les aides à l'investissement et les prix garantis</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>
	<p>Amélioration de la qualité des MAFOR en général</p> <p>Les traitements amont des MAFOR permettent souvent d'améliorer la qualité de ces MAFOR. En particulier, elles peuvent permettre homogénéiser la composition chimique de ces matières et d'en faciliter le transport et la manipulation.</p> <p>★ </p>	<p>Soutien économique</p> <p>Aides à l'investissement pour les filières de traitement amont des MAFOR (méthanisation, compostage, séchage ...) sous la forme d'aide au crédits ou de subventions à l'investissement</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p> <p>Soutien économique</p> <p>Soutien du dispositif des aides à l'innovation et de la R&D sur les modes de traitement innovants comme l'extraction de nutriments</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>
	<p>Amélioration de la qualité des MAFOR issues des filières de traitement amont</p> <p>Le tri à la source des déchets alimentaires permet également une meilleure qualité. En particulier, ces déchets s'ils sont mieux triés, permettront d'avoir des MAFOR de meilleure qualité après traitement amont (méthanisation, compostage ...)</p> <p>★ </p>	<p>Réglementation</p> <p>Stimulation de la collecte séparée des déchets alimentaires (cf. levier "Augmentation de la collecte des biodéchets")</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>
	<p>Contraintes administratives et réglementaires</p> <p>Certaines contraintes administratives et réglementaires liées au montage de projets de traitement amont (en particulier pour la méthanisation) peuvent décourager certains producteurs de MAFOR. La nécessité d'avoir un cadre strict dans la procédure de montage de projet permet d'éviter les attaques pour vice de procédures liées à l'effet NIMBY</p> <p>★ </p>	<p>Réglementation</p> <p>Simplifications administratives et réglementaires pour le montage de projets de traitement amont (méthanisation, compostage)</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>

Tri à la source des déchets alimentaires	Augmentation de la collecte des biodéchets	Actuellement, les biodéchets sont rarement triés et collectés à part. Or, il s'agit d'un gisement important de MAFOR.	 	Fiscalité	Subventions aux investissements et au fonctionnement de la collecte des biodéchets, à destination des collectivités.	    
	Mise en place du tri à la source	Les biodéchets constituent un gisement de MAFOR intéressant, qui est aujourd'hui largement sous-exploité. Le tri des biodéchets et l'augmentation du taux de collecte permettent de développer ce type de MAFOR	 	Réglementation	Définition des gros producteurs de biodéchets: l'abaissement du seuil définissant les gros producteurs augmente la taille du gisement de biodéchets mobilisables.	    
				Fiscalité	Pénalités financière à l'encontre des entreprises et des collectivités sur l'enfouissement et l'incinération. Elles pourraient prendre la forme de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), existant actuellement dans plusieurs pays d'Europe pour pénaliser l'absence de valorisation des biodéchets	    
				Sensibilisation / Formation	Sensibilisation des consommateurs au tri des biodéchets Communication et informations à l'intention des collectivités	    
Collecte en STEP	Incompatibilité avec l'agriculture biologique	L'utilisation de boues de STEP est interdite par le cahier des charges de l'agriculture biologique	 	Réglementation	Autorisation de l'utilisation de boues de STEP en AB selon la teneur en polluants	    
	Boues non épanchables à cause de polluants	Le caractère épanchable des boues de STEP dépend directement des types de flux qui arrivent en station. Ainsi, une séparation des flux ayant des teneurs en polluants différents permettrait probablement d'améliorer la qualité d'une partie des boues, et donc d'augmenter la part de boues respectant les valeurs seuils d'ETM. En particulier, il est possible que les types de flux industriels aient un impact sur la qualité en sortie	 	Connaissance	Etude sur les sources de polluants dans les boues de STEP	    
				Réglementation	Réglementation des flux arrivant en STEP: interdire aux entreprises polluantes identifiées de se connecter au réseau général des eaux usées	    

Collecte en STEPS	<p>Méfiance des agriculteurs et acceptabilité sociale</p> <p>Les agriculteurs peuvent manquer de confiance en ces produits (sur la qualité ou le manque de traçabilité).</p> <p>★</p> 	<p>Sensibilisation / Formation</p> <p>Communication sur l'intérêt agronomique et économique des ces matières auprès des agriculteurs.</p> <p>Renforcer la traçabilité et la transparence: appui au déploiement des organismes indépendants (type MESE) dans les territoires, en lien avec les agences de l'eau</p> <p>Mise en place de systèmes assurantiels pour les agriculteurs receveurs en cas de problème post-épandage</p> <p>Communication auprès des citoyens</p> <p>▶ ▶ ▶ ● !</p>
	<p>Pertes azotées importantes lors des traitements en STEP</p> <p>Pertes azotées importantes par volatilisation, transformation, traitement (abattage etc.)</p> <p>De fortes pertes en azotes pourraient être évitées par une collecte séparée des urines en amont des STEP</p> <p>Le délai de retour est encadré par l'arrêté du 8 janvier 1998:</p> <p>6 semaines pour les animaux, les surfaces en herbages et les cultures fourragères</p> <p>18 mois pour les cultures maraîchères ou fruitières si la culture est en contact avec le sol ou susceptible d'être consommée crue</p> <p>Ces délais peuvent être diminués si les boues sont hygiénisées</p> <p>★</p> 	<p>Soutien économique</p> <p>Soutien d'expérimentations de collecte séparée d'urines en amont des STEP, soutien d'appels à projets</p> <p>▶ ▶ ▶ ● !</p>
	<p>Délais de retour au champ pour les boues d'épuration</p> <p>6 semaines pour les animaux, les surfaces en herbages et les cultures fourragères</p> <p>18 mois pour les cultures maraîchères ou fruitières si la culture est en contact avec le sol ou susceptible d'être consommée crue</p> <p>Ces délais peuvent être diminués si les boues sont hygiénisées</p> <p>★</p> 	<p>Soutien économique</p> <p>Aides à l'hygiénisation des boues d'épuration</p> <p>▶ ▶ ▶ ● !</p>
Pertes par volatilisation et lixiviation	<p>Limiter les pertes d'azote vers l'air</p> <p>Enfour rapidement les MAFOR, injecter les effluents liquides dans le sol</p> <p>★</p> 	<p>Sensibilisation / Formation</p> <p>Accompagnement à l'utilisation des MAFOR et diffusion des guides de bonnes pratiques</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p> <p>Soutien économique</p> <p>Aides financières à l'investissement dans du matériel d'épandage adapté, apportant le MAFOR au sol voire directement dans le sol</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>
	Pratiques d'épandage	<p>Diffusion des bonnes pratiques d'épandage</p> <p>Les bonnes pratiques d'utilisation des MAFOR permettent une optimisation de l'épandage et une limitation des pertes en matière fertilisante</p> <p>L'ADEME a publié un guide technique à ce sujet en 2018.</p> <p>★</p> 
<p>Acceptabilité locale</p> <p>La majorité des MAFOR peuvent être à l'origine de nuisances olfactives ou visuelles et leur développement peut ainsi être confronté à des oppositions locales.</p> <p>☆</p> 		<p>Sensibilisation / Formation</p> <p>Communication auprès du grand public sur l'intérêt de l'utilisation des MAFOR</p> <p>▶ ▶ ▶ ● !</p>
<p>Complexité d'utilisation</p> <p>A cause de leur poids, leur volume et de leur nature, les MAFOR peuvent être difficiles d'utilisation.</p> <p>Stockage: besoin de place voire de zones dédiées</p> <p>Epandage: besoin de matériel spécifique</p> <p>Calcul des besoins en fertilisation</p> <p>★</p> 		<p>Sensibilisation / Formation</p> <p>Accompagnement à l'utilisation des MAFOR et diffusion des guides de bonnes pratiques</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>

Assimilation à court terme	Complexité de pilotage de la fertilisation	Certaines cultures nécessitent un pilotage précis de la fertilisation et notamment des apports en azote sur des courtes périodes. Pour ce type de cultures, les MAFOR sont peu adaptées	★		Sensibilisation / Formation	Accompagnement à l'utilisation des MAFOR et diffusion des guides de bonnes pratiques	▶	▶	▶	●	✓
Assolement	Développement des légumineuses	Les légumineuses permettent de diminuer les besoins en fertilisation. Leur développement pourrait ainsi permettre d'augmenter la proportion de fertilisation MAFOR. Les légumineuses pour l'alimentation humaine ont aujourd'hui des débouchés limités. En revanche, les légumineuses pour l'alimentation animale pourraient être davantage développées. Des cultures de légumineuses dans un but de fertilisation des sols pourraient également être envisagées.	★		Sensibilisation / Formation	Sensibilisation des agriculteurs: Amélioration des connaissances, développement de formations, facilitation de l'accès au conseil technique	▶	▶	▶	●	!
					Soutien économique	Soutien à la recherche & développement sur les légumineuses (sur leur production et leur transformation)	▶	▶	▶	●	!
					Soutien économique	Soutien à la structuration des filières	▶	▶	▶	●	✓
					Soutien économique	Soutien accru via les Mesures Agro-Environnementales	▶	▶	▶	●	✗
					Réglementation	Lutter contre les distorsion de concurrence (ex: utilisation de produits phytosanitaires interdits en France par certain grands exportateurs de légumineuses)	▶	▶	▶	●	✗
Surfaces en AB	Développement des surfaces en AB	Un développement de l'agriculture biologique produirait une augmentation des surfaces agricoles nécessitant l'emploi de MAFOR au dépend de surfaces requérant des apports en azote minéral	★		Soutien économique	Augmentation des aides à la conversion et à l'exploitation en AB, augmentation de l'approvisionnement labellisé dans en restauration scolaire	▶	▶	▶	●	!
Coût total MAFOR vs engrais minéraux	Diminution du prix relatif des MAFOR	Le prix des MAFOR peut en favoriser l'utilisation s'il est incitatif en comparaison avec les fertilisants issus de ressources non renouvelables.	★		Fiscalité	Instauration d'un « paiement pour service écosystémique » pour les acteurs impliqués dans la réutilisation de MAFOR: agriculteurs, mais également les autres membres des filières (plateformes de compostage, méthanisation...)	▶	▶	▶	●	✓
	Alternatives moins chères	L'utilisation de MAFOR peut être freinée par l'existence d'alternatives moins coûteuses d'utilisation de fertilisants issus de ressources non renouvelables.	★		Fiscalité	Taxe sur les fertilisants issus de ressources non renouvelables	▶	▶	▶	●	✓
	Coûts de supplémentaires élevés	A cause de leur poids, leur volume et de leur nature, les MAFOR peuvent générer des coûts indirects importants: Stockage: besoin de place voire de zones dédiées Epannage: besoin de matériel spécifique Transport: coût supplémentaire	★		Soutien économique	Aides à l'investissement de matériel spécifique pour l'utilisation des MAFOR	▶	▶	▶	●	✓

Favoriser le recyclage des urines	<p>Absence de réglementation dédiée</p> <p>Absence des urines dans les normes et les cahiers de charges prévus pour les Autorisations de Mise sur le Marché (AMM)</p> <p>★</p> 	<p>Réglementation / Soutien à la recherche</p> <p>Monter un dossier d'expérimentation auprès de l'ANSES afin qu'elles soient incluses dans les normes et les cahiers de charges du Ministère de l'Agriculture, et qu'elles puissent ainsi bénéficier d'Autorisations de Mise sur le Marché</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>
	<p>Besoin de développer les connaissances sur le sujet</p> <p>Peu de projets de recherche actuellement sur le sujet</p> <p>★</p> 	<p>Soutien à la recherche</p> <p>Soutenir des expérimentations de collecte séparée d'urines en amont des STEP ou des appels à projets de collecte séparée.</p> <p>▶ ▶ ▶ ● ✓</p>

3.3.2. Définitions des orientations stratégiques

Le travail de formulation de recommandations, sur la base des freins et leviers identifiés au cours de l'étude a permis de faire émerger différents axes stratégiques pour favoriser le développement des MAFOR en France. Les quatre axes d'action prioritaires sont les suivants :

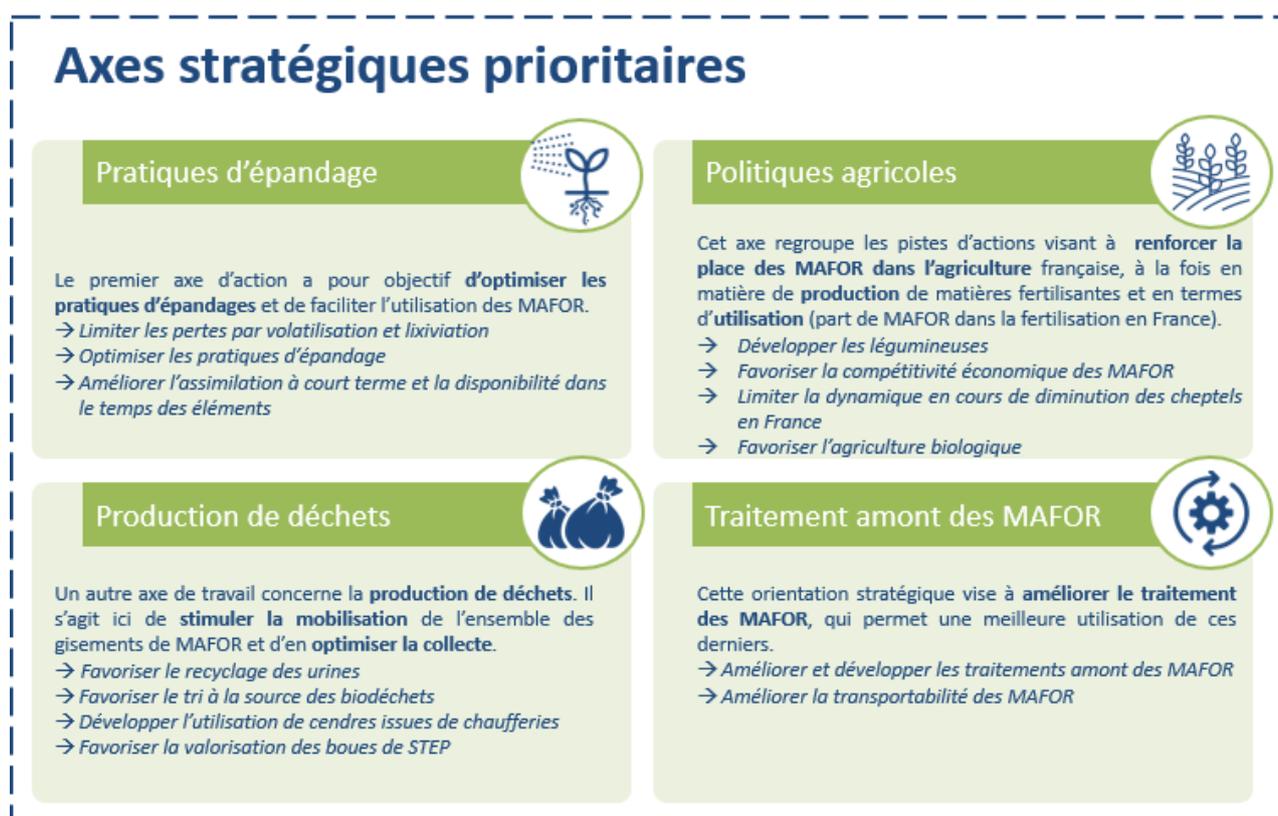


Figure 25: Axes stratégiques

Les recommandations, triées par axe stratégique et hiérarchisées par niveau d'importance sont présentées dans les tableaux ci-après :

Pratiques d'épandage			
Orientations stratégiques : → <i>Limiter les pertes par volatilisation et lixiviation</i> → <i>Optimiser les pratiques d'épandage</i> → <i>Améliorer l'assimilation à court terme et la disponibilité dans le temps des éléments</i>			
Priorité	Recommandations	Type de moyen	Éléments de contexte
1	Poursuite du travail de sensibilisation auprès des agriculteurs et des autres acteurs du territoire sur les bonnes pratiques à l'égard des MAFOR : sur le stockage, transport, procédés de transformation et épandage	Sensibilisation / Formation	Travail déjà en cours par les Chambres d'Agriculture et Instituts techniques auprès des agriculteurs
1	Instaurer des aides financières à l'investissement dans du matériel d'épandage adapté, apportant le MAFOR au sol voire à l'enfouissement	Soutien économique	
1	Instaurer un « paiement pour service écosystémique » auprès des agriculteurs pour certains pratiques	Fiscalité	
1	Soutien à la recherche sur les MAFOR et les pratiques d'épandage, en particulier pour améliorer la connaissance concernant les coefficients de minéralisation et la disponibilité des éléments au cours du temps. Après une première phase de communication et de retours d'expérience sur les types d'essais manquants en recherche (essais avec uniquement de la fertilisation organique et pas uniquement une modalité, zones géographiques non étudiées, une diversité de produits...).	Soutien à la recherche	

Politiques agricoles



Orientations stratégiques :

- *Développer les légumineuses*
- *Favoriser la compétitivité économique des MAFOR*
- *Limiter la dynamique en cours de diminution des cheptels en France*
- *Soutenir l'agriculture biologique*

Priorité	Recommandations	Type de moyen	Eléments de contexte
1	Développer les légumineuses		
1	Soutenir la structuration des filières de légumineuses.	Soutien économique	
2	Améliorer la connaissance sur les cultures des légumineuses, développer des formations pour les agriculteurs et faciliter l'accès au conseil technique sur les légumineuses.	Sensibilisation / Formation	
2	Soutenir la recherche & développement sur les légumineuses, à la fois sur la production et sur la transformation de ces dernières.	Soutien à la recherche	
1	Soutenir l'utilisation des MAFOR en agriculture		
1	Instaurer une taxe sur les fertilisants non issus de ressources renouvelables afin de rendre les MAFOR compétitives. Uniquement si les conditions économiques des exploitants agricoles rendent cette mesure socialement acceptable.	Fiscalité	Les MAFOR éligibles à l'AB bénéficient déjà d'un taux de TVA réduit
1	Instaurer un « paiement pour service écosystémique » pour l'utilisation de MAFOR : des agriculteurs directement	Fiscalité / Aides	La question du statut de l'agriculteur, valorisateur de déchets
2	Communication auprès du grand public sur l'intérêt de l'utilisation des MAFOR en agriculture (toutes types de MAFOR concernées)	Sensibilisation / Formation	
1	Limiter la dynamique en cours de diminution du cheptel en France		
1	Soutenir les filières et la valorisation des produits d'élevage : soutenir le développement de filières certifiées et labellisées (labels sur la qualité ou l'origine : SIQO, produits fermiers, HVE, produits de la montagne ...)	Soutien économique	
1	Soutenir la demande intérieure en viande française, notamment via la restauration collective	Soutien économique	

1	Renforcer les aides à l'installation de jeunes éleveurs, garantir un prix à la vente et encadrer les marges des entreprises en amont et aval	Soutien économique	
1	Instauration de « paiement pour service écosystémique » pour les élevages extensifs : maintien de milieux ouverts, de la biodiversité ...	Soutien économique	
2	Communiquer pour orienter la consommation intérieure de viande vers la viande française.	Sensibilisation / Formation	
2	Renforcer la communication positive sur le métier d'éleveur, en appuyant par exemple les travaux de l'Institut de l'élevage	Sensibilisation / Formation	
2	Soutenir l'agriculture biologique		
2	Augmenter les aides à la conversion et à l'exploitation en Agriculture Biologique et augmenter l'approvisionnement labellisé AB en restauration scolaire.	Soutien économique	

Production de déchets			
Orientations stratégiques : <ul style="list-style-type: none"> ➔ Favoriser le recyclage des urines ➔ Favoriser le tri à la source des biodéchets ➔ Développer l'utilisation de cendres issues de chaufferies ➔ Favoriser la valorisation des boues de STEP 			
Priorité	Recommandations	Type de moyen	Éléments de contexte
1	Favoriser le recyclage des urines		
1	Monter un dossier d'expérimentation auprès de l'ANSES afin qu'elles soient incluses dans les normes et les cahiers des charges du Ministère de l'Agriculture, et qu'elles puissent ainsi bénéficier d'Autorisations de Mise sur le Marché	Soutien à la recherche	Toopi Organics est une société Bordelaise en train de monter une AMM
1	Soutenir des expérimentations de collecte séparée d'urines en amont des STEP ou des appels à projets de collecte séparée.	Soutien à la recherche	
1	Favoriser le tri à la source des biodéchets		
1	Mettre en place des pénalités financières à l'encontre des entreprises et des collectivités sur l'enfouissement et l'incinération. Ces pénalités pourraient prendre la forme de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), existant actuellement dans plusieurs pays d'Europe	Fiscalité	
2	Mettre en place une tarification incitative sur la taxe d'enlèvement des ordures ménagères (TEOM) et soutenir les investissements et la collecte des biodéchets par les collectivités (subvention)	Fiscalité	
2	Communiquer et informer les consommateurs et les collectivités sur le tri des biodéchets	Sensibilisation / Formation	
2	Poursuivre les objectifs de rendre obligatoire le tri des biodéchets et la collecte séparée dans toutes les collectivités. Mettre en place l'appareil exécutif de contrôle du respect de la réglementation	Réglementation / Contrôles	

2 Développer l'utilisation de cendres issues de chaufferies			
2	Soutenir la filière bois-énergie (subventions et prix garantis)	Soutien économique	
2	Autoriser le recyclage des cendres de chaufferies bois. Faire entrer les cendres de biomasse dans la réglementation européenne sur les fertilisants. Augmenter la quantité de cendres épandables et élargir le type de cendres utilisables (au-delà des cendres sous-foyer)	Réglementation	
2 Favoriser la valorisation des boues de STEP			
2	Communiquer auprès des agriculteurs sur les intérêts agronomiques et économiques de boues d'épuration, renforcer la traçabilité et la transparence de ces MAFOR (appui au déploiement d'organismes indépendants, type MESE), mettre en place des systèmes assuranciers pour les agriculteurs utilisateurs de boues de STEP. Communiquer auprès des citoyens en parallèle.	Sensibilisation / Formation	
2	Créer des aides à l'hygiénisation des boues d'épuration	Soutien économique	
2	Durcir la réglementation concernant les flux industriels arrivant en STEP. Intégrer des critères sur les quantités de métaux lourds en plus de la réglementation existante sur la DCO et sur la capacité des STEP à épurer les flux industriels	Réglementation	
2	Etudier les sources de polluants dans les boues de STEP, notamment l'impact des ménages (antibiotiques, médicaments, pilule...)	Connaissance	

Traitement des MAFOR



Orientations stratégiques :

- ➔ *Améliorer et développer les traitements amont des MAFOR*
- ➔ *Améliorer la transportabilité des MAFOR*

Priorité	Recommandations	Type de moyen	Éléments de contexte
1	Simplifier les procédures de montage de projets de traitement amont (méthanisation, compostage) au niveau administratif et réglementaire, afin d'éviter des risques de contentieux ultérieurs.	Réglementation	
1	Poursuivre les appels à projets et les prix garantis aux filières de traitement des MAFOR (méthanisation, compostage, séchage ...)	Soutien économique	
1	Multiplier les aides à l'investissement pour les filières de traitement amont des MAFOR sous la forme d'aide au crédit ou de subventions à l'investissement.	Soutien économique	
1	Soutenir le dispositif des aides à l'innovation et la recherche & développement sur les modes de traitement innovants (comme l'extraction de nutriments), et sur la connaissance des digestats	Soutien économique	

Conclusion - Synthèse

La dépendance de l'agriculture française aux engrais issus de ressources non renouvelables est questionnée au regard des enjeux de durabilité et de résilience de l'agriculture, dans un contexte de développement de l'économie circulaire.

Face à ces enjeux, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation cherche à développer l'utilisation de matières fertilisantes d'origine renouvelable en se fixant notamment des objectifs à atteindre à horizon 2035. Cette étude vise ainsi à proposer trois scénarios prospectifs de la fertilisation par les engrais d'origine renouvelable, à horizon 2025 et 2035.

En 2014, l'ESCO Mafor estimait que 39% de l'azote épandu provenait de sources organiques (en masse d'azote, déjections au pâturage incluses). Une partie de ces matières organiques est commercialisée : en 2017, l'ANPEA estimait que 27% de l'azote commercialisé provenait de sources organiques, ce qui correspond aujourd'hui à environ 36% des tonnages commercialisés.

Il est à noter que les données sont disparates et dépendent fortement des périmètres considérés : les matières commercialisées sont celles sur lesquelles les données sont les plus fiables. Les quantités de déjections émises au champ ou faisant l'objet d'échanges de gré à gré ne peuvent être qu'estimées. De plus, les caractéristiques physico-chimiques des MAFOR sont variables, et les nutriments qui y sont contenus sont plus ou moins assimilables par les plantes. Ainsi, la quantité de nutriments réellement efficaces apportés par les MAFOR nécessite des calculs complexes.

Cette étude a réalisé ce calcul sur la première phase de son travail, avec un choix de se concentrer sur le nutriment azote. Un modèle a été créé, permettant d'évaluer la part du besoin des plantes en azote effectivement apportée par les MAFOR. Quelques hypothèses simplificatrices ont été intégrées : pratiques d'épandage équivalentes partout, pas de prise en compte de la disparité locale des conditions climatiques et donc des cinétiques de minéralisation de l'azote des sols. Enfin, l'arrière-effet des MAFOR, à savoir leur capacité à libérer des nutriments plusieurs années après leur épandage, a été intégrée au calcul.

Pour réaliser ce modèle, les données de l'ESCO MAFOR ont été choisies. Bien qu'anciennes, il s'agit de la source de données la plus exhaustive disponible à ce jour. Conserver ces valeurs nous a évité de réaliser des double-comptages, même si certaines données mériteraient d'être actualisées (en particulier l'état des filières de compostage et de méthanisation).

Les résultats du modèle montrent que les apports de MAFOR ne couvrent aujourd'hui que 20% des besoins azotés de plantes, de part des phénomènes de pertes d'azote lors du stockage, du transport, de volatilisation au champ, et de capacité des plantes à le prélever.

La seconde phase de l'étude a consisté à proposer trois scénarios prospectifs d'évolution de la part de fertilisation MAFOR. Pour cela, six variables clés ont été choisies et étudiées selon la méthodologie des fiches variables. Trois scénarios ont été proposés, correspondant à trois scénarios pour chacune de ces variables clés.

Les trois scénarios proposés sont les suivants :

- Un scénario « Tendancier », qui prolonge les tendances passées, à savoir :
 - o Une forte diminution du cheptel ;
 - o Une augmentation du tri à la source des biodéchets ;
 - o Un faible développement de la filière chaufferies-biomasse ;
 - o Une augmentation des filières de compostage et de méthanisation.

Ce scénario a été construit par I Care & Consult de manière calculatoire. La cohérence interne de certaines variables n'est pas assurée, en particulier pour le cheptel et l'assolement.

- Un scénario « Sobriété locale », qui se base sur le scénario TYFA de l'IDDRI. Il implique :
 - o Un fort développement de l'agriculture biologique et des légumineuses ;
 - o Une diminution du cheptel, sauf pour le cheptel bovin ;
 - o Un retour massif vers des exploitations agricoles en polyculture-élevage, permettant de rapprocher les sources d'azote des puits ;
 - o Une augmentation du tri à la source des biodéchets ;
 - o Un développement moyen de la filière chaufferie-biomasse ;
 - o Une augmentation importante des filières de compostage ;
 - o Un faible développement des filières de méthanisation.
- Un scénario « Transition ambitieuse » qui s'est fondé sur le scénario AMS 2, qui est le scénario cohérent avec les objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone proposé par la DGEC. Il propose :
 - o Une diminution du cheptel ;
 - o Un fort développement de l'agriculture biologique ;
 - o Une augmentation du tri à la source des biodéchets ;
 - o Un fort développement de la filière chaufferie-biomasse ;
 - o Un faible développement des filières de compostage ;
 - o Un fort développement des filières de méthanisation.

Les données chiffrées des six variables clés ont alors été insérées dans le modèle, qui a donné des résultats sur la part d'azote utilisée efficacement par les plantes provenant des MAFOR.

Dans ces trois scénarios, le pourcentage de fertilisation MAFOR plafonne à son niveau actuel.

La cause principale de cet effet est qu'ils intègrent tous les trois une forte diminution du cheptel. Les lisiers et fumiers produits représentent des gisements si importants que même une diminution du besoin en azote des plantes (sobriété locale) ou une collecte accrue des effluents industriels et urbains (transition ambitieuse) ne le compense.

Les gisements obtenus sont tous juste suffisants pour assurer les objectifs de développement de l'agriculture biologique prévus par la Stratégie Nationale Bas Carbone et proposés dans le scénario Transition Ambitieuse (25% de la SAU en 2035, dont 15% de grandes cultures). Dans le scénario Sobriété locale en revanche, ces gisements semblent trop faibles pour assurer ces objectifs, et ils ne pourraient être atteints qu'en ayant recours à des importations de MAFOR.

Malgré ces résultats, des marges de manœuvre restent possibles pour augmenter la part de fertilisation MAFOR. En effet, certaines hypothèses prises dans la définition des scénarios sous-estiment sans doute la part de MAFOR pouvant être épandues : la diminution du cheptel prévue est importante, les marges de manœuvre sur les pratiques d'épandage ou une amélioration de la qualité des composts et digestats de méthanisation sont laissés de côté. Le scénario Sobriété locale, quant à lui, surestime sans doute les besoins en azote des plantes.

De plus, la collecte séparée d'urines représente un gisement potentiellement très intéressant d'azote, et gagnerait à être développée.

Finalement, les mesures de politiques publiques recommandées par ce rapport concernent en premier lieu :

- L'amélioration des pratiques d'épandage, afin de réduire les pertes et d'augmenter la disponibilité des nutriments pour les plantes ;
- Le développement de la collecte séparée d'urines, avec un ensemble de travaux de recherche préalables et nécessaires pour obtenir les autorisations de mise sur le marché (AMM) requises ;
- La recherche d'un maintien des filières d'élevage couplées à des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement (élevage à l'herbe, extensif...) et l'orientation de la consommation française vers de la viande française ;
- La poursuite du travail de développement des filières de légumineuses ;
- La poursuite du travail de généralisation du tri à la source des biodéchets ;
- La poursuite du développement des filières de compostage et de méthanisation.

ANNEXE 1 – Références

- ADEME 2019a. MODECOM 2017. Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés.
- ADEME 2019b. Tri à la source et collecte séparée des biodéchets.
- ADEME 2018a. Déchets chiffres-clés
- ADEME 2018b. Etude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets.
- ADEME 2017a. Déchets chiffres-clés
- ADEME 2017b. Collectivités, comment réussir la mise en œuvre du tri à la source des biodéchets ? Clés de lecture et recommandation de l'ADEME.
- ADEME, 2014. Etude sur la valorisation des cendres de biomasse en forêt 2011-2013.
- ADEME, 2015, Fiche technique : Le compostage
- ADEME, 2015, Fiche technique : La méthanisation
- ADEME 2013a. Etat de l'art de la collecte séparée et de la gestion de proximité des biodéchets.
- ADEME 2013b. Réduire, trier et valoriser les biodéchets des gros producteurs.
- Bouday, D, et F Marcovecchio. 2016. « Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse. Revue des gisements et des procédés associés », février, 92.
- CGDD, 2013. Observation et statistiques, n°448, septembre 2013. Chiffres et statistiques, Les surplus d'azote et les gaz à effet de serre de l'activité agricole en France métropolitaine en 2010.
- Comifer, 2013. Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales.
- Couturier, Christian, Madeleine Charru, Sylvain Doublet, et Philippe Pointereau. 2016. « Le scénario Afterres 2050 version 2016 ». <https://afterres2050.solagro.org/>.
- ESCo INRA, 2012. Les flux d'azote liés aux élevages. Réduire les pertes, rétablir les équilibres.
- ESCo INRA, 2014. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier.
- Houot, Sabine, Marie-Noëlle Pons, et Marilys Pradel. 2014. « Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier », octobre, 108.
- RECORD, 2016. Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse - Revue des gisements et des procédés associés
- Science eaux et territoires 2013 <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2013-3-page-58.htm#>
- Solagro, 2014. Un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050.

4. ANNEXE 2 – liste des figures et tableaux

Tableau 1: Liste des membres initiaux du comité de pilotage	14
Tableau 2: Liste des membres élargie du comité de pilotage	14
Tableau 3 : liste d'experts réunis dans le groupe prospectif	15
Tableau 4 : Quantités estimées de MAFOR épandues annuellement sur sols agricoles (Matières Sèches). Source : CGEDD / CGAAER 2015	28
Tableau 5 : Cheptel et gisement de MAFOR d'élevage en quantité d'azote (source CGDD 2013)	29
Tableau 6 : Taux de volatilisation de l'azote des effluents d'élevage (source ESCO INRA 2012)	30
Tableau 7 : coefficient équivalent d'utilisation d'azote - Keq et Keq_{orga}	31
Tableau 9: Gisement efficace de MAFOR d'élevage en quantité d'azote équivalent	31
Tableau 10 : Boues et effluents des industries (Source : Esco MAFOR 2014 d'après INSEE-SSP-Agreste, chiffres 2008).....	33
Tableau 11: Résumé des différentes sources de données concernant les gisements en MAFOR et leurs traitements	39
Tableau 12: Années des sources choisies pour le diagnostic de la situation actuelle et pour les traitements amont	40
Tableau 13: Evolution du nombre de centres de compostage et de méthaniseurs centralisés	40
Tableau 14: Etat des lieux du traitement amont des MAFOR, chiffres issus des données mentionnées ci-dessus	41
Tableau 15: Proportion des refus issus des plateformes de compostage et de méthanisation centralisées .	41
Tableau 16 : Coefficients d'azote efficace utilisés – source : COMIFER 2013 ; ESCO MAFOR 2014.....	42
Tableau 17 : Synthèse des gisements azotés totaux, valorisés et efficaces des MAFOR industrielles et urbaines	42
Tableau 18 : Caractérisation des variables du système MAFOR	51
Tableau 19: Présentation des microscénarios de la variable cheptel	55
Tableau 20: Présentation des microscénarios de la variable assolement.....	57
Tableau 21: Présentation des microscénarios de la variable chaufferies biomasse	58
Tableau 22: Présentation des microscénarios de la variable boues de STEP.....	59
Tableau 23: Présentation des microscénarios de la variable tri à la source des biodéchets	63
Tableau 24: Présentation des microscénarios de la variable traitement amont des biodéchets	65
Tableau 25: Présentation des macro-scénarios de fertilisation MAFOR.....	66
Tableau 26: Bilan de la fertilisation MAFOR.....	68
Tableau 27 : Cheptel et gisement de MAFOR en quantité d'azote (source CGDD 2013)	98
Tableau 28 : Part des différents types d'effluents d'élevage (Esco MAFOR 2014)	99
Tableau 29: <i>Détail catégories de bétail utilisées pour l'étude</i>	102
Tableau 30: <i>Evolution de la consommation de viande (hors volaille) par français (source : France AgriMer 2018, Bouanchaud 2018)</i>	108
Tableau 31: <i>Part du marché international dans la structure des filières bovines (source : France AgriMer 2018 et Wisotzki 2019)</i>	109
Tableau 32 : <i>Deux scénarios possibles de la disponibilité en bois (source : IGN, GCBA, ADEME, 2016)</i>	119
Tableau 33 : <i>Résumé de la réglementation concernant l'épandage de cendres issues de chaufferies biomasse (Boulday et Marcovecchio 2016⁴⁹)</i>	121
Tableau 34 : <i>Analyse chimique de la composition des cendres sous foyer de chaufferies collectives au bois (Boulday et Marcovecchio, 2016⁶¹, ADEME 2005, Arrêté 1^{er} avril 2020)</i>	121

Tableau 35 : Répartition des cendres en fonctions des types de fours (Boulday et Marchovecchio 2016 ⁶¹)	122
Tableau 36 : quantité de cendres produites en fonction du type de biomasse (Boulday et Marchovecchio 2016 ⁶¹)	123
Tableau 37: Types de déchets produits dans les filières de potabilisation et d'assainissement de l'eau (source : ADEME 2014)	123
Tableau 38: Tonnages de boues produites, voies de valorisation existantes et part valorisée (source : ESCO Mafor 2014)	124
Tableau 39: Evolution rétrospective des quantités de boues de STEP produites et épandues (source : Esco Mafor 2014, De Caevel 2007)	128
Tableau 40: Récapitulatif des gisements de biodéchets gérés à domicile, collectés et non collectés	134
Tableau 41: Gisements des biodéchets des entreprises : totaux et valorisés (Source: Houot, Pons, et Pradel 2014)	135
Tableau 42: Principales voies de traitement applicables avant épandage aux MAFOR. Source ESCo MAFOR 2014	136
Tableau 43: Résumé des principales techniques de compostage. Source : ADEME 2015 Fiche technique compostage	140
Tableau 44: Résumé des coûts de méthanisation liés à l'investissement selon le type d'effluents traités. Source : ADEME 2015 Fiche technique méthanisation	141
Tableau 45: Caractéristiques des MAFOR selon les traitements. D'après ESCo MAFOR 2014	142
Tableau 46: Devenir des principales MAFOR brutes en 2011. Source ESCo MAFOR 2014	143
Figure 1 : Evolution de la teneur moyenne en matière organique des sols	8
Figure 2 : Approche générale de l'étude	13
Figure 3 : produits considérés dans le périmètre de l'étude	18
Figure 5 : Diagramme de Sankey des flux de MAFOR en matière brute, et en flux azotés jusqu'à leur utilisation par les cultures – STEU pour Station de Traitement des Eaux usées Urbaines, DMA pour Déchets Ménagers et Assimilés	20
Figure 6 : Modélisation de besoins en fertilisation azotée des cultures en France	20
Figure 4 : équation de calcul de la part de fertilisation MAFOR par le modèle	22
Figure 7: Principales catégories de freins au développement des MAFOR	25
Figure 8: Méthodologie d'élaboration des recommandations	25
Figure 9: Structuration des orientations stratégiques	26
Figure 10 : Sources et gisements de MAFOR agricoles. Source : ESCO MAFOR 2014	27
Figure 11 : Sources et gisements des MAFOR urbaines et industrielles. Source : ESCO MAFOR 2014. DMA pour Déchets Ménagers et Assimilés	28
Figure 12 : schématisation des flux d'azote issus de l'élevage	31
Figure 13 : répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinés à la valorisation agronomique en 2008 (Source Esco MAFOR 2014)	34
Figure 14 : Destination des boues de STEU en 2011. Source ESCO MAFOR 2014 Chapitre 1	34
Figure 15 : Répartition des quantités de boues de STEU destinées à la valorisation agronomique en 2011. Source ESCO MAFOR 2014 Chapitre 1	35
Figure 16 : Types de déchets inclus dans les déchets ménagers et assimilés	35
Figure 17 : bilan de la fertilisation MAFOR	44
Figure 18 : Répartition des apports en N, P et K en France selon leur origine	45

Figure 20: Evolution des de la commercialisation des fertilisants de 2010 à 2018 (en milliers de tonnes de produits) – Source : ANPEA	46
Figure 21 : Evolution des effluents d'élevage produits - Source : Agreste (nombre d'animaux), ANPEA (données effluents)	47
Figure 22 : Filière et chaîne d'acteur des MAFOR urbaines et industrielles	48
Figure 23 : Filière et chaîne d'acteurs des MAFOR agricoles	48
Figure 24 : Freins et leviers à la production et l'utilisation de MAFOR industrielles et urbaines	49
Figure 25 : Freins et leviers à la production et l'usage de MAFOR agricoles.....	49
Figure 26: Axes stratégiques	83
Figure 27 : valeur des F _{syst} pour le calcul du bilan azoté par l'équation du bilan du COMIFER.....	97
Figure 28 : signification des coefficients Km et F _{syst}	97
Figure 29: Evolution du nombre d'exploitants agricole et répartition des âges (source : SSP 2016)	104
Figure 30: Evolution du nombre d'exploitations, de la SAU et du volume de travail des exploitations d'élevage (Agreste)	105
Figure 31: Evolution des indices de prix de vente des produits et des intrants dans le secteur des gros bovins	106
Figure 32: Evolution de la production de viande en France entre 2000 et 2013	107
Figure 33: Evolution de la consommation de produits laitiers en France entre 2011 et 2018 (source : France AgriMer 2018).....	108
Figure 34: Les échanges de viande bovine de la France (milliers de tec, 2000-015) (source: FranceAgrimer 2018).....	109
Figure 35: Recomposition du cheptel bovin français (IDELE et CNE, 2019)	110
Figure 36: Evolution des différents cheptels depuis 1998 (Source : IDELE, CNIE 2019).....	111
Figure 37 : Evolution des surfaces en légumineuses fourragères pures	114
Figure 38 : Evolution des principales cultures de légumineuses à graines	115
Figure 39 : Devenir des déchets de bois du BTP (ADEME 2015) ⁶³	120
Figure 40: Evolution des volumes traités dans les filières de potabilisation et d'assainissement collectif en France (source : Da Costa 2015).....	126
Figure 41: Schéma des différents flux de déchets collectés.....	129
Figure 42: Composition des OMR en 2017 (Source: Bonnet et Viennois 2019).....	130
Figure 43: Evolution du nombre de centres de compostage des DMA (Source: Desplats et Mahé 2017) ..	133
Figure 44: Evolution des gisements de DMA et de la collecte et valorisation des biodéchets (Source: Houot, Pons, et Pradel 2014).....	135
Figure 45: Evolution et perspectives de dynamique du parc d'unités de méthanisation à la ferme et centralisées, en nombre d'unités construites et en MWe installés (source : ADEME 2017) – ancienne version de la PPE	138
Figure 46: Répartition du parc des plateformes de compostage en France (source : ADEME 2007)	139
Figure 47 : Répartition du parc des plateformes de méthanisation en France (source : SINOE).....	139
Figure 48 : Répartition géographique de la production d'effluents d'élevage récupérables en France en 2000-2001 .	139
Figure 49: répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinés à la valorisation agronomique en 2008	140
Figure 50 : Evolution des quantités de déchets envoyés en compostage et de composts produits (source : ADEME 2017).....	144
Figure 51 : Evolution du nombre de plateformes de compostage des DMA (source : ADEME 2017)	145

5. ANNEXE 3 – Précisions sur les calculs

Les Keq_{orga} utilisé dans le modèle ont été défini comme le différentiel entre le F_{syst} avec apport de MAFOR tous les 3-4ans et le F_{syst} sans apport de PRO, dans le cas où les résidus sont enfouis 1 an sur 2.

Fréquence des apports organiques exogènes Résidus de récolte	Jamais	5-10 ans		3-4 ans		1-2 ans		Facteurs multiplicateurs en +	
	Types de produit								
		A	BC	A	BC	A	BC	Retourne-ment prairie	CI
Enlevés-brûlés	0,80	0,95	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00	1,1	En cours d'étude
Enfouis 1 an sur 2	0,90	1,00	0,95	1,05	1,00	1,10	1,02	1,1	
Enfouis tous les ans	1,00	1,05	1,00	1,10	1,02	1,20	1,05	1,1	

Types de produits : A = fumiers et composts (décomposition lente) ; B et C = autres, ainsi que les fumiers de volaille (décomposition rapide). Dans le cas où plusieurs types de produits sont apportés (des A et des BC), alors on privilégie les types A. CI = couverts intermédiaires.
 Tableau 2 : Valeurs du facteur système F_{Syst} selon différents systèmes de cultures.
 Source : Azofert, 2005 (INRA)

Figure 26 : valeur des F_{syst} pour le calcul du bilan azoté par l'équation du bilan du COMIFER

Estimation de K_m

Le taux de minéralisation de l'azote organique humifié K_m a fait l'objet de nombreux travaux.

$$[9] \quad K_m = K_{m_{standard}} \times F_{syst}$$

Avec : $K_{m_{standard}}$ = taux de minéralisation de l'azote organique humifié standard (kg $N_{minéral}$ / (t $N_{organique}$ x JN))
 F_{syst} = facteur d'augmentation du pool d'azote organique rapidement minéralisable sous l'effet du régime de restitution organique du système de culture.

Figure 27 : signification des coefficients K_m et F_{syst}

6. ANNEXE 4 – Précisions sur données

Tableau 26 : Cheptel et gisement de MAFOR en quantité d'azote (source CGDD 2013)

	2010	
	UGB	ktN
Total	13 632 190	1 730
Bovins mâles	99 571	23,90
Bovins femelles	135 036	53,28
Veaux boucherie	42 367	5,34
Bovins mâles 1<x<2ans	439 736	66,90
Bovins femelles 1<x<2ans	1 225 746	130,78
Bovins >2 ans, mâles	341 406	41,59
Bovins >2 ans, femelles	1 646 881	133,06
Vaches laitières	3 698 362	442,40
Autres vaches	3 066 999	428,42
Total bovins	10 696 104	1 326
Equins	421 086	26,47
Brebis d'élevage	807 171	75,55
Autres moutons	550 372	9,48
Agnelles de souche	142 993	6,67
Chèvre d'élevage	123 993	11,61
Autres chèvres	89 145	2,55
Chevrettes pour la souche	32 243	1,51
Total autres	2 167 003	134
Porcelet moins 20 kg	18 433	14,93
Truies > 50 kg	177 934	23,42
Autres porcs	272 088	105,12
Total porcins	468 455	143
Poulet standard	55 394	28,48
Poulet AOC ou bio	24 465	15,38
Poules pondeuses	156 935	27,97
Poulettes	10 826	3,39
Canard à rôtir standard	10 353	11,03
Canard à rôtir AOC ou bio	17	0,02
Canard gavage standard	4 305	9,65
Canard gavage AOC ou bio	7 666	17,19
Dindes et dindons standard	14 975	5,57
Dindes/dindons AOC/bio	4 587	1,60
Oies standard	388	0,43
Pigeons et cailles standard	699	0,69
Pintades standard	1 599	0,83
Pintades AOC ou bi	2 659	1,56
Lapins	5 760	3,37
Total volaille	300 628	127

Tableau 27 : Part des différents types d'effluents d'élevage (Esco MAFOR 2014)

Type de donnée	Sous-composante	Valeur
Part de lisier dans les excréments récoltés en bâtiment	Porcins	42%
	Volaille	31%
	Bovins	10%
	Autres	10%
Part de fumier dans les excréments récoltés en bâtiment	Porcins	58%
	Volaille	69%
	Bovins	90%
	Autres	90%

7. ANNEXE 5 – PISTES D'APPROFONDISSEMENT DE L'ETUDE

Partie concernée	Commentaires des membres du comité de pilotage <i>Réponses en gras italique</i>
Introduction	Préciser les types de répercussions que pourrait avoir le règlement européen sur les matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) de 2019.
Unités massiques	Une partie des données est affichée en unités massiques en matière sèche et l'autre en brut. Les MAFOR sont la plupart du temps comptabilisées en Matière brutes. <i>Dans cette étude, les données en matière sèche ont été préférées afin de limiter les marges d'erreur liées à la conversion.</i>
Diagnostic de la situation actuelle	Il aurait été intéressant de comptabiliser les aliments importés pour l'élevage : si on relocaliser la production, on se privera aussi de la ressource minérale que représentaient ces importations (les minéraux se retrouvent dans les produits animaux et leurs déjections). De même les exportations de minéraux hors frontières par les exportations agricoles et agro-alimentaires auraient pu être prises en compte (ne reviendront pas aux sols sur le territoire national).
Diagnostic de la situation actuelle	Le taux de collecte des effluents d'élevage en bâtiments de 60% est-il réaliste ? En effet, il y a plus d'effluent produit en bâtiment liés au paillage tandis qu'en extérieur, ce sont uniquement les déjections. <i>Ce paramètre est déjà comptabilisé dans le modèle, car les pailles ont été comptabilisées à part (en masse).</i>
	La notion d' « arrière effet » est assez débattue dans la communauté scientifique.
	La prise en compte des Keq est assez débattue parmi les membres des comités de pilotage. Certains trouvent que leur utilisation fragilise les résultats, étant donné que la variation de stock d'azote liée à la minéralisation de l'azote du sol a été laissée de côté. Celle-ci a en effet été considérée comme nulle, on suppose que l'ensemble des réserves de matière organique du sol sont reconstituées à la fin de l'année. Une autre critique concernant les Keq c'est ce que sont d'avantage des indicateurs relatifs qu'absolus.
	Le Keq des digestats de méthanisation compostés sont assimilés à ceux de compost, bien que cette hypothèse ne soit pas vérifiée.
	Certains experts trouvent que le taux d'azote efficace (Keq) choisi pour les cendres, de 25%, est trop élevé.
	Certains experts ne sont pas d'accord avec le bilan qui est fait sur le lessivage des MAFOR, qui leur paraît surestimé. En effet, celles-ci sont généralement apportés au sol lorsque les plantes sont en phase de croissance, et donc au moment où elles en ont le plus besoin.
Cheptel	Ce serait intéressant de distinguer la part de diminution du cheptel viande – dont l'essentiel des effluents sont excrétés au pré - par rapport au cheptel laitier – dont les effluents sont récupérables pour une part plus importante.
	Les résultats proposés par le scénario sobriété locale (qui s'appuie sur les résultats du scénario TYFA) semblent peu cohérents avec des objectifs de sobriétés pour certains experts.
	Les résultats de la modélisation montrent que la demande en azote est plus faible dans le scénario tendanciel que dans le scénario transition ambitieuse, de part une diminution plus rapide de la SAU. Selon certains experts, ce résultat va à l'encontre de la logique des scénarios : en effet,

Assolement	dans le scénario tendanciel, la diminution de la SAU devrait être compensée par une intensification, et vraisemblablement un maintien de la fertilisation. Cette incohérence est due à la façon dont le modèle a été construit, et en particulier au niveau de détail auquel il va.
Biodéchets	La loi AGECE interdit le compostage de la fraction fermentescible d'ici 2027, du coup ce sont des gisements qui vont décroître fortement les années à venir.
Boues de stations d'épuration	Les volumes produits et la qualité des matières de vidange et de curage de canaux serait intéressante à récupérer, car la part susceptible d'être épandue semble très élevée.
Cendres	Les dioxines pourraient aussi faire l'objet d'encadrement et qui risque d'être problématique pour ces matières. Ces restrictions n'ont pas été intégrées aux scénarios.
	Il existe peut-être d'autres leviers à la mise en place effective d'épandage de cendres d'installations d'ICPE. Des retours d'expérience de gestionnaires d'ICPE n'ont pas été prévus dans le cadre de cette étude mais pourrait approfondir.
	La pollution au Chrome 6 n'a pas non plus été abordée.
Résultats et discussions	Est-ce cohérent de proposer un scénario de sobriété sans développement de la méthanisation ? Un scénario couplant un retour à la polyculture-élevage et combinant un fort développement des bioénergies pourrait être envisagé.
	Le fait de pouvoir faire des tests de sensibilité sur les Keq est assez débattue parmi les membres du comité de pilotage.
Recommandations de politiques publiques	La question du soutien au maintien des filières d'élevage se doit d'être couplée avec une orientation de la consommation de viande au sein du marché français. Toutefois, une évolution allant vers une diminution de la consommation de viande et de produits animaux est observée, et pourrait ne pas empêcher une diminution du cheptel.
	Collecter séparément de l'urine pour les épandages suppose de respecter l'arrêté de 1998. La possibilité concrète de respecter cet arrêté n'a pas été étudiée.
	Instaurer une taxe sur les fertilisants non issus de ressources renouvelables pourrait être infaisable concrètement, car créerait des distorsions de concurrence sur le marché international.
Conclusion	Les problématiques liées à la surfertilisation en P dans certaines situations n'ont pas été abordées.
Approche générale de l'étude	Regrettable de ne faire les calculs que sur le nutriment azote, d'autant que la dépendance de la France au nutriment phosphore est soulignée en introduction
	Les dates des données sont anciennes, en particulier pour les filières de compostage et de méthanisation.

8. ANNEXE 6 – Fiches variables clés

Fiche variable du cheptel en France

1. Définition

Le cheptel français est l'ensemble des animaux d'élevage de la France. Il peut être caractérisé par sa taille et sa composition.

Dans le cadre de cette étude, 4 catégories principales (bovins, ovins-caprins-équins, porcins, volailles) ont été définies à partir de catégories de la statistique agricole. Ces deux types de catégories et leurs correspondances sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 28: Détail catégories de bétail utilisées pour l'étude

Catégories utilisées pour le bilan du CGEDD	Catégories utilisées pour l'étude
Bovins mâles	Bovins
Bovins femelles	
Veaux boucherie	
Bovins mâles 1<x<2ans	
Bovins femelles 1<x<2ans	
Bovins >2 ans, mâles	
Bovins >2 ans, femelles	
Vaches laitières	
Autres vaches	
Equins	Ovins-Caprins-Equins
Brebis d'élevage	
Autres moutons	
Agnelles de souche	
Chèvre d'élevage	
Autres chèvres	
Chevrettes pour la souche	
Porcelet moins 20 kg	Porcins
Truies > 50 kg	
Autres porcs	
Poulet standard	Volaille
Poulet AOC ou bio	
Poules pondeuses	
Poulettes	
Canard à rôtir standard	
Canard à rôtir AOC ou bio	
Canard gavage standard	
Canard gavage AOC ou bio	
Dindes et dindons standard	
Dindes/dindons AOC/bio	
Oies standard	
Pigeons et cailles standard	
Pintades standard	
Pintades AOC ou bio	

2. Lien avec le système MAFOR du modèle

La variable cheptel est particulièrement importante car ce dernier joue un rôle premier plan dans la production de MAFOR à l'échelle nationale, les effluents d'élevage sont de loin la première source de MAFOR pour l'agriculture. En effet, en 2010, on estime que les effluents d'élevage épandus représentaient 98% du N, 95% du P et 97% du K utilisés sous forme de MAFOR en agriculture (en comptant la fixation symbiotique

pour le N)⁴³. Plus particulièrement, le cheptel bovin est le plus important fournisseur, les fumiers et lisiers de bovins récupérables représentant 69% du N, 52% du P et 74% du K apporté aux sols agricoles via les MAFOR.

La **taille** et la **composition du cheptel** servent de base pour établir la fertilisation MAFOR issue des effluents du cheptel. La chaîne de calcul se décompose comme suit :

1. Taille du cheptel (données CGEDD 2013⁴⁴)
2. Coefficients d'excrétions par animaux (CGEDD 2013)
3. Taux de collecte en bâtiment des effluents par type de cheptel (ESCO INRA 2014)
4. Pertes par volatilisation en bâtiment et au moment de l'épandage, modulées selon le type d'excrétion (fumier, lisier) et le type de cheptel (bovin, porcin, volaille) (ESCO INRA 2012⁴⁵)
5. Coefficients d'azote équivalent selon le type d'effluent (Comifer 2013⁴⁶)

Ces calculs donnent finalement le total d'azote effectivement disponible pour les cultures. A noter que des calculs similaires sont effectués avec les effluents excrétés en pâturages, afin d'intégrer la fertilisation MAFOR des prairies pâturées.

3. Indicateurs pertinents

Taille des différentes composantes du cheptel (bovins, porcins, volaille, autres...) **en milliers de tête ou en Unité de Gros Bétails (UGB)**.

4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures

Liste des facteurs influençant le cheptel

Les facteurs ayant une influence sur le cheptel sont les suivants :

- Le nombre d'exploitations agricoles d'élevage, lui-même dépendant de :
 - La nécessité de réaliser des sauts d'investissements pour maintenir une exploitation agricole viable, elle-même liée à la mise en concurrence de l'élevage français avec d'autres régions du monde, et du découplage des prix de vente avec le prix d'achat des intrants
 - L'évolution de la démographie et le départ à venir d'un nombre important d'agriculteurs, avec une difficulté de transmission des exploitations
 - Des exigences accrues sur le plan environnemental
- L'adéquation entre l'offre en produits animaux, étrangère et d'origine française, et la demande au sein du marché intérieur et à l'export. Elle-même dépend de :
 - La demande en produits animaux sur le marché intérieur (en quantité et en type de productions concernées)

⁴³ ESCO INRA 2014, Chapitre 1

⁴⁴ CGEDD, 2013. Observation et statistiques, n°448, septembre 2013. Chiffres et statistiques, Les surplus d'azote et les gaz à effet de serre de l'activité agricole en France métropolitaine en 2010

⁴⁵ ESCO INRA, 2012. Les flux d'azote liés aux élevages. Réduire les pertes, rétablir les équilibres

⁴⁶ Comifer, 2013. Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales

- La demande en produits animaux à l'export (en quantité et en type de productions concernées)
- L'offre disponible en produits animaux français, et en particulier leur prix
- L'offre disponible en produits animaux d'origine étrangère importés, et leur éventuelle compétition avec les produits issus de l'élevage français
- Le mode d'élevage, qui influence la quantité de lisier et de fumier produits via la ration alimentaire et le temps passé au pâturage et en bâtiments. Ce facteur est caractérisé, entre autres, par la taille des exploitations (ha), des troupeaux (UGB), le mode de conduite des animaux (temps passé au pâturage, rations alimentaires et origine de l'alimentation, méthodes de reproduction...), le niveau d'investissement des exploitations agricoles. Il dépend lui-même des facteurs suivants :
 - L'arrivée de nouvelles techniques
 - La nature des productions animales rencontrant une demande sur le marché intérieur et à l'export

Liste des facteurs influencés par le cheptel

Au sein du modèle MAFOR, les facteurs influencés par le cheptel sont les suivants :

- Le nombre d'unités de méthanisation
- L'assolement

Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable

Facteurs influençant le nombre d'exploitations d'élevage

Une nécessité de réaliser des sauts d'investissements pour maintenir la viabilité des exploitations agricoles

Le nombre d'exploitations est en constante diminution depuis des décennies. En outre, le nombre d'exploitants et de co-exploitants a diminué de 26% entre 2000 et 2016.

en % du nombre d'actifs

	Chefs d'exploitation et coexploitants		
	2000	2010	2016
Nombre de personnes	764 000	605 000	564 000
Répartition par classe d'âge			
Moins de 40 ans	26,1	19,3	17,5
40 à 59 ans	53,5	60,7	57,1
60 ans et plus	20,5	20,0	25,3
Taux de féminisation	24,4	26,7	26,7
Temps de travail			
Moins de 1/4 de temps	23,0	20,6	19,7
Temps complet	54,7	61,4	61,6

Champ : France métropolitaine.
 Note : des précisions sur l'enquête structure sont données dans la rubrique "Définitions" de cette fiche.

Figure 28: Evolution du nombre d'exploitants agricole et répartition des âges (source : SSP 2016)

Cette diminution du nombre d'exploitations suit une logique enclenchée lors de la révolution agricole du 20^e siècle, pendant laquelle les techniques de mécanisation et de la révolution industrielle ont été appliquées à l'agriculture. Elles ont permis une augmentation de la productivité du travail par exploitant, et donc d'une plus grande capacité d'exploitation : de 50 ha par actif en 1960 à 200 ha par actif en 2000, ce qui s'est accompagné d'une augmentation de la taille des exploitations : de 14 ha en moyenne par exploitant en 1955 contre 42 ha en 1997⁴⁷.

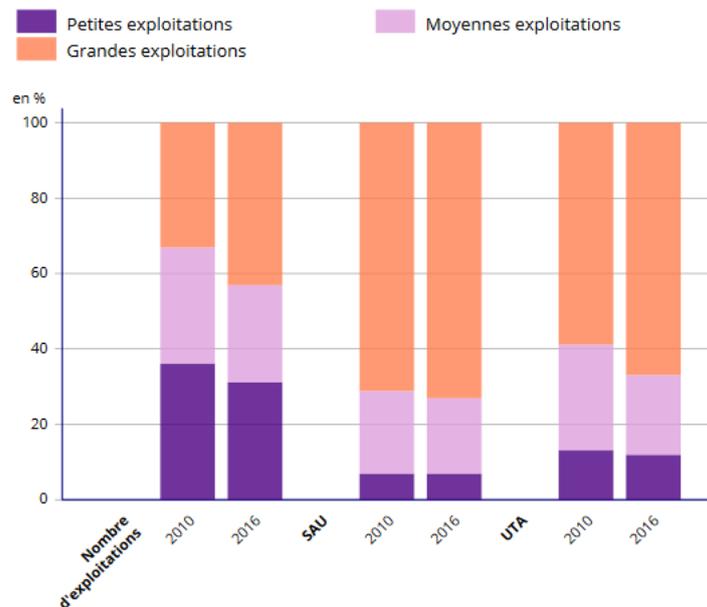


Figure 29: Evolution du nombre d'exploitations, de la SAU et du volume de travail des exploitations d'élevage (Agreste)

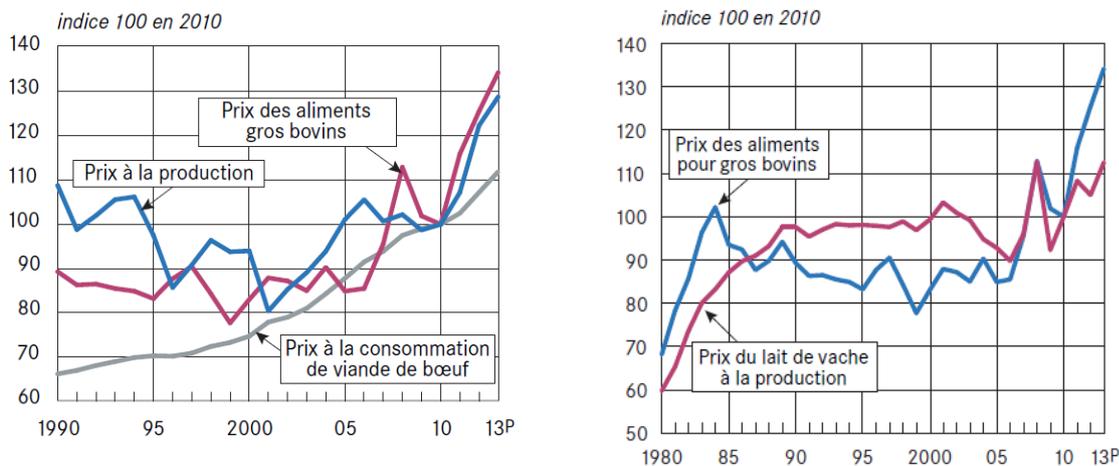
A partir de 1992, les réformes successives de la PAC ont mis progressivement fin aux mécanismes de soutien des prix. Cela a fait entrer l'agriculture française dans une logique de mondialisation, avec des prix agricoles qui se sont alignés peu à peu sur les cours mondiaux, dont la volatilité est forte.

Un autre effet a été de mettre en concurrence les producteurs français avec ceux d'autres régions du monde, au sein de l'Union Européenne comme en dehors.

De plus, les années 2000 ont marqué le début d'une augmentation plus forte du prix d'achat des « intrants » que celui des prix de vente, comme le montrent les graphiques ci-dessous :

⁴⁷ Bourgeois, Lucien, et Magali Demotes-Mainard. 2000. « Les cinquante ans qui ont changé l'agriculture française ». *Économie rurale* 255 (1): 14-20. <https://doi.org/10.3406/ecoru.2000.5151>.

Prix dans le secteur des gros bovins



Sources : Agreste et Insee pour Ippap et Ipampa, Insee pour IPC.

Figure 30: Evolution des indices de prix de vente des produits et des intrants dans le secteur des gros bovins

Ces deux phénomènes ont conduit à diminuer la valeur ajoutée produite (par tête de bétail par exemple), et donc les marges des exploitations. Les exploitants tendent à le compenser par une augmentation de la taille de leur exploitation lorsque cela leur est possible : lorsqu'ils ont le temps et la capacité d'investissement nécessaires. En revanche, de nombreuses exploitations ont arrêté leur activité au cours du 21^e siècle. Il s'agit des moins compétitives : souvent de celles dont la taille est la plus modeste, ou qui ne parviennent pas à réaliser les investissements requis pour atteindre un niveau plus élevé de productivité.

L'évolution de la démographie avec une difficulté à la transmission des exploitations

Le vieillissement des exploitants en France présage d'une continuité dans la diminution du nombre d'exploitants et du nombre d'exploitations. En effet, un agriculteur sur deux prendra sa retraite dans les 10 années à venir⁴⁸.

La question de la rémunération freine l'engagement des jeunes générations. La grande majorité des éleveurs ne parvient pas à dégager suffisamment de revenu alors que les conditions de travail sont difficiles et exigeantes. De plus, la grande taille des exploitations complique la transmission, car le niveau d'investissement initial est très important, alors que la marge dégagée est faible.

Des exigences accrues sur le plan environnemental

D'autres facteurs pourraient également être en cause : une réglementation de plus en plus contraignante, en particulier concernant le volet environnemental, et une image dégradée du métier d'agriculteur en lien avec une forte remise en cause des pratiques agricoles.

Facteurs influençant l'adéquation entre l'offre en produits animaux, étrangère et d'origine française, et la demande au sein du marché intérieur et à l'export

Le cheptel français est lié à la demande en produits animaux sur le marché intérieur, mais également à l'export. Des effets de compensation peuvent advenir, une augmentation des exportations permettant de compenser une baisse de la consommation interne par exemple.

⁴⁸ *Le Monde.fr*. 2019. « Le départ en retraite d'un agriculteur sur trois d'ici trois ans va bouleverser le paysage agricole », 6 avril 2019

Toutefois, cet aspect quantitatif est à compléter par une étude qualitative des types de productions considérées, en comparaison avec l'offre disponible en produits issus de l'importation. En effet, certains produits animaux français peuvent avoir un coût de production plus élevé, et donc les rendre non compétitifs face à des productions d'autres pays européens, voire non européens. Au contraire, une demande accrue en produits de qualité (issus de filières nationales ou d'autres labels) peut contribuer à soutenir le cheptel français par rapport à des productions importées.

Une diminution de la demande en produits animaux en France

Le graphe ci-dessous montre que la consommation a légèrement diminué depuis 1980 – 1990, tandis que la diminution de la production de viande a été forte.

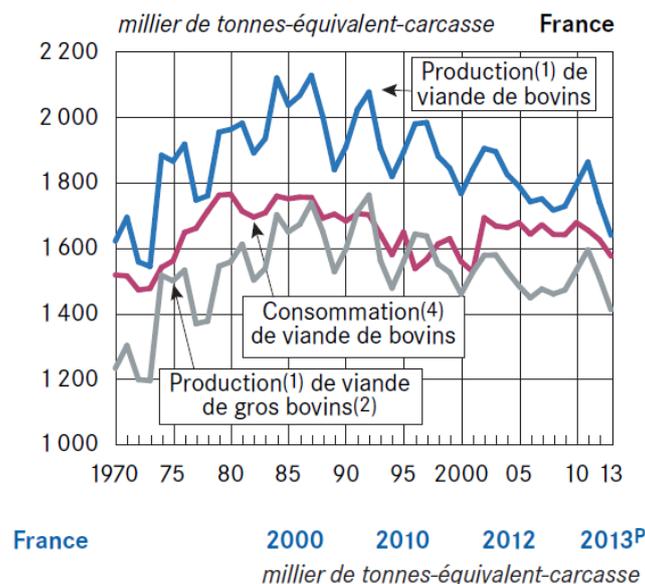


Figure 31: Evolution de la production de viande en France entre 2000 et 2013

Toutefois, les habitudes alimentaires françaises continuent d'évoluer : si la consommation de viande en France semble s'éroder depuis plusieurs années, elle rebondit en 2018 à la faveur d'une modification du mode de consommation allant vers plus de restauration hors domicile ou au travers de plats préparés.

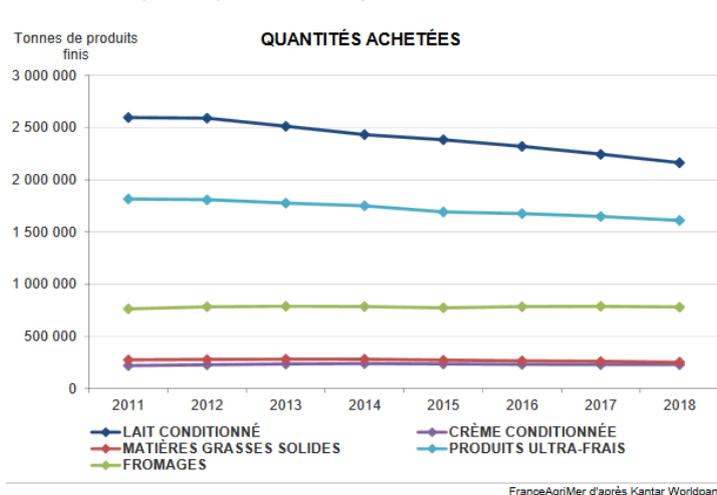
La demande en produits animaux des consommateurs peut être influencée par plusieurs facteurs : on peut y compter le pouvoir d'achat des consommateurs, relié au contexte économique global, un pouvoir d'achat faible favorisant les substitutions des produits animaux importés, ou encore l'influence des mouvements de défense des animaux (FranceAgriMer, 2018), la prise de conscience récente par les consommateurs français des impacts environnementaux de l'élevage.

Selon la prospective filière viande bovine de France AgriMer, la consommation moyenne de viande en France hors volaille diminue d'année en année. Cette dynamique rejoint le Plan National de l'Alimentation et de la Nutrition (PNAN), publié par le gouvernement en Septembre 2019, qui établit des objectifs de consommation alimentaire des français à horizon 2030.

Tableau 29: Evolution de la consommation de viande (hors volaille) par français (source : France AgriMer 2018⁴⁹, Bouanchaud 2018⁵⁰)

	2007	2010	2013	2016	2030 (PNAN)
Consommation viande (g/semaine)	823	816	771	707	500

Or, les dynamiques de la filière viande dépendent étroitement des évolutions de la filière des bovins laitiers et des filières qui en découlent, telles que le veau et la vache de réforme. Ainsi, le cheptel bovin est en partie dimensionné par la différence entre les besoins de viande bovine et la production de viande du troupeau laitier. Il reste toutefois une différence de qualité et de type de viande produite, qui maintient une demande en viande spécifique à l'élevage allaitant.



En ce qui concerne les produits laitiers, la demande reste stable pour les produits transformés, mais connaît une tendance à la baisse pour le lait.

Figure 32: Evolution de la consommation de produits laitiers en France entre 2011 et 2018 (source : France AgriMer 2018⁵¹)

Cette baisse de la demande reste toutefois à relativiser, puisque le lait conditionné ne représente que 10% de la collecte. En revanche, 37% du lait produit part à destination de la fabrication de fromage, 20% à destination de beurre et de matières grasses laitières, 17% à destination de poudres de lait lactosérum et 14% à destination de crèmes, yaourts et desserts lactés⁵²

Un grand rôle des échanges internationaux dans l'organisation des marchés, sans évolution tendancielle nette

Les marchés internationaux jouent un rôle essentiel dans la structure de l'élevage français, en impactant directement le prix des intrants et la demande en produits animaux. Les principaux facteurs d'influence sont le prix du pétrole, l'ouverture ou la fermeture de certains marchés où la France est exportatrice. La concurrence avec les produits importés, issus d'un mode de production parfois plus compétitif et représentant un coût moins élevé que les produits français, pèse sur les exploitations françaises.

Un des exemples notable de ces impacts a été le développement de marchés d'engraissement de viande bovine en Italie et en Espagne. Cela a généré un abandon général des ateliers d'engraissement français,

⁴⁹ France AgriMer, 2018. Les synthèses de FranceAgriMer, Prospective filière viande bovine.

⁵⁰ Bouanchaud C., 2018, La consommation de viande en France recule depuis 10 ans, Le Monde

⁵¹ France AgriMer, 2019. Données et bilans : Consommation de produits laitiers en 2018.

⁵² « Où va Le Lait de Vache Collecté et Transformé En France ? » s. d. Idele.Fr. Consulté le 3 juillet 2020. http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/ou-va-le-lait-de-vache-collecte-et-transforme-en-france.html.

moins compétitifs. Les éleveurs français se sont alors tournés vers la vente d'animaux plus jeunes (produits non « finis »), qui ont une plus faible valeur ajoutée.

Un autre effet de compétition majeur est celui de la concurrence directe des élevages allaitants français avec les élevages irlandais et polonais.

L'importance des marchés internationaux dans la structure de l'élevage français peut être résumée par le tableau ci-dessous, qui présente la part des importations et des exportations dans les marchés de produits laitiers et de viande bovine :

Tableau 30: Part du marché international dans la structure des filières bovines (source : France AgriMer 2018 et Wisotzki 2019⁵³)

	Viande bovine	Produits laitiers (équivalent lait liquide)
Part exportation dans la production	17%	40%
Part importation dans la consommation	22%	30%

Les évolutions des marchés internationaux ne présentent pas de tendance nette, comme le montre le cas de la viande bovine sur la figure ci-dessous :

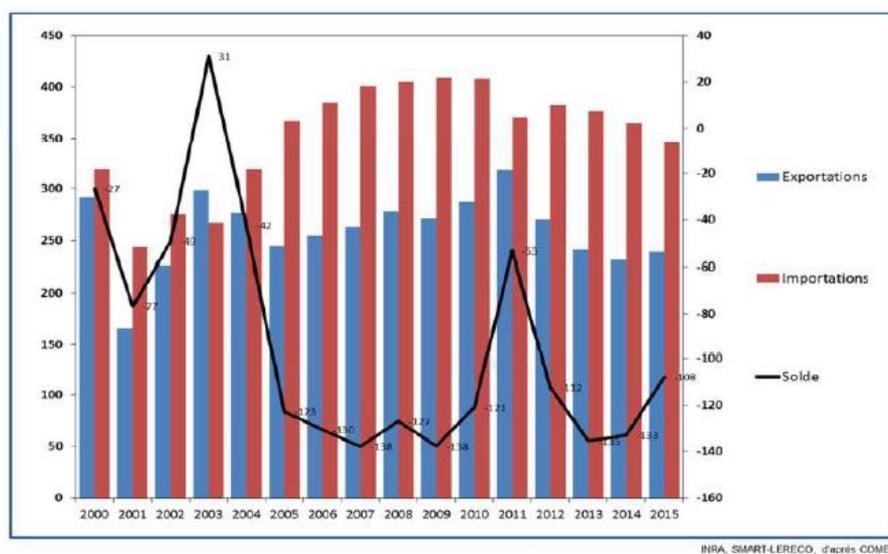


Figure 33: Les échanges de viande bovine de la France (milliers de tec, 2000-015) (source: FranceAgrimer 2018)

Facteurs influençant les modes d'élevage

Les modes d'élevage sont caractérisés par de nombreux éléments qui relèvent du mode de fonctionnement des exploitations agricoles, et qui sont donc interdépendants. Il s'agit, entre autres, de la taille des exploitations (ha) et des troupeaux (UGB), du mode de conduite des animaux (temps passé au pâturage,

⁵³ Wisotzki N., 2019, Marché des produits laitiers, lait français vs importations : où en est-on ?, Web-agri, <http://www.web-agri.fr/observatoire_marches/article/lait-francais-vs-importations-ou-en-est-on-1929-164245.html> (consulté le 30/04/2020)

rations alimentaires et origine de l'alimentation, méthodes de reproduction...) et des cultures, du niveau d'investissement des exploitations agricoles (bâtiments, machines), des débouchés...

L'arrivée de nouvelles techniques

Les effets de la révolution verte sur la taille et le nombre des exploitations agricoles ont déjà été évoqués dans cette fiche. Toutefois, elle a également modifié profondément les modes d'élevage, à travers l'arrivée simultanée de plusieurs techniques :

- Des améliorations génétiques, qui ont permis un changement de races du cheptel vers des races plus productives.
- Un changement des rations alimentaires avec une généralisation de l'alimentation à base de maïs, et une réduction du temps passé au pâturage. Ce changement a été rendu possible à la fois par l'augmentation des rendements en céréales, et par la généralisation de bâtiments d'élevage plus grands et avec un affouragement facilité.

La nature des productions animales rencontrant une demande sur le marché intérieur et à l'export

Comme expliqué précédemment, les dynamiques de marché international et au sein du territoire jouent un rôle essentiel, à la fois sur le nombre d'exploitations agricoles, mais également sur les modes de production.

L'un des effets notables de ces dernières années est un changement des races de bovins, avec un passage de races très productives Charolaises et Prim'Holstein à des races plus rustiques, comme le montre la figure ci-dessous.

Source : SPIE-BDNI, traitement Institut de l'Élevage

Type racial	2009	2019	Évolution 2019/2009	% du total 2019
Prim'Holstein	2 552	2 379	- 7 %	31 %
Charolaise	1 626	1 410	- 13 %	18 %
Limousine	1 011	1 101	+ 9 %	14 %
Montbéliarde	666	618	- 7 %	8 %
Blonde d'Aquitaine	485	474	- 2 %	6 %
Normande	438	309	- 30 %	4 %
Salers	198	216	+ 9 %	3 %
Aubrac	146	214	+ 47 %	3 %
Croisée*	635	599	- 6 %	8 %
Autres types raciaux	316	308	- 3 %	4 %
Total	8 072	7 628	- 6 %	100 %

* Calcul basé non pas sur les déclarations mais sur la race des parents.

Figure 34: Recomposition du cheptel bovin français (IDELE et CNE, 2019) ⁵⁴

5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé

L'historique récent du cheptel (2000-2013) issu de données Agreste est présenté ci-dessous.

⁵⁴

Idele, et CNE. 2019. « Les chiffres clés du GEB: Bovins 2019: Productions lait et viande ».

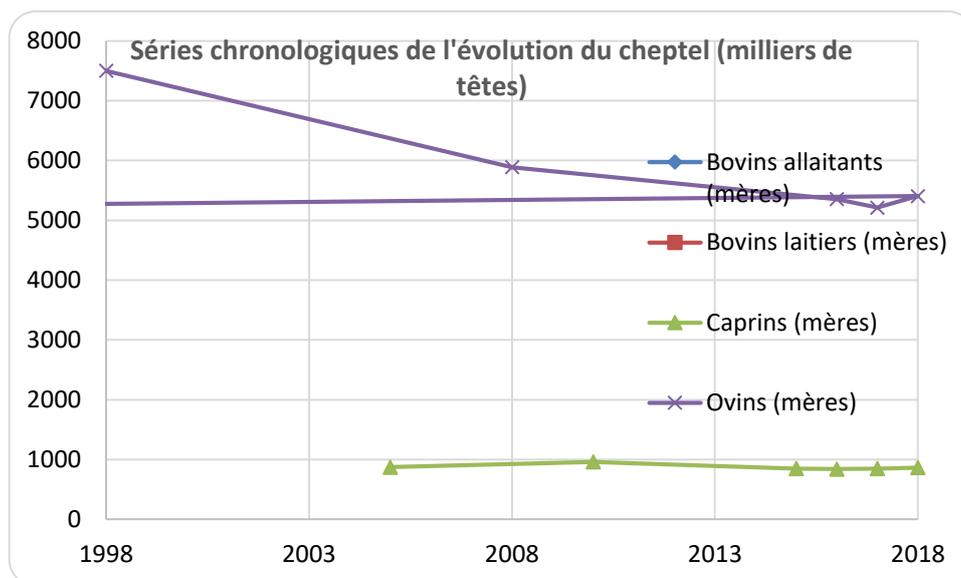


Figure 35: Evolution des différents cheptels depuis 1998 (Source : IDELE, CNIE 2019⁵⁵⁵⁶)

Ce graphique montre que depuis les années 2000, des tendances lourdes peuvent être identifiées :

- Le cheptel bovin allaitant est stable, tandis que les bovins laitiers diminuent (-0.85% par an)
- Le cheptel caprin est relativement stable (-0.07% par an)
- Le nombre d'ovins diminue très fortement (-1.4% par an)

D'autres sources⁵⁷ montrent que l'effectif de volailles, après avoir connu un fort déclin sur la période 2000-2006, ont fortement progressé de 2006 à 2013 (+7%). L'hypothèse choisie comme tendance lourde est une stabilisation au niveau actuel.

Enfin, les effectifs porcins connaissent, eux aussi, une forte diminution (-2,25% par an)⁵⁸.

En termes de production de MAFOR, la catégorie « bovin » est celle qui représente le plus gros gisement. La baisse structurelle du cheptel bovin générerait une diminution du gisement de MAFOR d'élevage.

Fiche variable de l'assolement en France

1. Définition

L'assolement est un terme désignant la répartition des différentes cultures au sein d'un ensemble de parcelles. Dans cette fiche, nous étudions l'assolement de la « ferme France », ce qui correspond à la répartition des cultures dans l'ensemble des surfaces cultivées en France.

⁵⁵ Idele, et CNE. 2019. « Les chiffres clés du GEB : Ovins 2019 : Productions lait et viande ».

⁵⁶ Idele, et CNE. 2019. « Les chiffres clés du GEB : Caprins 2019 : Productions lait et viande ».

⁵⁷ ESCo INRA, 2014. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier.

⁵⁸ Roguet, Christine. 2017. « Evolution des modèles d'exploitations porcines en France sous l'effet des contraintes économiques et réglementaires depuis 2008 », 6.

2. Lien avec le système MAFOR du modèle

Cette variable est une des composantes principales de la demande en éléments fertilisants, ce qui explique son influence sur le système MAFOR dans le modèle. Elle est multipliée aux besoins unitaires des cultures pour calculer la demande globale en éléments fertilisants, organiques et minéraux.

3. Indicateur pertinent

L'indicateur retenu pour traiter cette variable est la surface occupée par les différents types de cultures (ex : grandes cultures, prairies permanentes, légumineuses...).

Cet indicateur peut être exprimé **en valeur absolue**, ainsi qu'en **pourcentage de la Surface Agricole Utile (SAU)**. La SAU est un concept statistique destiné à évaluer le territoire consacré à la production agricole. La SAU est composée des terres arables (grandes cultures, cultures maraichères, prairies temporaires), des surfaces toujours en herbe (prairies permanentes, alpages) et des cultures pérennes (vignes, vergers...). En revanche, elle exclut les bois et les forêts.

4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures

Liste des facteurs influençant et influencés par l'assolement

Les surfaces en différentes cultures sont influencées par :

- Les facteurs d'influence de la SAU globale :
 - L'artificialisation des terres agricoles
 - La déprise des terres agricoles
- Les facteurs d'influence de la répartition des cultures au sein de la SAU
 - Les évolutions de l'élevage français
 - La compétitivité relative des cultures
 - L'évolution des surfaces en agriculture biologique
 - Les conditions climatiques

Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable

Les facteurs d'influences de la SAU globale

L'artificialisation des terres agricoles

La surface des sols artificialisés n'a cessé d'augmenter depuis 1992 : elle est ainsi passée de 6.9% à 9.4% du territoire métropolitain en 2015, d'après les enquêtes Tetri-Lucas⁵⁹. Les chiffres montrent que **cette artificialisation se fait au détriment uniquement des surfaces agricoles**, puisque la part des zones boisées, zones humides ou en eau reste stable. Les surfaces artificialisées sont majoritairement utilisées par de l'habitat (42% des surfaces artificialisées estimées), des transports (28%) et du foncier de services (16%)⁶⁰.

Ce phénomène est dû à plusieurs facteurs : d'une part, l'augmentation de la population et d'autre part l'augmentation de la surface artificialisée par habitant, aussi appelée « effet d'étalement à population égale ». Cet étalement s'explique par plusieurs phénomènes : la préférence donnée à la maison individuelle,

⁵⁹ INSEE. 2019. « Artificialisation des sols – Indicateurs de richesse nationale ». 12 2019. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3281689?sommaire=3281778#tableau-figure1>.

⁶⁰ Fosse, Julien. 2019. « OBJECTIF « ZÉRO ARTIFICIALISATION NETTE » : QUELS LEVIERS POUR PROTÉGER LES SOLS ? », 54.

les déplacements de population sur le territoire (mouvement général vers les pôles urbains), les résidences secondaires et les terres agricoles liées, et plus généralement l'augmentation des surfaces de jardin, routes, ou parkings⁶¹.

Bien que, selon les indicateurs, la progression des surfaces artificialisées se situe entre 0.6% et 1.1% par an⁴¹, des politiques d'urbanisme tentent de contenir cette dynamique. En effet, l'Etat détient deux leviers d'action efficaces : la régulation du différentiel de prix de foncier et l'utilisation du bâti existant sous-exploité. Des instruments de politique publique sont déjà en place : les schémas de cohérence territoriale (SCOT) et les plans locaux d'urbanisme qui fixent désormais des objectifs chiffrés de densification et de lutte contre l'étalement urbain⁴².

En utilisant les données d'enquêtes Tetri-Lucas sur 2007-2015, France Stratégie a proposé en Juillet 2019 une **modélisation de l'artificialisation des terres d'ici 2030**, en suivant différents scénarios. Le **scénario tendanciel** donne une estimation de **20 000 ha artificialisés en plus par rapport à 2016**, tandis que le **scénario le plus ambitieux** donne une estimation à **3700 ha de plus qu'en 2016**⁴¹.

La déprise des zones agricoles difficiles, permettant une augmentation de la surface en forêts

A partir de la révolution verte, la généralisation de la moto-mécanisation a provoqué l'abandon des surfaces agricoles les plus difficiles, notamment en montagne ou dans les pentes de coteaux. Cette déprise se fait au profit de l'augmentation des boisements forestiers, accompagnés notamment par le Fond Forestier National (concerne 2 millions d'ha entre 1947 et 1999).

Cette dynamique de boisement a commencé au début du XXe siècle puisqu'en en 1908, la forêt ne couvrait que 19% du territoire (10 millions d'hectares). Aujourd'hui, la surface forestière en France représente 16, 8 millions d'ha (avec une incertitude statistique d'environ 100 000 ha), ce qui équivaut à 31% de la surface française⁴³.

Entre 1908 et 1985, la forêt s'est étendue à un rythme moyen de 50 000 ha par an en moyenne. Cette augmentation s'est encore **accélérée entre 1985 et 2005, atteignant 90 000 ha de forêt** en plus par an pour atteindre 16 millions d'ha en 2005. **Entre 2005 et 2018, la forêt augmente en moyenne de 60 000 ha par an**⁶².

Ainsi, si la dynamique actuelle se poursuit, la surface totale de forêts en 2035 pourrait atteindre 17,7 millions d'ha. Toutefois, cette augmentation étant le résultat d'importants changements des structures agricoles du siècle précédent, il est fortement probable que cette dynamique ralentisse fortement.

On constate encore aujourd'hui un transfert de la catégorie « landes » vers la catégorie « forêt » : un effet à retardement de la déprise agricole des décennies passées, qui voit les champs passer sous le statut de landes avant de devenir une forêt véritable⁴².

Les facteurs d'influence de la répartition des cultures au sein de la SAU

L'évolution de l'élevage français

Ce facteur est abordé à la fois d'un point de vue du nombre d'animaux, mais aussi du mode d'élevage.

Evolution du nombre d'animaux

⁶¹ Couturier, Christian, Madeleine Charru, Sylvain Doublet, et Philippe Pointereau. 2016. « Le scénario Afterres 2050 version 2016 ». <https://afterres2050.solagro.org/>.

⁶² Institut National de l'Information Géographique et Forestière. 2019. « Le Mémento: Inventaire Forestier ». <https://fr.calameo.com/read/00118858223442f45bd21?page=1>.

Le cheptel joue un rôle majeur dans l'assolement français : la taille ainsi que le type d'alimentation influencent fortement les besoins en fourrages produits. Ainsi, il était estimé en 2009 que 2/3 des céréales et la majorité des oléo-protéagineux étaient **destinés à l'alimentation animale**, ce qui représentait près de **75% de la SAU nationale**.

Des années 50 aux années 90, l'alimentation du cheptel s'est de plus en plus basée sur les céréales au dépend des prairies. Au niveau des exploitations, ce phénomène s'est traduit par des retournements de prairies au profit de cultures céréalières. Cette « **céréalisation de l'élevage** » s'est stabilisée à partir de 1995⁶³.

Ainsi, les dynamiques d'élevage jouent un rôle majeur dans l'assolement, et en particulier dans la part de céréales et d'oléo-protéagineux.

Evolution des modes d'élevage

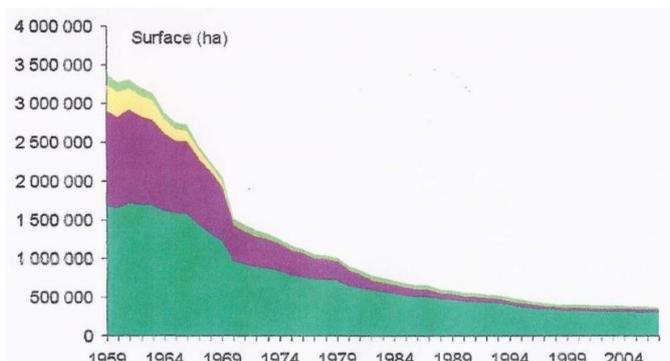
Les modes d'élevage ont beaucoup évolué depuis les années 50, avec une augmentation du temps passé en bâtiments par rapport au pâturage sur les prairies permanentes. Or ces pratiques de pâturage limitent l'enrichissement des prairies, en particulier dans les zones difficiles. A l'avenir, une demande accrue des consommateurs pour de la viande produite de manière extensive (AOP, AOC, HVE...) permettrait de maintenir ces surfaces.

La compétitivité relative des cultures

La compétitivité relative des cultures dépendant de nombreux mécanismes. Les effets d'ouverture sur les marchés mondiaux, de soutiens économiques et d'émergence de nouvelles filières énergétiques sur l'assolement sont étudiés ci-dessous.

Compétitivité internationale de la culture des protéines végétales

Les changements de mode d'élevage, et les accords du GATT en 1962 qui autorisent l'entrée d'oléagineux et de leurs sous-produits (notamment les tourteaux de soja) dans la CEE sans droits de douane, ont poussé à l'import de protéines végétales américaines et brésiliennes plutôt qu'à leur production sur le territoire français et européen pour nourrir le bétail français. La surface en légumineuses n'a cessé de diminuer depuis 1960, passant de 17% de la SAU



à moins de 2% en 2012⁶⁴. **Figure 36 : Evolution des surfaces en légumineuses fourragères pures**

de 2% en 2012⁶⁴.

⁶³ Poux, Xavier, Dominique Tristant, et José Ramanantsoa. 2009. « Assolement et rotations de la "ferme France" », décembre, 6.

⁶⁴ « Les légumineuses et la PAC ». 2016. <https://www.agropolis.fr/pdf/actu/legumineuses-grand-sud/bernard-bourget.pdf>.

Ce phénomène est majoritairement dû à une diminution des légumineuses prairiales, comme l'atteste la figure 37.

Cet effet d'abandon des légumineuses a été d'autant plus notable qu'un certain nombre de freins limitent le développement des filières de légumineuses en France. A l'échelle des exploitations, on compte la nécessité de réaliser de forts investissements dans les outillages de production et de transformation (triage, séchage en grange, toastage du soja...), la sensibilité des cultures aux maladies (gamme variétale restreinte) et aux conditions climatiques (accès à l'eau nécessaire pour le soja), et une absence de régularité dans la quantité et qualité des protéines qui peuvent être conduites localement. A l'échelle des filières, les prix restent pour l'instant trop peu rémunérateurs pour créer un réel effet incitatif à la mise en culture, et les co-produits sont encore peu valorisés.

Plusieurs plans de relance des protéagineux ont vu le jour en Europe, sans toutefois parvenir à lever l'intégralité de ces freins ni à compenser la baisse très importante des cultures de légumineuses. Toutefois, ils ont permis le développement de quelques productions, notamment les pois protéagineux (voir figure 38).

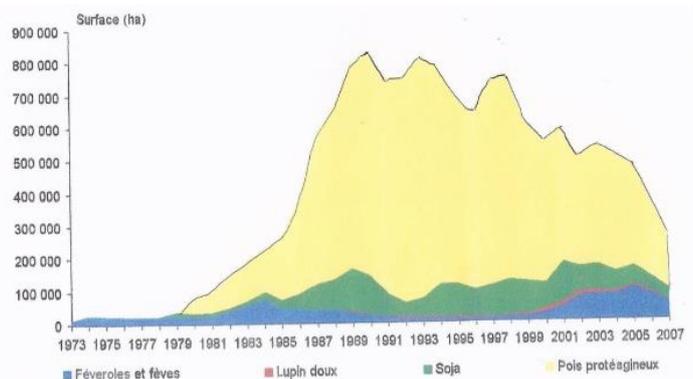


Figure 37 : Evolution des principales cultures de légumineuses à graines

Une demande française pour des protéines végétales

A l'avenir, une baisse de la consommation de viande pourrait s'accompagner d'un rééquilibrage alimentaire, avec une demande accrue en légumineuses pour l'alimentation humaine⁴⁴.

Cette dynamique pourrait constituer un soutien à la production des protéagineux français, dont l'effet reste faible en regard de l'importance que représente l'alimentation humaine en regard de l'alimentation animale.

Le cas des filières énergétiques

En 2017, la filière des biocarburants représentait 2.4% de la SAU française, avec plus de 170 000 ha dédiés au bioéthanol et près de 520 000 ha au biodiésel. Le développement de ces filières pourrait accroître la demande en colza, maïs, blé et betterave. Par ailleurs, la France connaît un développement des méthaniseurs, dont il est complexe d'évaluer la demande en intrants végétaux et les surfaces qu'ils représentent.

Ces filières pourraient constituer un soutien à l'élevage à travers deux phénomènes : leurs sous-produits (drèches, tourteaux, etc.) sont facilement valorisables, et la méthanisation peut constituer un revenu complémentaire aux éleveurs. Par ailleurs, le développement des filières de biocarburants pourrait pousser au développement de filières de protéagineux, car certaines associations d'oléagineux et de protéagineux sont particulièrement intéressantes en élevage (pois- tourteau de colza en porc par exemple)⁵⁷.

Un autre effet pourrait jouer en faveur des céréales par rapport aux prairies : un « effet prix » qui couplerait le prix des céréales et du colza au prix du pétrole⁵⁷.

L'évolution des surfaces en agriculture biologique

En agriculture biologique, les engrais minéraux issus de ressources finies sont interdits. Ainsi, une augmentation de ces surfaces permettrait d'augmenter la part de fertilisation en MAFOR sur le territoire français.

Les surfaces en agriculture biologique ont fortement augmenté depuis les années 2000, tirés par une demande en hausse. La SAU (surface agricole utile) bio a été multipliée par 2,7 entre 2003 et 2018⁶⁵. Au total, 41 600 exploitations sont engagées en bio dans toute la France, ce qui représente près de 9,5% des exploitations. Plus de 2 millions d’hectares sont concernés.

Le changement climatique

Depuis les années 2000, les effets du changement climatique ont été visibles sur les rendements agricoles⁶⁶. Or, certaines cultures ont un besoin en éléments fertilisants proportionnel au rendement espéré. A l’avenir, une stagnation voire une diminution des rendements limiteraient le besoin en fertilisants.

5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé

Evolution de la SAU globale

La SAU globale n’a cessé de diminuer depuis les années 1960, où elle atteignait 34.5 millions d’hectares en 1960 (soit 61.9% de la surface totale française) à cause des phénomènes d’artificialisation des terres et de déprise des zones agricoles difficiles. Elle représente aujourd’hui environ 28 644 milliers d’hectares, soit 53 % du territoire national⁶⁷.

Compte-tenu de la prospective sur les facteurs de la SAU, celle-ci pourrait atteindre en 2035 entre 28,08 et 29,00 millions d’hectares (voir tableau ci-dessous).

	SAU minimale (2035) en millions ha	SAU maximale (2035) en millions ha
SAU Actuelle (donnée 2019)	28,6	28,6
Artificialisation	- 0.0200	- 0.0037
Boisements	- 0.9	- 0.0
Total	27.68	28,9963

Evolution de la répartition de la SAU entre les différentes cultures

Depuis les années 50, la surface consacrée aux grandes cultures (céréales, oléagineux, protéagineux, pommes de terre, cultures industrielles dont jachères) n’a cessé d’augmenter, au détriment des cultures fourragères et des cultures permanentes (vignes, vergers)⁶⁰. Ainsi, leur part dans la SAU est passée de 34.3% à 45.3%, comme l’illustrent les figures ci-dessous.

⁶⁵ Agence Bio. 2019. « Les chiffres 2018 du secteur bio: un ancrage dans les territoires et une croissance soutenue ».

⁶⁶ Laurent, F. 2012. « Etat des lieux: Les rendements mondiaux sous l’influence du changement climatique ». DOSSIER PROGRÈS GÉNÉTIQUE 20: 5

⁶⁷ Ambiaud, Éric, Bertrand Ballet, Catherine Barry, Laurent Bernadette, Matthieu Bulot, Thibaut Champagnol, Mihaela Crisan, et al. 2019. « Graph’Agri 2019 », 212.

Figure 1 et 2: Evolution de l'assolement total (à gauche) et des surfaces en cultures fourragères (à droite) en France Métropolitaine depuis 1950, en milliers d'ha et en % de la SAU (Ambiaud et al. 2019)

	1950	1980	2000	2010	2018*		1960	1980	2000	2010	2018*
<i>millier d'hectares</i>						<i>millier d'hectares</i>					
Grandes cultures	11 812	11 620	13 459	13 136	12 983	Fourrages annuels	814	1 410	1 436	1 428	1 694
<i>part (%)</i>	34,3	36,6	45,2	45,4	45,3	dont maïs-fourrage		1 155	1 398	1 406	1 422
Cultures fourragères	19 511	18 194	14 691	14 339	14 133	Plantes sardées fourragères	1 273	350	41	11	15
<i>part (%)</i>	56,7	57,3	49,3	49,6	49,3	Total prairies	17 424	16 434	13 213	12 900	12 617
Cultures permanentes	2 050	1 422	1 141	1 011	1 005	<i>prairies artificielles</i>	3 156	902	393	281	431
<i>part (%)</i>	6,0	4,5	3,8	3,5	3,5	<i>prairies temporaires</i>	1 047	2 682	2 675	3 157	2 838
Autres ¹	1 035	508	517	440	523	<i>prairies permanentes ou superficies toujours en herbe</i>	13 221	12 850	10 145	9 463	9 348
<i>part (%)</i>	3,0	1,6	1,7	1,5	1,8	Total cultures fourragères	19 511	18 194	14 691	14 339	14 326
Total superficie agricole utilisée	34 408	31 744	29 807	28 926	28 644						
France métro. (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0						
Part (%) de la SAU dans la surface totale	62,6	57,8	54,3	52,7	52,2						

1. Légumes frais et secs, fleurs et plantes ornementales, semences et plants divers, jardins et vergers familiaux des exploitants et des non exploitants.

Fiche variable des chaufferies biomasse

1. Définition

Une chaufferie biomasse est une installation de production d'énergie alimentée par de la biomasse, c'est-à-dire des matières issues des végétaux et des animaux. Les chaufferies biomasse peuvent être destinées à produire de la chaleur, de l'électricité par cogénération et des biocarburants.

Les cendres sont les résidus de la combustion et de la pyrolyse de ces diverses matières :

- Les matières premières des chaufferies biomasses sont diverses et essentiellement issues de la filière bois énergie : Bois en fin de vie, déchets industriels de bois non traité (plaquettes)
- Co-produits et sous-produits des industries du bois (écorces, sciures, copeaux, granulés)
- Produits de l'entretien des espaces verts urbains, de la forêt
- Autres produits végétaux comme de la paille

Actuellement, le bois est le combustible majoritaire des filières de chaufferie biomasse.

NB : les boues de stations d'épurations peuvent être incinérées et générer des cendres. Les boues sont incinérées lorsque leur niveau en éléments traces métalliques est trop élevé pour permettre leur épandage. Les cendres qui en sont issues sont donc elles-aussi trop riches en éléments traces, et ne sont pas considérées dans cette fiche.

Il existe plusieurs systèmes de combustion de la biomasse : les fours à grille, les spreader stocker (des systèmes de rechargement automatique des combustibles) et les fours à lits fluidisés, c'est-à-dire où la combustion se fait au sein d'un flux d'air.

Ces installations produisent différents types de cendres :

- Les cendres sous-foyers ou cendres sous grilles qui restent au niveau des foyers de combustion. Dans les fours à grilles, ces cendres représentent entre 70 et 90% du flux de cendres, mais plutôt 10% dans les installations équipées d'un lit fluidisé.

- Les cendres volantes, aussi appelées « fraction principale des lits fluidisés » : il s'agit des cendres récupérées au niveau des équipements d'épuration des fumées. On retrouve ces cendres dans différents équipements :
 - Au niveau du cyclone. Cet équipement joue le rôle de dépoussiéreur (multi-cyclone). Il produit des cendres grossières qui peuvent être mélangées ou non aux cendres sous foyers. Dans les installations d'une capacité inférieure à 2 MW, cet équipement est suffisant et les cendres ne sont pas toujours mélangées aux cendres sous-grille. Dans la quasi-totalité des installations de plus de 2 MW, les cyclones sont couplés à d'autres systèmes de filtres en amont. Les cendres sont alors mélangées avec les cendres sous grilles.
 - Au niveau des équipements de traitement des fumées, obligatoires dans les installations de plus de 2 MW.

Le ratio entre cendres sous foyers, cendres multi-cycloniques et cendres volantes diffère selon les types de fours et les types de biomasse utilisée, comme nous le détaillerons par la suite.

2. Liens avec le système MAFOR du modèle

Les cendres issues des chaufferies biomasse constituent l'un des gisements de MAFOR du système.

Actuellement, l'épandage des cendres sur sol agricole ou forestier est marginal, ce qui laisse entrevoir un grand potentiel de valorisation.

Globalement, les cendres de biomasse sont principalement composées de chaux (10 à 30 %) et de silice (5 à 60 %). Elles ont un pH nettement basique (autour de 12), ce qui leur confère un fort pouvoir chaulant. Elles contiennent entre 10 et 35% de calcium, quelques % de potassium et magnésium, et de l'ordre de 1 % de phosphore et d'azote⁶⁸.

Si ces caractéristiques ne sont pas considérées dans le modèle, elles les rendent intéressantes à utiliser en MAFOR.

Leur composition chimique est influencée par de très nombreux facteurs, notamment les types de cendres (sous foyers, multi-cycloniques ou volantes) et la nature de la biomasse utilisée.

A titre indicatif, on peut noter que les cendres de bois ont une valeur neutralisante d'environ 50 %, c'est-à-dire qu'une tonne de cendre à la même pouvoir neutralisant qu'une tonne de carbonates chaux (CaCO₃) ou 500 kg de Chaux (CaO).

D'autres facteurs influent également leur composition : les prétraitements, post-traitements et additifs mais également la puissance des installations, le type d'équipement de combustion, le mode d'extraction. Selon leurs compositions, les cendres seront épandables ou non, et leur teneur en éléments fertilisants (P, K) utilisable par les plantes variables.

3. Indicateurs pertinents

- Quantités de cendres produites en France (t)
- Quantité de cendres épandues (en tonnes et en % du total)

⁶⁸ Boulday, D, et F Marcovecchio. 2016. « Valorisation des cendres issues de la combustion de biomasse. Revue des gisements et des procédés associés », février, 92.

4. Rétrospective et situation actuelle / tendances lourdes des différents facteurs d'influence de la variable

Liste des facteurs influençant la quantité de cendres produites en France

Les facteurs ayant une influence sur la quantité de cendres produites en France sont :

- L'évolution de la filière biomasse-énergie
- Les types de biomasses utilisées

Liste des facteurs influençant la quantité de cendres épandues en France

Les facteurs ayant une influence sur la quantité de cendres épandues en France sont :

- La réglementation et ses évolutions
- La quantité de cendres de bonne qualité. Cette qualité dépend de l'équipement où les cendres sont récupérées. La quantité de cendres récupérées au sein de chaque équipement varie en fonction du type de four choisi et du type de biomasse utilisée.

Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable

Facteurs influençant la quantité de cendres produites en France

Evolution de la filière biomasse-énergie

Evolution du gisement de bois sur pieds récupérable

En 2009, une étude⁶⁹ a démontré que les forêts, les peupleraies et les haies constituent l'essentiel du gisement de bois supplémentaire disponible pour l'énergie. La disponibilité brute annuelle en bois sur la période 2006-2020 est estimée à environ 16 millions de tep, à la fois pour le secteur de l'industrie que pour celui de l'énergie (BIBE), dont 4,3 millions de tep supplémentaires exploitables dans les conditions économiques définies au moment de l'étude.

En 2015, une nouvelle évaluation nationale des disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 a été menée. Les auteurs concluent que la forêt française est capable de supporter une augmentation de 30 % de la récolte, jusqu'à 2,4 millions de tep de BIBE supplémentaires selon le scénario sylvicole envisagé.

Tableau 31 : Deux scénarios possibles de la disponibilité en bois (source : IGN, GCBA, ADEME, 2016)

Bois industrie / bois énergie potentiel BIBE-P	Prélèvements actuels (2011-2015)	Disponibilité technique et économique (2021 – 2025)	Disponibilité technique et économique (2031 – 2035)
<i>Scénario de sylviculture constante (millions de m3/an)</i>	23.3	25	27.1
<i>Scénario de gestion dynamique progressif (millions de m3/an)</i>	23.3	27.6	33.6

⁶⁹ Colin, Antoine, et Alain Thivolle-Cazat. 2016. « Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 ». Synthèse. ADEME, FCBA, IGN.

Potentiel valorisable parmi les déchets de bois du BTP

En 2015, une étude de l'ADEME a évalué à 504 000 tonnes la quantité de déchets bois du BTP qui n'étaient pas valorisés⁷⁰.

Les déchets de bois du bâtiment représentent en 2012 près de 2200 Ktonnes, dont 11% sont des emballages. 77% de ces déchets sont valorisés.

Année 2012 En Ktonnes	recyclage matière	valorisation organique	valorisation énergétique	incinération sans valorisation	enfouissement	GLOBAL
Déchets bois ¹		786		678	490	1954
Emballage ²	101	0	113	4	14	231
auto- consommation						0
TOTAL	887	0	791	4	504	2185

¹ autres qu'emballages bois ; ² selon la ventilation globale des emballages bois

Figure 38 : Devenir des déchets de bois du BTP (ADEME 2015)⁶³

Suite à cette étude, des engagements ont été pris par le gouvernement dans le cadre de la Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte⁷¹. En particulier, la filière de la cimenterie s'engage à augmenter sa part d'approvisionnement en déchets de bois issus du bâtiment pour le chauffage de ses matières premières. En effet, ses besoins énergétiques s'élèvent à 1 200 000 tep/an, dont 41% sont issus de la valorisation énergétique des déchets.

L'objectif fixé en 2015 est d'atteindre 50% de cette énergie produite à partir de la valorisation de déchets, en particuliers du bois. Cela reviendrait à produire 108 000 tep/an à partir de ressources en bois, soit de valoriser 118 000 t de bois.

L'utilisation de bois en cimenterie ne produit pas de cendres ni de mâchefer, car les résidus de combustion du bois sont incorporés au ciment.

En revanche, le bois restant (386 000 t) pourrait être valorisé au sein de chaufferies biomasses, ce qui représente un potentiel de production de 1180 t de cendres, soient environ 1000 tonnes de cendres de foyers utilisables en MAFOR.

Les types de biomasse utilisés

Le taux de cendre varie selon les types de biomasse utilisés : il se situe entre 0,5 (plaquette forestière sans écorce) et 15 % (déchets de bois, écorces, combustibles agricoles) de la matière brute, avec un taux d'environ 1,5-2,5 % pour ces cendres de chaufferies bois alimentées majoritairement par de la plaquette forestière⁶¹.

Facteurs influençant la quantité de cendres épandues en France

La réglementation et ses évolutions

Réglementation actuelle

En France, la réglementation concernant les cendres de chaufferies biomasse est complexe. Une valorisation des cendres en « produit » est possible quelle que soit la taille et la nature de l'installation, via des procédures de normalisation ou d'autorisation de mise sur le marché. Elle est rarement mise en place car les exigences réglementaires sont lourdes. La valorisation des cendres selon une logique « déchet » est d'avantage répandue. Les règles qui s'appliquent dépendent des puissances des installations considérées, selon la

⁷⁰ Guinard, Ludovic, Gérard Déroubaix, Marie-Lise Roux, Anne-Laure Levet, et Vincent Quint. 2015. « Évaluation du gisement de déchets bois et son positionnement dans la filière bois/bois énergie ». Synthèse 1302C0059. ADEME.

⁷¹ Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, et Ministère de l'Economie et des Finances. 2018. « Engagement pour la croissance verte relatif à la valorisation des déchets de bois issus du bâtiment en cimenterie ».

réglementation Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) ou le règlement sanitaire départemental (RSD).

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des règles qui concernent la valorisation en épandage agricole des cendres de chaufferie biomasse

Tableau 32 : Résumé de la réglementation concernant l'épandage de cendres issues de chaufferies biomasse (Boulday et Marcovecchio 2016⁴⁹)

Type d'installations	Règlement Sanitaire Départemental	Réglementation Installation classée pour la protection de l'environnement		
		Arrêté du 24/09/2013	Arrêté du 26/08/2013	Arrêté du 26/08/2013
	2910 A (bois non traité) < 2MW Et 2910 B (bois traité) < 0,1 MW	2910 B (bois traité) > 0,1 MW et < 20 MW	2910 A (bois non traité) > 2 MW (déclaration)	2910 A (bois non traité) > 20 MW (autorisation)
Usages	Particuliers, agriculteurs, petites installations collectives ou industries	Chaufferies collectives ou industrielles	Chaufferies collectives ou industrielles brûlant uniquement de la biomasse	Chaufferies collectives ou industrielles
Valorisation des cendres en agriculture	Oui, seulement logique produit, sinon évacuées avec déchets ménagers voire directement ISDND (collectivités, entreprises)	Oui : uniquement les cendres sous foyer, limite de 5000 t/an	Oui : uniquement les cendres sous foyer, limite de 5000 t/an Nécessité d'un plan d'épandage	Oui : uniquement les cendres sous foyer (arrêté peu clair). Nécessité d'un plan d'épandage

Cette réglementation montre que seules les cendres sous foyers (ou issues de mélanges avec les cendres multi-cycloniques) sont autorisées à l'épandage. Les arrêtés ci-dessus précisent également des seuils réglementaires en ce qui concerne les taux en éléments trace dans les cendres.

L'interdiction des cendres volantes à l'épandage est la même partout en Europe. En effet, il est communément admis par l'ensemble des acteurs de la filière qu'on y trouve une concentration plus élevée en éléments traces et métaux lourds.

C'est effectivement le cas dans les installations équipées d'une grille, qui sont le cas très majoritaire. Cette concentration est en revanche beaucoup moindre dans les équipements à lits fluidisés.

Le tableau ci-dessous montre des résultats d'analyse de cendres issues de foyers, pour des chaufferies avec des types de combustibles variables. Elles respectent bien les seuils réglementaires, et représentent donc un potentiel valorisable.

Tableau 33 : Analyse chimique de la composition des cendres sous foyer de chaufferies collectives au bois (Boulday et Marcovecchio, 2016⁶¹, ADEME 2005⁷², Arrêté 1^{er} avril 2020⁷³)

⁷² Couturier, M Christian, et M Thierry Brassat. 2005. « Gestion et valorisation des cendres de chaufferies bois: réglementation ». ADEME.

⁷³ Arrêté du 1er avril 2020, AGRG2008998A

	Moyennes des analyses CEDEN			Moyenne analyses ADEME (2014)	Réglementation épandage (logique déchet) France	Arrêté 1er Avril 2020 France: Autorisation Mise sur le Marché	Homologation	Norme compost NF U 44 051 France	Projet commission européenne 2017 Engrais	Réglementations européennes (Allemagne, Autriche, Suède, Danemark, Finlande)
	Période 2003-2014	Période 2003-2010	Période 2010-2014							
	Combustibles mix dont bois en fin de vie propres			Plaquettes forestières majoritaires						
	150 analyses			10 analyses						
Paramètres	mg/kg MS									
Cr	136	154	134	176	1000	120	150	120		100-300
Ni	42	49	37	26	200	50	50	60	120	60-200
Cu	395	368	438	284	1000	300	100	300		200-700
Zn	836	1151	666	343	3000	800	300	600		1200-7000
Cd	3	6	4	3	10	1	2	3	3	1,5-30
Pb	282	457	178	83	800	120	100	180	150	100-300
Hg					10	1	1	2	2	0,8-3
As	14	17	12			40		18	60	20-45
Se	2	2	2					12		

NB : Les seuils réglementaires mentionnés ici pour l'homologation concernent les supports de culture, et non pas les cendres en elles-mêmes, comme c'est le cas des autres réglementations.

L'arrêté français du 1^{er} avril 2020 (AGRG2008998A) concerne les seuils d'ETM pour l'ensemble des autorisations de mise sur le marché, donc pour l'ensemble des démarches produits. Depuis cette date, elle prévaut donc par rapport aux seuils de l'homologation et de la norme compost NFU 44 051, dont les seuils sont d'ailleurs assez proches.

Pour l'instant, l'ensemble des cendres respecte au moins l'une des deux réglementations, ce qui signifie que le potentiel de cendres valorisable représente l'ensemble du gisement.

Ce tableau montre que les teneurs en éléments traces métalliques des cendres respectent très rarement les valeurs seuils pour permettre de les épandre sous le statut de produit. La plupart du temps, elles sont donc épandues sous le statut de déchets.

Evolution à venir de la réglementation

Le volet agricole de la Feuille de Route Economie Circulaire, publié en 2019 prévoit la mise en place d'un « socle commun d'innocuité » pour l'ensemble des MAFOR. Or, un durcissement du seuil du cadmium est prévu, à la fois pour les MAFOR sous le statut de produit que pour les MAFOR sous le statut de déchet.

Il est donc possible que cette réglementation affecte les cendres, et qu'une partie du gisement actuellement épandable sous statut de déchet ne respecte plus cette réglementation.

La répartition entre cendres volantes, sous foyer et multi-cycloniques

En fonction du type de four utilisé

La répartition entre les différents types de cendres dépend de façon très importante des techniques choisies pour les fours, comme le résume le tableau ci-dessous.

Tableau 34 : Répartition des cendres en fonctions des types de fours (Boulday et Marchovecchio 2016⁶¹)

	Four à grille	Fours à lits fluidisés	Spreader toker
Cendres sous foyers	70-95%	Cendres multi cycloniques > cendres sous foyers	Données beaucoup plus variables : cendres sous foyers entre 30 et 80% du total
Cendres de multi-cyclones	10-25%		
Cendres volantes	1-8%	> 50%	

De plus, il reste des résidus de combustion, appelés « imbrûlés ». Ceux-ci représentent en général des proportions inférieures à 5-10% de la MS, mais peuvent être plus importants dans les petites installations (jusqu'à 30% de la MS).

Cette répartition des cendres explique que les teneurs en polluants soient beaucoup moins élevés dans les cendres volantes de fours à lits fluidisés, qui entraînent la majeure partie des cendres produites pendant la combustion.

En fonction du type de biomasse utilisée

La répartition entre les différents types de cendres varie également en fonction des types de combustibles. Le tableau ci-dessous présente cette variabilité dans le cas d'un four à grille :

Tableau 35 : quantité de cendres produites en fonction du type de biomasse (Boulday et Marchovecchio 2016⁶¹)

Fraction cendres \ Type biomasse	Ecorce	Bois	Paille
Cendres sous foyer	75,0 - 85,0	70,0 - 90,0	80,0 - 90,0
Cendres cyclone	15,0 - 25,0	10,0 - 30,0	3,0 - 6,0
Cendres filtre	2,0 - 5,0	4,0 - 8,0	5,0 - 10,0
Poussières émises	0,1 - 2,0	0,2 - 3,0	0,2 - 1,0

5. Situation actuelle des cendres épandues

En 2015, la production totale de cendres issues de chaufferies biomasse s'élève à 200 000 t par an, dont 100 000 t sont valorisées en agriculture, soit 50%.

Fiche variable des boues de STEP

1. Définition

Il existe différentes filières de traitement de l'eau : la filière de potabilisation de l'eau, à partir d'un prélèvement dans le milieu naturel, et la filière d'assainissement des eaux usées par des stations d'épuration. L'eau épurée est ensuite rejetée dans le milieu naturel, après vérification de sa conformité aux valeurs limites définies par arrêté préfectoral.

Il existe deux grands types de stations d'épuration :

- Les stations de traitement des eaux usées urbaines, qui traitent les eaux usées venant des particuliers. Une partie des flux qui arrivent proviennent d'effluents industriels
- Les stations d'épurations industrielles. Les volumes traités, la nature des polluants et leur concentration varient beaucoup en fonction des types d'industries.

L'ensemble des filières de traitement de l'eau génèrent de nombreux déchets de nature diverses, produits à des étapes différentes du traitement de l'eau. On distingue :

Tableau 36: Types de déchets produits dans les filières de potabilisation et d'assainissement de l'eau (source : ADEME 2014⁷⁴)

Type de déchets produits	Etapes du traitement
--------------------------	----------------------

⁷⁴ ADEME, 2014. Les déchets issus de l'assainissement <https://www.ademe.fr/collectivites-secteur-public/patrimoine-communes-comment-passer-a-laction/dechets-services-publics/dechets-issus-l'assainissement> (Consulté le 30/04/2020)

<i>Potabilisation de l'eau</i>	Boues	Particules solides non retenues par les prétraitements en amont de la station d'épuration. Proviennent des étapes de décantation, de filtrages, de saturation
<i>Réseau collecte des eaux usées</i>	Sables, graviers, graisses, détritux divers	Accumulation dans les réseaux, en particuliers là où la vitesse est ralentie
<i>Stations d'épuration urbaines et industrielles</i>	Déchets solides : bouts de bois, boîtes de conserve, flacons en plastique, feuilles...	Refus de dégrillage
	Particules lourdes : sables, graviers	Etape de dessablage en pré-traitement
	Graisses	Flottaison au moment des étapes de dégraissage-déshuilage
	Boues	Particules solides non retenues par les prétraitements en amont de la station d'épuration, en mélange avec des populations microbiennes développées à partir des substances organiques en suspension ou dissoutes dans l'eau Proviennent des étapes de décantation (boues primaires, ou boues physico-chimiques) et des traitements du phosphore et de l'azote (boues secondaires ou boues biologiques)

Ici, nous nous intéressons particulièrement aux boues produites par les filières de potabilisation de l'eau et par les stations d'épuration urbaines et industrielles. Elles sont composées de matières organiques non dégradées, de matières minérales et de micro-organismes. Les gisements, les voies de valorisation existantes ainsi que les pourcentages actuellement valorisés sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 37: Tonnages de boues produites, voies de valorisation existantes et part valorisée (source : ESCO Mafor 2014)

Production (t MS/an)	Caractéristiques physico-chimiques	Voies de valorisation existantes	% Valorisé
<i>Potabilisation de l'eau</i>	156 000 Peu de texture, peu de MO	Rejet dans le milieu naturel Valorisation organique agricole appelées « terres de décantation » Rejet dans le réseau d'assainissement Stockage déchets non dangereux Valorisation sous forme d'adjuvants (cimenteries, briquetteries)	NA
<i>Stations d'épuration urbaines (STEP)</i>	1 060 000 Concentrations assez stables, quantités qui varient en fonction du nombre d'habitants et des filières de traitement	Epandage agricole Stockage centres de déchets non dangereux Incinération	38 % épandues directement sur sols agricoles 28 % épandues après compostage et méthanisation 34 % sont enfouies ou incinérées
<i>Stations d'épuration industrielle</i>	4 900 000 Concentrations plus variables en polluants, grande diversité de la nature des boues produites selon le type d'industries	Epandage agricole Stockage en centres de déchets non dangereux Incinération Utilisation en cementeries ou briquetteries	33 % épandues au sol directement 4 % sont épandues après compostage et méthanisation 30 % des eaux sont transférées à des STEP urbaines 33 % sont enfouies ou incinérées

Les boues issues de la potabilisation de l'eau sont laissées en dehors des gisements discutés dans cette fiche variable car les gisements sont faibles.

2. Liens avec le système MAFOR

Les boues de stations de traitement des eaux usées (STEU) urbaines peuvent être valorisées sous forme de MAFOR. Selon leurs caractéristiques physico-chimiques, elles peuvent être épandues directement, ou être compostées ou méthanisées avant épandage.

3. Indicateurs pertinents

Pour les boues de stations d'épuration urbaines comme pour les boues des stations d'épuration industrielles, les indicateurs pertinents sont :

- Le gisement national de boues produites (en t de MS)
- La part de boues valorisées en MAFOR, quelle que soit la filière de valorisation (épandage direct, compostage, méthanisation), en % du gisement total

4. Rétrospective et situation actuelle / tendances lourdes des différents facteurs d'influence de la variable

Liste des facteurs influençant et influencés par les boues produites en stations d'épuration urbaines

Facteurs influençant le gisement de boues produites

Facteurs influençant la quantité de boues (t MS) produites dans les stations d'épuration urbaines et industrielles :

- La quantité d'eau traitée dans les filières d'assainissement
- Le durcissement des conditions de rejet des stations

Facteurs influençant le pourcentage de boues valorisées en MAFOR

Facteurs influençant le pourcentage de valorisation MAFOR des boues de stations d'épuration industrielles et urbaines:

- La qualité des boues produites, dépendante des facteurs suivants :
 - Le type d'eau traitée, elle-même dépendante du type d'industries dans le cas des stations d'épuration industrielles, de la quantité de flux issues d'industries entrant dans les stations pour les STEP urbaines
 - Le type de techniques adoptées dans les stations d'épuration, elles même dépendantes de l'eau traitée et du coût des installations
- La possibilité d'épandre les boues à proximité, dépendante de :
 - Des interdictions d'épandage des boues de STEP sur certains types de cultures (AB)
 - De la quantité de boues épandable sur les cultures
 - Les évolutions de la réglementation sur l'épandage des boues
- Le développement de nouvelles filières de valorisation de certains composés des boues

Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable

Facteurs influençant le gisement de boues produites

La quantité d'eau traitée dans les filières de potabilisation et d'assainissement

La quantité d'eau aux usées d'origine domestique à traiter est proportionnelle à la population, tout comme la quantité de boues produites. En effet, la quantité de polluants produits par habitant par jour s'exprime en « Equivalent Habitant » (EH).

Ainsi, l'augmentation démographique a été à l'origine du nombre croissant de stations d'épurations. Les données de l'INSEE prévoient d'atteindre 69 093 millions d'habitants en 2025 et 70281 en 2035⁷⁵.

Malgré cette augmentation démographique, les quantités d'eau potable consommée et des volumes traités en assainissement collectifs n'ont cessé de diminuer, comme le montre le graphique ci-dessous :

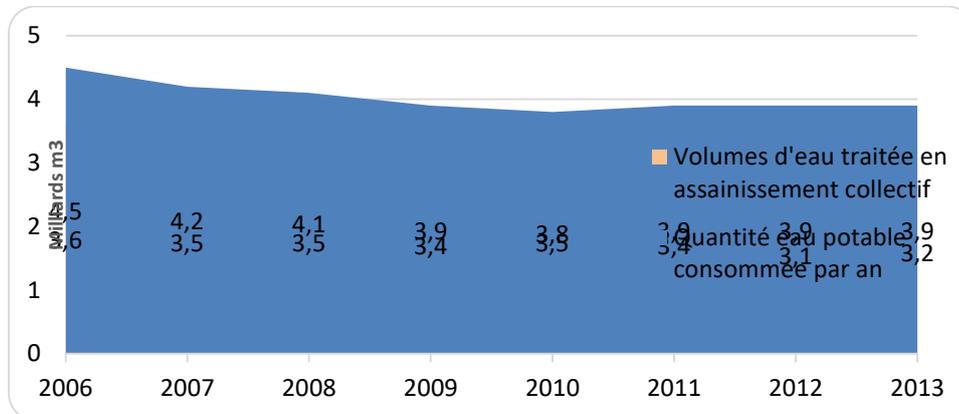


Figure 39: Evolution des volumes traités dans les filières de potabilisation et d'assainissement collectif en France (source : Da Costa 2015⁷⁶)

L'intégration d'un nombre croissant de polluants dans la réglementation

Depuis la première loi sur l'eau de 1964, différentes lois sont venues durcir les normes de rejets des stations d'épurations⁷⁷. Ces lois ont augmenté le nombre de contrôles et ont intégré des exigences concernant de nouveaux polluants, notamment avec l'arrêté du 21 Juillet 2015, intégrant des mesures des micropolluants dans les normes de rejet. Le durcissement de ces normes tend à faire augmenter les volumes des boues⁷⁸.

Facteurs influençant le pourcentage de boues valorisées en MAFOR

⁷⁵ Blanpain N. et Buisson G., 2016, Projections de populations 2013-2070 pour la France : principaux résultats, INSEE

⁷⁶ Da Costa V. et al, 2015. Les services publics d'eau et d'assainissement en France, données économiques, sociales et environnementales, BIPE

⁷⁷ SAFEGE Ingénieurs Conseil, s.d. SAGE Vallée de la Bresle, scénarios tendanciels

⁷⁸ Journal Officiel, 2015. Arrêté du 21 juillet 2015 (consulté le 30/04/2020)

La qualité des boues produites

La qualité des boues produites est un facteur essentiel qui détermine leur possibilité d'être valorisées en MAFOR. En effet, la réglementation impose des valeurs seuils en ce qui concerne la quantité de métaux lourds présents dans les boues, ainsi que certains polluants organiques.

Le type d'eau traitée

Le type d'eau traitée est l'un des principaux facteurs qui détermine la qualité des boues. Ainsi, certaines boues industrielles ne peuvent pas du tout être valorisées, comme les boues issues des industries des secteurs pharmaceutiques, du cuir et des tanneries.

En ce qui concerne les stations d'épurations des eaux résiduaires urbaines, un facteur important est celui de la part du flux provenant d'eaux usées industrielles. En effet, celles-ci peuvent amener des taux de polluants plus importants dans l'eau, ce qui peut provoquer une détérioration de la qualité des boues en sortie.

Une étude a été réalisée en 2012 portant sur un échantillon de 123 000 tonnes de boues. Vingt-deux des collectivités interrogées reçoivent des eaux usées industrielles dans leur STEP. La part des flux industriels dans celles-ci reste variable⁷⁹ :

- Elle est située entre 21 et 30% des flux pour deux collectivités
- Elle est inférieure à 20% pour 13 collectivités
- 7 collectivités ne connaissent pas la répartition de ces flux

Les techniques adoptées dans les différentes stations d'épuration

Il existe différentes filières de traitement des eaux usées : les traitements par boues activées (traitements biologiques), parfois combinées avec des filtrations membranaires, du lagunage. La filière des boues activées reste majoritaire⁸⁰.

De même, il existe différents types de post-traitements qui visent à augmenter la siccité des boues et à réduire la quantité de pathogènes qui s'y trouvent. Il s'agit des procédés d'épaississement, de déshydratation, de séchage et de chaulage.

Le choix de ces techniques dépend des volumes à traiter, du niveau d'abattement à atteindre et du budget des collectivités ou des entreprises.

Les traitements et post-traitements ont une influence sur les types de boues produites : quantité produite et siccité notamment (c'est-à-dire leur teneur en matière sèche).

Il détermine aussi leur caractère « stabilisé » ou « hygiénisé », dont la définition est liée aux nombres de bactéries E.Coli trouvées par prélèvement dans les boues à la fin du procédé. La nomenclature de boues stabilisées et hygiénisées est importante au regard de la réglementation, puisqu'elle impose plus ou moins de contraintes à l'épandage (à la fois sur les teneurs seuils en ETM que sur la localisation et les périodes possibles des épandages).

La possibilité d'épandre les boues à proximité

Les interdictions d'épandage sur certains types de cultures

⁷⁹ Laperche D., 2012. Boues de STEP urbaines : le retour des adhérents d'Amorce, <https://www.actu-environnement.com/ae/news/boues-step-urbaines-retour-experience-adherents-amorce-17228.php4> (Consulté le 30/04/2020)

⁸⁰ Région Bretagne, Direction Régionale de l'environnement, de l'Aménagement et du Logement, 2012. Etude d'impact des projets, Stations d'épuration et choix des filières de traitement

A l'heure actuelle, le cahier des charges de l'agriculture biologique interdit l'épandage des boues de stations d'épuration. Cet élément pourrait constituer un frein à l'épandage des boues de STEP, dans le cas d'une forte augmentation des surfaces en agriculture biologique.

Cette interdiction apparaît également dans certains contrats entre des industriels et des producteurs.

Les évolutions de la réglementation de l'épandage des boues

Les boues de STEP, sont soumises à des réglementations strictes concernant les teneurs en certains polluants dans les boues pour permettre leur épandage, concernant certains métaux lourds et polluants organiques.

Comme le prescrivent la loi AGECE du 10 février 2020 et la Feuille de Route Economie Circulaire de 2019, les critères d'innocuité des MAFOR vont être revus et intégrés dans un socle. Pour l'instant, il est prévu :

- D'aligner l'ensemble des exigences réglementaires des MAFOR sous statut « produit » avec les exigences du règlement européen sur les matières fertilisantes 1009/2019
- D'augmenter les seuils réglementaires pour l'ensemble des MAFOR (produits et déchets) sur le Cadmium, ainsi que de faire entrer des contraintes sur d'autres polluants : perturbateurs endocriniens et microplastiques.

Le développement de nouvelles filières de valorisation de certains composés des boues

De nombreux procédés d'extraction des métaux lourds sont actuellement à l'étude. Leur mise en œuvre permettrait de les extraire des boues, et ainsi d'augmenter la part de boues valorisables en MAFOR.

- Des processus d'extraction des métaux lourds, qui concernent surtout les effluents industriels, dont les concentrations plus élevées en métaux lourds les rendent plus extractibles
- Les processus d'extraction des sels de phosphate (ou struvite). Ils peuvent être formés dans les stations d'épuration et, dans une moindre mesure, sur les sites industriels agroalimentaires (principalement la pomme de terre et les produits laitiers).

5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé

Par manque de données, les résultats suivants concernent la quantité de boues de STEP urbaines, et laisse de côté le gisement des boues de step industrielles. Le tableau ci-dessous montre l'évolution des quantités de boues produites et épandues depuis 1998.

Tableau 38: Evolution rétrospective des quantités de boues de STEP produites et épandues (source : Esco Mafor 2014, De Caebel 2007⁸¹)

	1998	1999	2000	2001	2002	2004	2014
<i>Boues produites (t MS/an)</i>	858 223	855 265	864 342	875 252	887 755	950 000	1 060 000
<i>Boues épandues (t MS/ha)</i>	553 919	552 460	506 505	509 240	524 290	575 944 (donnée incertaine)	774 000
% de boues de STEP épandues	64,5 %	64,5%	59%	58%	59%	61% (donnée incertaine)	73%

⁸¹ De Caebel B. et al, 2007, Revue des filières de traitement/valorisation des boues : Critères de choix d'une filière adaptée et arbre de décision associé

Fiche variable du tri à la source des biodéchets

1. Définitions

Le tri à la source des biodéchets concerne l'ensemble des dispositifs permettant de collecter les biodéchets et de les traiter séparément des autres déchets. Il permet une meilleure exploitation du gisement de biodéchets qu'un tri à posteriori d'une collecte mélangée. Le tri à la source intègre deux types de gestions différentes :

- La gestion de proximité : la valorisation des biodéchets à proximité de la source d'émission, comme le compostage domestique ou géré sur site par un industriel ou une collectivité
- La collecte séparée : en porte à porte ou en points d'apports volontaires

La production de biodéchets concerne à la fois les particuliers et les entreprises. On appelle biodéchets l'ensemble des déchets provenant des gisements suivants :

- Les déchets verts, qui sont des déchets non dangereux biodégradables issus de jardins ou de parcs (feuilles mortes, tontes de gazon, tailles de haies, d'arbustes, d'arbres...). Ils sont produits par les ménages, les collectivités et les entreprises
- Les déchets non dangereux alimentaires ou de cuisine. Ils sont produits par les particuliers, les restaurateurs, les traiteurs ou les magasins de vente au détail, ainsi que les établissements de production ou de transformation des denrées alimentaires (cantines, industries agro-alimentaires entre autres)

En ce qui concerne les modes de collecte, les déchets alimentaires et biodéchets se retrouvent dans différents flux :

- Les ordures ménagères résiduelles, dont ils constituent la fraction putrescible
- La collecte séparée des ménages et assimilés dans certaines collectivités
- La collecte séparée des entreprises dans le cas des gros producteurs de biodéchets

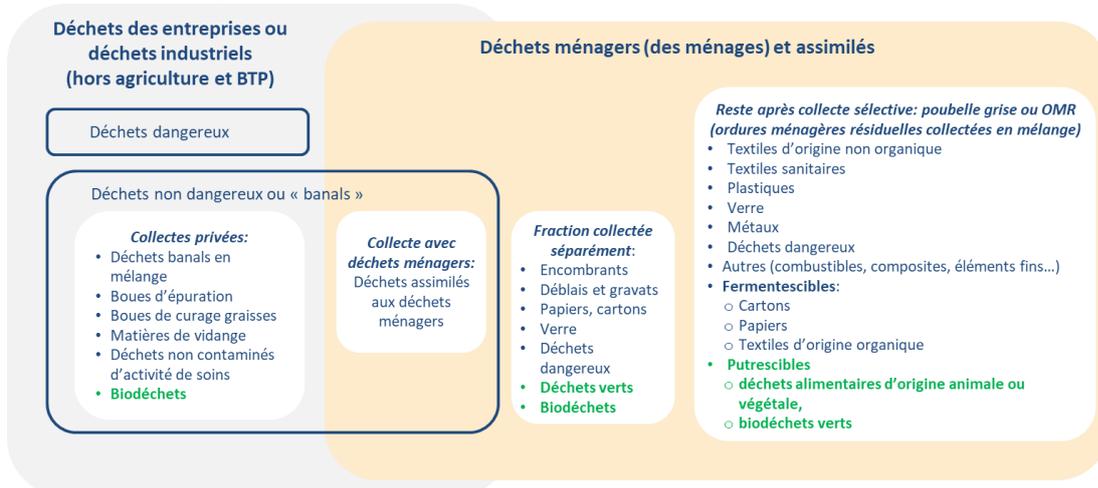


Figure 40: Schéma des différents flux de déchets collectés

Les OMR

Il s'agit des ordures ménagères collectées en mélange dans les « poubelles grises ». La fraction putrescible des OMR correspond aux biodéchets tels que définis plus haut, incluant les déchets verts et les déchets alimentaires. Elle représente 30% du tonnage total. La fraction fermentescible inclut la fraction putrescible, et comprend également les papiers, cartons et textiles sanitaires. Elle représente environ 60% du tonnage total.

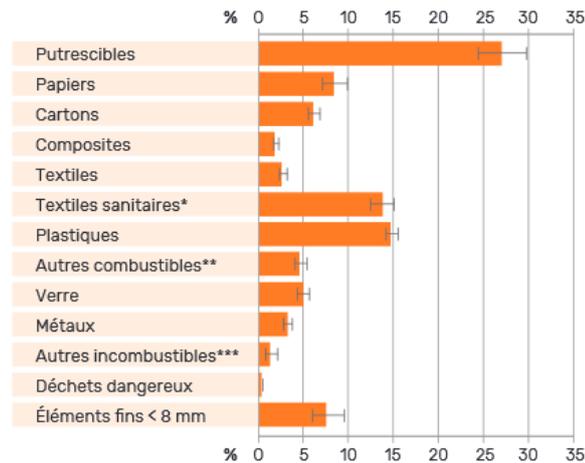


Figure 41: Composition des OMR en 2017 (Source: Bonnet et Viennois 2019⁸²)

Actuellement, une partie des OMR passent par des plateformes de tri mécano-biologique (TMB). Ces plateformes permettent de trier la partie **fermentescible** des OMR afin de les valoriser par des procédés de compostage ou de méthanisation. En 2013, il y avait 37 installations de TMB en fonctionnement, permettant de séparer 0,95 Mt de déchets **fermentescibles**⁸³.

L'augmentation du tri à la source des biodéchets concerne uniquement la partie **putrescible** des OMR. En effet, le reste de la fraction fermentescible est composée de papiers, cartons et textiles d'origine organique et fait déjà l'objet d'une collecte séparée. Une augmentation du tri à la source des biodéchets ferait diminuer les quantités d'OMR potentiellement traités en TMB.

Les biodéchets des DMA faisant l'objet d'une collecte séparée après tri à la source

Les biodéchets des DMA faisant l'objet d'une collecte séparée peuvent être des déchets verts ou des déchets alimentaires. Ils peuvent être produits par des particuliers, des collectivités ou des entreprises classées en dessous du seuil des « gros producteurs » de biodéchets⁸⁴.

La collecte séparée peut se faire au porte-à-porte ou en points d'apports volontaires. Le porte-à-porte est le dispositif le plus fréquent pour les déchets alimentaires, collectés dans des bioseaux. L'apport volontaire en déchetteries est plus fréquent pour les déchets verts.

Les biodéchets des entreprises faisant l'objet d'une collecte séparée après tri à la source

Les « gros producteurs » de biodéchets ont l'obligation de réaliser un tri à la source et une collecte séparée de leurs déchets. Il s'agit principalement des entreprises et industries des secteurs de la restauration, du commerce alimentaire, des industries agroalimentaires (IAA), de l'entretien des espaces verts, de la cosmétique, de l'herboristerie, de la pharmacie et de la parfumerie⁷⁷.

Les biodéchets triés à la source et non collectés, faisant l'objet d'une gestion de proximité

La gestion de proximité fait référence à l'ensemble des techniques mises en œuvre par les particuliers, les collectivités et les entreprises pour traiter eux-mêmes leurs déchets organiques, chez eux ou sur site.

⁸² ADEME 2019. MODECOM 2017. Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés.

⁸³ ADEME 2013. Etat de l'art de la collecte séparée et de la gestion de proximité des biodéchets.

⁸⁴ ADEME 2013. Réduire, trier et valoriser les biodéchets des gros producteurs.

Le compostage est la méthode la plus fréquente (en tas, en bacs, lombricompostage). Il peut être individuel ou partagé, par exemple dans le cas de composts communs aux pieds d'immeubles.

D'autres types de gestion de proximité existent, comme l'alimentation animale, le chauffage avec le bois sec, le paillage ou la cession à des voisins.

2. Liens avec le système MAFOR du modèle

Mettre en place un tri à la source de tous les biodéchets reviendrait à

- Retirer la fraction putrescible des OMR pour la faire passer
 - en collecte séparée (au porte à porte ou en points de collecte volontaire)
 - en gestion de proximité
- Augmenter la collecte et la valorisation organique des biodéchets des gros producteurs

Il est difficile d'anticiper la répartition entre la gestion de proximité et la collecte séparée qu'engendrerait une augmentation du tri à la source. Toutefois, la gestion de proximité est limitée par certains critères, comme la présence d'un jardin pour beaucoup de particuliers. Nous pouvons donc supposer qu'une augmentation du tri à la source bénéficierait surtout à la collecte séparée.

Dans une perspective d'augmentation de la fertilisation en MAFOR, le tri à la source est préféré à la généralisation du tri mécano-biologique. En effet, ce dernier produit un compost de moins bonne qualité car les biodéchets entrent en contact avec des matières polluantes, comme certains déchets dangereux, métaux lourds et plastiques. Par conséquent, les composts produits ne sont pas tous épandables. Ainsi, le tri à la source permet une séparation plus efficace des biodéchets et donc une meilleure exploitation du gisement.

Ainsi **augmenter le tri à la source** revient à **augmenter les taux de collecte des biodéchets** et augmenter le **gisement de composts (principalement) et de digestats de biodéchets**.

3. Indicateurs pertinents

- Gisements de biodéchets en Mt de matière brute (MB)
- % des gisements existants actuellement valorisés

4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures

Liste des facteurs influençant et influencés par le tri à la source des biodéchets

Liste des facteurs influençant les gisements des biodéchets

La réduction du gaspillage alimentaire est un facteur susceptible de faire baisser le gisement en biodéchets.

Liste des facteurs influençant la part de tri à la source des biodéchets

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'augmenter la part de biodéchets triés à la source :

- La mise en place de dispositifs de tri à la source par les collectivités, qui dépendaient de
 - La volonté politique des élus locaux, avant 2015 où la LTECV l'a rendu obligatoire d'ici 2025
 - L'organisation de la collecte dans la collectivité
 - Le type d'habitat et sa dispersion
- Le nombre de centres de compostage et de méthanisation
- Le contexte législatif

Liste des facteurs influencés par le tri à la source des biodéchets

Certaines des autres installations de traitement des déchets sont influencées par le tri à la source des biodéchets, en particulier les TMB et les incinérateurs.

Dynamiques passées et futures des facteurs liés à la variable

Dynamiques passées et futures des facteurs influençant les gisements des biodéchets

Gaspillage alimentaire

Sur les 27% de fraction putrescible des OMR, 10 points relèvent du gaspillage alimentaire (produits alimentaires non consommés). L'objectif des pouvoirs publics pour 2025 est de réduire de 50 % le gaspillage sur l'ensemble de la chaîne alimentaire⁸⁵, ce qui réduira donc le gisement des biodéchets dans les OMR.

Dynamiques passées et futures des facteurs influençant la part de biodéchets triés à la source

Dispositifs de tri à la source

En 2016, 125 collectivités en France avaient mis en place une collecte séparée des biodéchets pour les ménages et/ou professionnels, représentant près de 4 millions d'habitants, soit environ 6% de la population Française.

La quasi-totalité des collectivités collectaient les biodéchets en porte-à-porte. Environ la moitié d'entre elles collectaient uniquement les déchets alimentaires, les déchets verts étant interdits dans les consignes de tri.

Avant 2015, la mise en place du tri à la source des biodéchets par les collectivités dépendait fortement des volontés politiques locales.

L'organisation de la collecte des autres déchets (volumes collectés, fréquence de collecte) a aussi une forte influence. En effet, le caractère putrescible des biodéchets nécessite de les collecter de façon plus régulière, ce qui peut représenter coût plus important pour les collectivités. Du côté des particuliers, une collecte trop peu fréquente peut engendrer de mauvaises odeurs liées au caractère putrescible des biodéchets, et peut décourager l'usager de trier de façon correcte.

Dans la même logique, le type d'habitat a un fort impact sur le tri à la source des biodéchets : du côté des particuliers, disposer d'un jardin permet de limiter les impacts négatifs des odeurs éventuelles. Pour les collectivités, réaliser une collecte de biodéchets en zone rurale dispersée peut s'avérer pénalisant pour l'organisation et le coût du service⁸⁶.

Nombre de centres de compostage et de méthanisation

Les centres de compostage sont les débouchés majoritaires des biodéchets issus des DMA. Leur présence offre donc un débouché à la collecte sélective de biodéchets.

Le nombre de centres de compostage recevant des flux de déchets provenant des DMA n'a cessé d'augmenter depuis les années 2000. En 2016, on en comptait ainsi 635 (souvent de très petites installations), dont 33 avec unité de Tri Mécano-Biologique (TMB) en amont.

⁸⁵ Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. 2018. « Pacte National de Lutte contre le Gaspillage Alimentaire 2017-2020 ».

⁸⁶ ADEME 2017b. Collectivités, comment réussir la mise en œuvre du tri à la source des biodéchets ? Clés de lecture et recommandation de l'ADEME.

L'augmentation des tonnages a suivi celle du nombre de centres. De 2000 à 2014, les déchets envoyés en compostage sont passés de 3,8 millions de tonnes à 7,2 millions de tonnes (et 8,1 Mt en incluant le TMB).

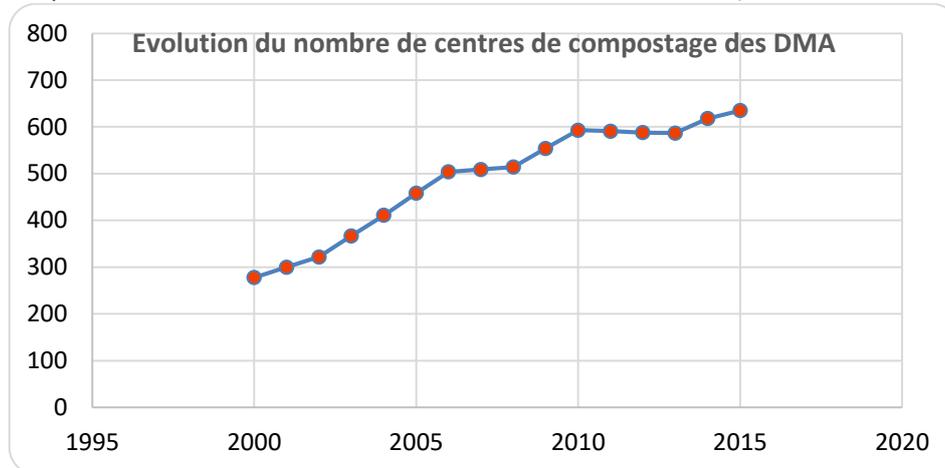


Figure 42: Evolution du nombre de centres de compostage des DMA (Source: Desplats et Mahé 2017⁸⁷)

Le nombre d'unités de méthanisation est elle-aussi en augmentation : en 2014, seules 4 unités de méthanisation traitaient des biodéchets issus des DMA⁷⁶, tandis qu'en 2018, on en compte une trentaine.

Contexte législatif

- **Code de l'environnement (article 541-21-1 issu de la loi dite Grenelle 2)**

Depuis le 1er janvier 2012, les entreprises qui produisent une quantité importante de biodéchets ont l'obligation de les trier et de les valoriser en compostage ou méthanisation. Défini à 120 t/an de biodéchets, le seuil de production est passé depuis le 1er janvier 2016, à 10 t/an, et 60 l/an pour les huiles. Sont concernés principalement les entreprises d'espaces verts, de distribution alimentaire (rayons frais et boulangerie), les commerces de bouche, les industries agroalimentaires, la restauration collective (privée ou publique), les marchés et les fleuristes.

- **La loi du 17 août 2015 sur la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)**

L'article 70 de cette loi précise que le service public de gestion des déchets « progresse dans le développement du tri à la source des déchets organiques, jusqu'à sa généralisation pour tous les producteurs de déchets avant 2025, pour que chaque citoyen ait à sa disposition une solution lui permettant de ne pas jeter ses biodéchets dans les ordures ménagères résiduelles, afin que ceux-ci ne soient plus éliminés, mais valorisés. La collectivité territoriale définit des solutions techniques de compostage de proximité ou de collecte séparée des biodéchets et un rythme de déploiement adaptés à son territoire. »

- **Loi du 11 février 2016 sur le gaspillage alimentaire**

Cette loi fixe l'ordre de priorité des actions visant à lutter contre le gaspillage alimentaire :

1- prévention, 2- don ou transformation des invendus, 3- valorisation en alimentation animale, 4- compostage ou méthanisation. La loi interdit aux distributeurs de rendre les invendus impropres à la consommation et les incite à en faire don.

- **Paquet économie circulaire européen adopté le 22 mai 2018**

Objectif de baisse de 50% des biodéchets en 2030 par une réduction du gaspillage alimentaire, ainsi qu'une généralisation du tri à la source des biodéchets d'ici 2023.

⁸⁷ Desplats, Raphaëlle, et Chloé Mahe. 2017. « Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France: données 2014 ». ADEME

Dynamiques passées et futures des facteurs influencés par le tri à la source des biodéchets

Autres installations de traitement des déchets (tri mécano-biologique, incinération...)

Les installations de TMB se sont développées ces 20 dernières années. La part de biodéchets traités dans ce type d'installations reste faible (voir figure 4 ci-dessous). Le tri à la source des biodéchets rend non pertinent la création de nouvelles installations de TMB.

De plus, le tri à la source des biodéchets améliore le pouvoir calorifique des OMR restants, qui contiennent alors moins d'humidité. La généralisation du tri à la source, bien que privant les incinérateurs d'une part de leurs matières entrantes, améliore leur efficacité.

5. Rétrospective et situation actuelle de la variable clé

Déchets ménagers et assimilés

Les chiffres clés de l'ADEME⁸⁸, permettent de dresser le bilan de la situation actuelle en ce qui concerne la collecte séparée des biodéchets pour les DMA.

Tableau 39: Récapitulatif des gisements de biodéchets gérés à domicile, collectés et non collectés

	Déchets verts (Mt)	Déchets alimentaires (Mt)
TOTAL Biodéchets ménagers	17,95	
Gestion à domicile (donnée 2015)	5,1	
Total collecte	5,89	
Collecte déchetteries	3,8	-
Porte à porte ou points de groupements hors déchetteries (donnée 2013)	0,928	0,058
Collecte porte à porte ou points de groupements hors déchetteries (collectes mélangées alimentaires et déchets verts) (donnée 2013)	0,174	
Collecte via TMB	0,93	
Résiduels OMR	6,96 Mt	

Le croisement des sources de la base de données SINOE de l'ADEME, l'ESCo MAFOR 2014, et des publications Déchets chiffres-clés de l'ADEME^{89,90,91}, il est possible de tracer l'évolution du gisement de biodéchets parmi les DMA, en représentant la part qui est collectée sélectivement, la part triée par TMB, et le gisement non collecté (OMR putrescibles).

⁸⁸ ADEME 2018b. Etude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets

⁸⁹ ADEME 2018a. Déchets chiffres-clés

⁹⁰ ADEME 2018b. Etude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets

⁹¹ ADEME 2017. Déchets chiffres-clés

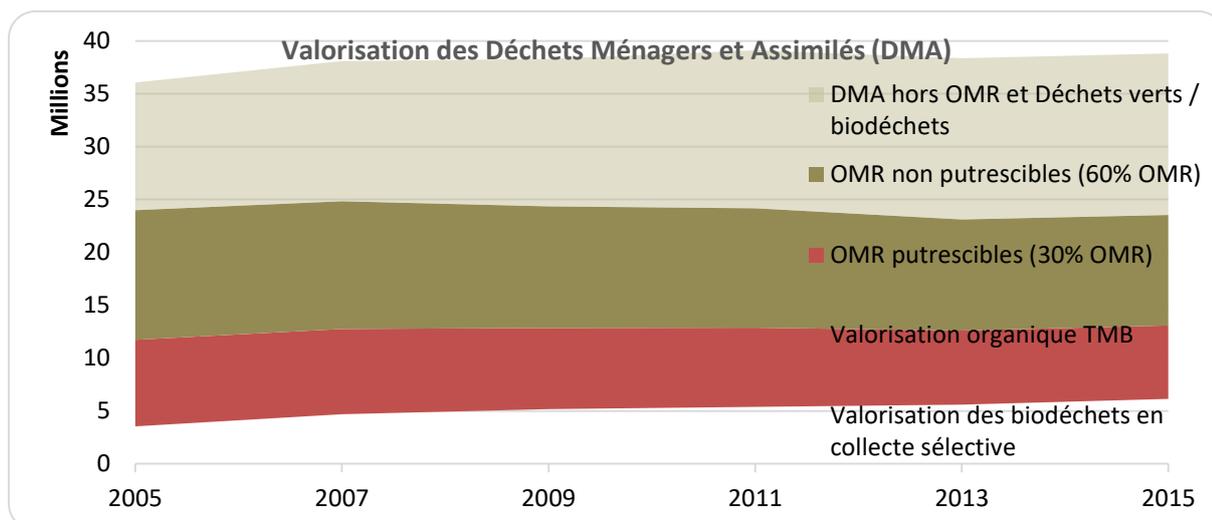


Figure 43: Evolution des gisements de DMA et de la collecte et valorisation des biodéchets (Source: Houot, Pons, et Pradel 2014)

Ce graphique montre que les OMR connaissent un déclin continu depuis 2007 (-3 Mt), de par les collectes séparées et l'augmentation du parc de déchetteries. Entre 2013 et 2015, le flux d'OMR continue son recul (-1,7 %), grâce à une augmentation de la collecte séparée des biodéchets (+ 5,6 %) et des encombrants (+ 4,4 %). Parmi les DMA, la quantité de biodéchets encore valorisable constitue environ 30% de la part des OMR (32% en 2007 et 27% en 2017 selon l'ADEME).

Ce gisement encore valorisable s'élève ainsi à 6,032 Mt de MB par an, dont un tiers sont de l'ordre du gaspillage alimentaire, c'est-à-dire des produits alimentaires non consommés.

Biodéchets des entreprises

A cela s'ajoutent les biodéchets provenant des entreprises, évalués en 2013 par l'ADEME à 6,9 Mt de MB⁹². En appliquant les catégories gros producteurs / hors gros producteurs de 2012, on peut décomposer le gisement comme suit :

Tableau 40: Gisements des biodéchets des entreprises : totaux et valorisés (Source: Houot, Pons, et Pradel 2014)

	Gros producteurs de biodéchets		Hors gros producteurs
	3,2 Mt de MB de déchets verts	1,5 Mt de MB d'autres biodéchets (commerce alimentaire, restauration, marchés)	2,2 Mt de MB
Gisement		4,7 Mt de MB	
Valorisation organique	Largement collectés et valorisés dès avant 2012	Obligation de tri à la source et de valorisation organique depuis 2012 (loi Grenelle 2)	Inclus dans les DMA. Depuis 2016, une partie de ce gisement est soumise aux obligations de tri à la source

Au moment du début du diagnostic du modèle, situé en 2010 pour des raisons de disponibilités de chiffres cohérents sur l'ensemble des gisements, on peut faire l'hypothèse que les 1,5 Mt de MB des gros producteurs de biodéchets ne faisaient pas l'objet de valorisation organique. Les études concernant la valorisation des entreprises sont manquantes, mais nous pouvons supposer que les obligations réglementaires sont aujourd'hui respectées.

⁹²

ADEME 2013. Réduire, trier et valoriser les biodéchets des gros producteurs.

L'abaissement du seuil définissant un gros producteur depuis 2016 (de 120 t de biodéchets produites par an à 10t/an) a sans doute permis de faire diminuer le gisement des biodéchets assimilés en les collectant séparément.

Fiche variable du traitement amont des MAFOR

1. Définition

Nous nous intéresserons particulièrement aux 4 types de traitement les plus courants : le compostage, la méthanisation, le séchage et le chaulage.

La faisabilité des différents types de traitements dépend des types de matières utilisées.

Tableau 41: Principales voies de traitement applicables avant épandage aux MAFOR. Source ESCo MAFOR 2014

		Effluents d'élevage	Boues d'épuration urbaines	Déchets urbains			Effluents industriels
				OMR	Biodéchets triés à la source	Déchets verts	
Pas de traitement	<i>Brut</i>	oui	oui	-	-	-	oui
Traitements biologiques	<i>Compost</i>	en mélange	en mélange	seuls ou en mélange	en mélange	seuls ou en mélange	seuls ou en mélange
	<i>Méthanisation</i>	seuls ou en mélange	seules ou en mélange	seules	seules ou en mélange	en mélange	seuls ou en mélange
Traitements physico-chimiques	<i>Séchage</i>	oui	oui	-	-	-	-
	<i>Chaulage</i>	oui	oui	-	-	-	-

Le **compostage** dégrade et transforme en condition aérobie des substrats riches en matière organique (MO) en une matière organique stabilisée, et s'accompagne de perte d'eau. La montée en température hygiénise la matière. Le compostage concerne : les déchets verts ; la fraction fermentescible des ordures ménagères et les boues d'épuration urbaines pâteuses, compostées avec des déchets verts ; les effluents d'élevage. Actuellement, le compostage est un post-traitement obligatoire pour que les digestats de méthanisation soient considérés comme des amendements organiques.

La **digestion anaérobie ou méthanisation** est une méthode de valorisation énergétique où la dégradation anaérobie des MO produit du biogaz. Le digestat est une matière plus ou moins humide qui contient de la MO plus ou moins stabilisée. Il peut être épandu directement ou après différents post-traitements (séparation de phase, compostage). Les déjections animales sont en général traitées en co-digestion avec des effluents agro-industriels, des pailles, résidus de cultures... Les boues d'épuration urbaines sont souvent digérées seules. La digestion des déchets solides (déchets ménagers, industriels) nécessite leur broyage et l'adjonction d'eau.

L'épaississement consiste à ajouter un flocculant pour obtenir des boues pâteuses dont le taux de matière sèche (siccité) est d'environ 7%. La déshydratation (par filtrage, centrifugation...) permet de passer à une siccité de 20-25%. Le **séchage**, qui s'applique à des boues déjà déshydratées, ayant subi ou non un traitement biologique par digestion, vise à réduire encore le taux d'humidité de la matière (70 à 95% de siccité), pour faciliter le transport. Au cours du séchage, la majeure partie de l'azote ammoniacal est perdu par volatilisation.

Le **chaulage**, essentiellement pratiqué sur les boues déshydratées, consiste à ajouter de la chaux pour bloquer le processus de fermentation et stabiliser la matière (30% des boues en France).

D'autres traitements existent et sont actuellement en cours de développement :

- L'extraction de phosphore pour la formation de struvite
- La production d'engrais issu des urines (ou aurin)
- L'extraction de potasse et de phosphore issue des cendres
- La dégradation de la biomasse par pyrolyse (thermodégradation de la biomasse en l'absence d'oxygène), qui forme des biochars

2. Lien avec le système MAFOR du modèle

Les traitements amont des MAFOR transforment les MAFOR brutes en MAFOR de types composts et digestats. Cela revient à augmenter les gisements des MAFOR transformés au détriment de ceux des MAFOR bruts. Les MAFOR transformés ont des caractéristiques chimiques différentes des MAFOR bruts, prix en compte dans le modèle par des Keq différents.

Actuellement, les types de traitement amont intégrés au modèle sont le compostage et la méthanisation, dont les effets sur les MAFOR sont les plus importants.

Les procédés de séchage, déshydratation n'ont pas été traités ici, bien qu'ils diminuent la quantité de NH₃ perdue lors du transport. Le chaulage n'a pas non plus été étudié, car l'effet d'un changement de pH sur la capacité d'absorption de l'azote par les plantes dépend des caractéristiques du milieu récepteur. Ces paramètres ont été jugés trop complexes pour être pris en compte dans le modèle.

Enfin, les autres traitements amont des MAFOR n'ont pas été intégrés au modèle car ils représentent des gisements très faibles, mais pourront faire partie des prévisions pour 2030.

3. Indicateurs pertinents

- % du gisement qui est composté
- % du gisement qui est méthanisé
- % du gisement qui est épandu brut

4. Facteurs liés à la variable et dynamiques passées et futures

Liste des facteurs influençant et influencés par le traitement amont des MAFOR

Liste des facteurs influençant le traitement amont des MAFOR

La part du gisement composté, méthanisé et épandu brut dépend du **parc français des installations** de compostage et de méthanisation : à la fois le **nombre d'installations**, leur **répartition géographique** et leur **capacité**.

Pour le compostage comme la méthanisation, ces facteurs dépendent de plusieurs sous-facteurs :

- Les gisements disponibles des différentes matières brutes à l'échelle locale
- Le choix des différentes techniques utilisées et leurs coûts
- La demande locale en « produits » issus du traitement amont des MAFOR
- La présence de freins à l'échelle locale : nuisances olfactives, pression foncière

Liste des facteurs influencés par le traitement amont des MAFOR

Les facteurs influencés par les procédés de compostage et de méthanisation sont les caractéristiques des MAFOR suivantes :

- La valeur amendante (capacité à augmenter les teneurs en matières organiques des sols)
- La valeur fertilisante, correspondant à la disponibilité à court terme de l'azote des MAFOR
- Les potentielles émissions gazeuses à l'épandage (et au stockage) et pollutions associées

- Les teneurs en contaminants biologiques et organiques
- La densité et transportabilité

Dynamiques passées et futures liées à la variable

Dynamiques passées et futures du parc des installations de compostage et de méthanisation

Un nombre croissant d'installations

Depuis les années 2000, le parc français des plateformes de compostage n'a cessé d'augmenter : de 417 plateformes à 820 plateformes en 2010. Depuis 2010, les données les plus complètes ne concernent que les stations de compostage traitant les OMR : leur nombre est passé de 117 installations en 2000 à 600 en 2010 et à 723 à l'heure actuelle. Il faut leur ajouter les plateformes traitant les déchets verts uniquement (au nombre de 300 en 2000)⁹³.

La méthanisation s'est elle aussi largement développée, portée par des objectifs nationaux importants :

- Plan National d'Action en faveur des énergies renouvelables (2010) : Objectif d'installation de 625 MW électrique et 555 ktep pour la chaleur en 2020.
- Le plan EMAA (Energie Méthanisation Autonomie Azote) a l'objectif de passer de 90 d'unités de méthanisation à la ferme en 2012 à environ 1000 à horizon 2020
- La Programmation Pluriannuelle de l'Energie, publiée en 2018, revue en 2020 fixe des objectifs d'électricité issue de biogaz et de biométhane injecté. Elle prévoit de porter le volume de biogaz injecté à 14-22TWh en 2028, contre 0,4 TWh en 2017, et fixe des objectifs de 0,27 GW et 0,34-0,41 GW en 2023 et 2028 respectivement

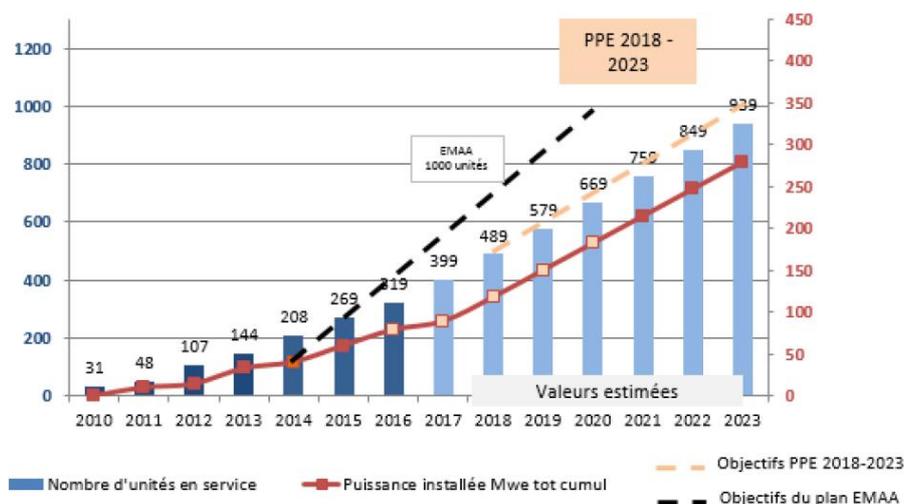


Figure 44: Evolution et perspectives de dynamique du parc d'unités de méthanisation à la ferme et centralisées, en nombre d'unités construites et en MWe installés (source : ADEME 2017⁹⁴) – ancienne version de la PPE

⁹³ ADEME 2017. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France: données 2014

⁹⁴ ADEME, 2017. Chiffres clés du parc d'unités de méthanisation à la ferme et centralisées en service au 1er janvier 2017

Une répartition homogène sur le territoire

Compostage

Les unités de compostage sont relativement bien réparties sur le territoire, avec une moyenne d'une plateforme pour 112 000 habitants en 2007⁹⁵.

La Picardie, le Poitou-Charentes et le Languedoc-Roussillon ont d'avantage de plateformes de compostage par habitant (1 pour moins de 70 000 habitants) tandis que l'Île de France, le Limousin et la région PACA en sont moins pourvues (1 unité pour 200 000 habitants).

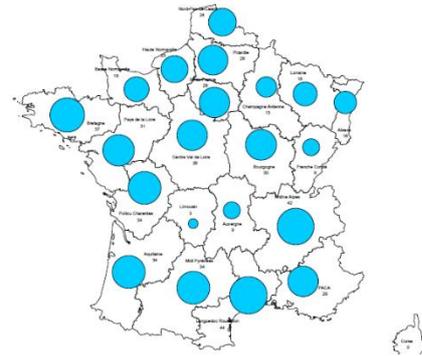


Figure 45: Répartition du parc des plateformes de compostage en France (source : ADEME 2007)

Méthanisation

Il existe des disparités régionales en ce qui concerne la production de biométhane, comme le montre la carte ci-contre:

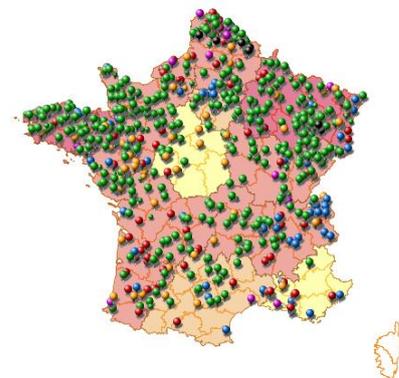
Figure 46 : Répartition du parc des plateformes de méthanisation en France (source : SINOE)

Liste des unités de méthanisation

- À la ferme
- Centralisée
- Industrielle
- STEP
- Déchets ménagers et assimilés
- Autre

Nombre d'unités par région

- Inférieur à 25
- De 25 à 49
- De 50 à 74
- Supérieur à 75



Sous-facteurs influençant le parc des installations de compostage et de méthanisation

Gisements de matières brutes selon les régions

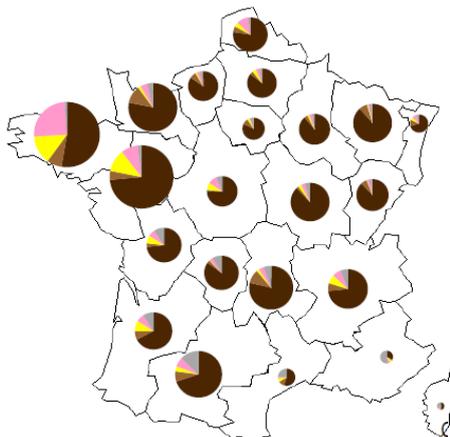


Figure 47 : Répartition géographique de la production d'effluents d'élevage récupérables en France en 2000-2001

Effluents d'élevage

La répartition du gisement des effluents d'élevage n'est pas homogène sur le territoire, comme le montre la figure ci-contre. La taille des camemberts est proportionnelle à la quantité de déjections récupérables : par exemple, elle est d'environ 4,9 Mt de MS en Bretagne, et d'environ 53 500 t en Corse.

- Fumiers bovins
- Lisiers bovins
- Effluents avicoles
- Effluents porcins
- Autres effluents d'élevage

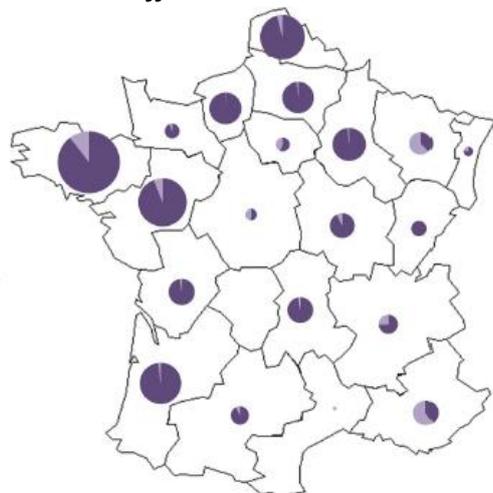
Sources : données Biomasse Normandie 2002

La quantité de déjections récupérables traduit à la fois

- une spécialisation de certaines régions en élevage
- Des modes d'élevage « hors sol », c'est-à-dire où les animaux passent une grande partie de leurs temps en bâtiments, là où les déjections sont récupérées

⁹⁵ ADEME, 2007, Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts

Déchets et effluents industriels



■ Epandage direct
■ Compostage ou méthanisation

Source : INSEE-Agreste-SSP 2008

Figure 48: répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinés à la valorisation agronomique en 2008

La répartition des déchets et effluents industriels n'est pas homogène sur le territoire. La production et la valorisation agronomique de ces déchets sont concentrées sur la façade ouest de la France. Cette production est liée à la concentration des activités agroalimentaires à l'ouest.

Autres gisements : Déchets verts, OMR, boues de STEU

Les MAFOR d'origine urbaine (OMR, boues de STEU) sont produites en plus grandes quantités dans les zones à plus forte densité de population géographique, notamment au niveau des agglomérations.

Le choix des différentes techniques utilisées et leur coût

Compostage

Il existe plusieurs techniques de compostage, adaptées selon les types de matières :

Tableau 42: Résumé des principales techniques de compostage. Source : ADEME 2015 Fiche technique compostage⁹⁶

Techniques de compostage	Durée de maturation	Types de gisement traités	Etapas du procédé technique
Compostage à ciel ouvert	Plusieurs mois	Déchets verts	Retournement les premières semaines grâce à un chargeur ou un retourneur d'andain
Compostage en casier/ couloir sous aération forcée	3 à 4 semaines au minimum	Boues d'épuration urbaines et industrielles, parfois après méthanisation et structurant (écorces de bois, déchets verts broyés)	Mise en casier avec aération forcée, éventuel retournement intermédiaire. Criblage du produit à la fin
Compostage en réacteur fermé	2 à 3 semaines au minimum	Biodéchets industriels et ménagers	Similaire au compostage en casier, avec niveau de confinement supérieur
Compostage à la ferme	Plusieurs mois	Lisiers, fumiers	Mise en andain et 2 retournements
Lombricompostage	4 à 6 mois	Fumiers, boues et biodéchets	Dégradation de la matière organique par vers du genre Eisenia

En lien avec les procédés de traitements, les coûts et investissements des différents modes de traitements sont variables, ainsi que le niveau de développement :

- Le compostage à ciel ouvert est le plus efficace économiquement, et le plus répandu. L'investissement moyen pour une installation de compostage de ce type est de 850 000 €, avec une forte variabilité selon la taille.

⁹⁶

ADEME, 2015. Fiche technique : Le compostage

- Les installations de compostage en casier requièrent un investissement deux fois plus important que les installations à ciel ouvert, tandis qu'il est 4 fois plus important pour le compostage en réacteur fermé.
- Les procédés de lombricompostage, quant à eux, sont beaucoup plus rares : on les retrouve principalement en gestion de proximité domestique et sur quelques petites unités industrielles.

Méthanisation

Comme pour le compostage, la nature des gisements influence les techniques de méthanisation : les procédés à voie humide (<15% de matière sèche) sont préférés pour les effluents liquides (boues et lisiers), tandis que les procédés à voie sèche (15 à 40% de matière sèche) sont plus adaptés aux déchets solides. D'autres différences existent dans les procédés techniques, notamment la température de fermentation : entre 35 et 40°C (mésophile) ou entre 50 et 60 °C (thermophile). Ce deuxième procédé engendre des surcoûts dus à la consommation de chaleur mais permet une meilleure hygiénisation des pathogènes, et est souvent requis pour le traitement des biodéchets.

Le mode d'alimentation du méthaniseur en déchets varie également (continu, discontinu, semi-continu). Enfin, les digestats obtenus peuvent faire l'objet de traitements supplémentaires, qui augmentent le coût des installations. Certains méthaniseurs mettent en place une séparation des phases de leur digestat. Cela permet de récupérer séparément une partie liquide fertilisante et une partie solide, peu fertilisante mais fortement amendante. La phase solide peut être séchée ou faire l'objet d'un compostage. Les digestats bruts peuvent eux aussi être séchés.

Ainsi, le coût des méthaniseurs varie en fonction de nombreux facteurs. Les plus importants restent leur taille et la nature des effluents traités, comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 43: Résumé des coûts de méthanisation liés à l'investissement selon le type d'effluents traités. Source : ADEME 2015 Fiche technique méthanisation⁹⁷

Déchets ménagers	Effluents industriels	Boues d'épuration			Effluents agricoles		
		< 10 000 EH	10 000 à 100 000 EH	>100 000 EH	35 kWe	170 kWe	500 kWe
500 - 1200 €/tonne	1 000 et 5 000 €/ tonne de DCO entrante	2 000 à 3 000 €/ tonne de MS	1000 à 2000 €/ tonne de MS	500 à 1000 €/ tonne de MS	0,3 à 0,5 M€	1,3 à 1,5 M€	2,5 à 3,2 M€

Répartition géographique de la demande des produits issus du prétraitement des MAFOR : compost, biogaz et électricité

Pour les plateformes de compostage, la présence d'une demande locale en compost

Le développement de filières de compostage des MAFOR est en partie conditionné par la possibilité de valoriser le compost à une échelle locale.

Conformément à la réglementation, seules les MAFOR considérées comme « produits » sont commercialisées et font l'objet d'échanges marchands.

Les autres MAFOR, celles qui ne font pas l'objet d'une commercialisation officielle, sont soumises au principe du "zéro euro rendu racine", qui rend les producteurs responsables des déchets jusqu'à leur élimination. Il arrive que les producteurs de MAFOR fournissent et épandent ces matières à leur charge. Il arrive également que ces matières fassent l'objet d'échanges entre agriculteurs "producteurs" et "utilisateurs" à l'échelle locale, ceux-ci pouvant être marchands (un prix étant fixé à la tonne de fumier récupérée chez l'exploitant par exemple) ou non. Ce prix est relativement faible et peut constituer un frein à leur épandage à de grandes distances.

⁹⁷ ADEME, 2015. Fiche technique : La méthanisation

A noter toutefois que le recours à des traitements amont des MAFOR permet d'améliorer leur transportabilité.

Pour les méthaniseurs, la possibilité de se raccorder aux réseaux de gaz et d'électricité

Pour les méthaniseurs, la nécessité de se raccorder à un réseau (de biogaz ou électrique) conditionne la localisation des installations. Ce positionnement influe fortement les gisements disponibles, en regard de l'importance que représentent les coûts de transports dans le fonctionnement des installations.

La présence de freins à l'échelle locale

Nuisances olfactives et syndrome NIMBY

L'expression « syndrome NIMBY » (Not in my backyard) désigne l'attitude d'une personne ou d'un groupe de personnes qui refusent l'implantation dans leur environnement proche d'une infrastructure, pourtant d'intérêt collectif.

Dans le cas présent, les nuisances olfactives générées par les épandages de boues ou les plateformes de traitement (stockage, compostage) constituent une source de rejet et de difficultés. Elles peuvent constituer un frein à la mise en place de ces installations à l'échelle locale.

Pression foncière

La forte pression foncière rencontrée dans certaines régions peut constituer un frein à la mise en place d'installations de prétraitements des MAFOR. En 2007, une étude a notamment montré que le nombre de composteurs était moins important en Ile de France, Rhône-Alpes et au Nord-Pas-de-Calais du fait de ce phénomène⁸⁸.

Description des facteurs influencés par le traitement amont des MAFOR

Le tableau ci-dessous renseigne de façon synthétique sur l'influence qu'ont les pré-traitements sur les facteurs influencés. Seul le coefficient d'équivalence aux engrais azoté y est présenté, car c'est celui qui présente la plus grande variabilité en fonction de la nature de la MAFOR. De manière générale, les MAFOR présentent un coefficient d'équivalence aux engrais phosphatés (ou Valeur fertilisante Phosphatée, VFP) élevé. De même, la totalité de la potasse est disponible.

Tableau 44: Caractéristiques des MAFOR selon les traitements. D'après ESCo MAFOR 2014

Traitement	Source de la MAFOR	Valeur amendante organique	Valeur fertilisante Keq(N)	Emissions gazeuses à l'épandage	Contaminants biologiques	Contaminants organiques
MAFOR brutes	<i>Fumier</i>	Elevée (25% de la MO contribue au stock)	10-20% Rapport C/N élevé	Peu de NH4 mais risque élevé à l'épandage N2O : 0,11% du N total	Pathogènes, virus, parasites. Bactéries résistantes aux antibiotiques	Antibiotiques, hormones
	<i>Lisier</i>	Très faible	bovins : 35-65% porcs : 30-65% volaille : 70-85%	50 à 70% du N sous forme NH4, risques importants N2O : 0,94% du N total		
	<i>Boues de STEU brutes ou séchées</i>	A priori faibles mais peut rejoindre les ordres de grandeur du fumier	Liquides : 30-50% Pâteuses : 15-30%	Variable selon les teneurs en NH4 N2O : de l'ordre des lisiers		
	<i>Effluents industriels</i>	Faible en général	Très variable, <60%	Variables	Peu de données	Peu de données
Composts	<i>Effluents d'élevage</i>	Elevée	10 à 20%	Faibles (volatilisation pendant le compostage)	Montée en température	

	Boues d'épuration				importante pour inactiver les pathogènes	Tend à diminuer la disponibilité des contaminants
	Compost urbains (déchets verts, biodéchets, OMR)	Elevée OMR < déchets verts = biodéchets	<20% déchets verts = biodéchets < OMR		Idem effluents et boues	Idem, grande diversité qui dépend des matières entrant en compostage
Digestion anaérobie - méthanisation	Effluent d'élevage	Faible pour les boues Phase solide a une valeur amendante plus élevée	Phase : Liquide 50-70% Solide 40-65%	Augmente teneur NH4 et donc des risques Diminue risque pour N2O	Diminue la teneur (moins efficace que compostage), surtout en digestion thermophile	En rapport avec la MAFOR d'origine ; peu de différence avant / après
	Boues d'épuration		Digestat composté <20%			
	Digestats d'origine urbaine					
Séchage thermique	Boues	Non modifiée	Diminuée par la volatilisation NH3 au cours du procédé	-	La montée en température en inactive une partie	Peu modifiée par rapport à la boue pré-traitement
Chaulage	Boues	Pas d'amendement organique mais amendement basique	Similaire à la boue pré-traitement	Limitée car ont lieu au traitement. Le NH4 restant est volatilisé à l'épandage (pH élevé)	Teneurs diminuées. Le chaulage poussé (pH12) assure l'hygiénisation	Peu modifiée par rapport à la boue pré-traitement

Concernant la densité des matières fertilisantes, reliée à leur transportabilité, les traitements tendent à les densifier et à augmenter leur teneur en nutriments. Cependant les teneurs en NPK des MAFOR restent de 10 à 100 fois inférieures à celles des engrais minéraux.

Enfin, on peut résumer les principaux effets de stockage et de traitements :

- La montée en température assure l'hygiénisation
- L'aération entraîne des émissions gazeuses pendant le traitement et les limite à l'épandage
- Le chaulage assure l'hygiénisation et entraîne des émissions gazeuses pendant le procédé
- La durée du traitement augmente la stabilisation de la MO
- L'activité biologique stabilise la MO, produit du biogaz, et dégrade les contaminants organiques

5. Rétrospective situation actuelle de la variable clé

La situation de 2011 est résumée dans le tableau 4. La majorité des effluents d'élevage était alors épandue brute.

Tableau 45: Devenir des principales MAFOR brutes en 2011. Source ESCo MAFOR 2014

MAFOR		Année gisement	Année traitement	Gisement (MB)	Compostage		Méthanisation		Epandage direct	
					Mt	%	Mt	%	Mt	%
Effluents d'élevage		2010	2014 et 2013 (à la ferme)	122,60	12,60	10,3%	1,00	0,8%	109,00	88,9
DMA	Tri TMB	2015	2016	0,93	0,50	54,0%	0,43	46,0%	0,00	0,0%
DMA	Déchets verts	2013	2014	4,82	4,69	60,4%	0,53	6,8%	-	-
GP	Déchets verts	2013	2014	2,95						
DMA	Alim	2013	2014 et 2013 (à la ferme)	0,14	0,20	14,4%	0,13	9,4%	-	-
GP	Alim	2013	2014 et 2013 (à la ferme)	1,25						
Boues STEP		2011	2011	4,24	1,32	31,2%	0,00	0,0%	1,77	41,8%

Boues hors IAA	2008	2008	8,80	0,34	3,9%	0,01	0,1%	1,61	18,3%
Boues IAA	2008	2008	10,80	0,21	1,9%	0,18	1,7%	4,92	45,6%

Compostage

Depuis les années 2000, la filière de compostage s'est largement développée, comme en témoignent les chiffres présentés ci-dessous concernant les plateformes de compostage accueillant les déchets ménagers. La quantité de déchets ménagers envoyés en compostage n'a cessé d'augmenter depuis les années 2000 (5,8 % par an en moyenne), tandis que le nombre de plateformes de compostage a augmenté et semble se stabiliser depuis 2010. Cette déconnexion entre quantités traitées et nombre de stations s'expliquent par la taille des stations de compostages : les plus petites installations ont fermé, et des installations plus importantes ont ouvert⁹⁸.



** Dont 928 kt compostées avec TMB en amont

Figure 49 : Evolution des quantités de déchets envoyés en compostage et de composts produits (source : ADEME 2017)

⁹⁸

ADEME 2017. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France: données 2014

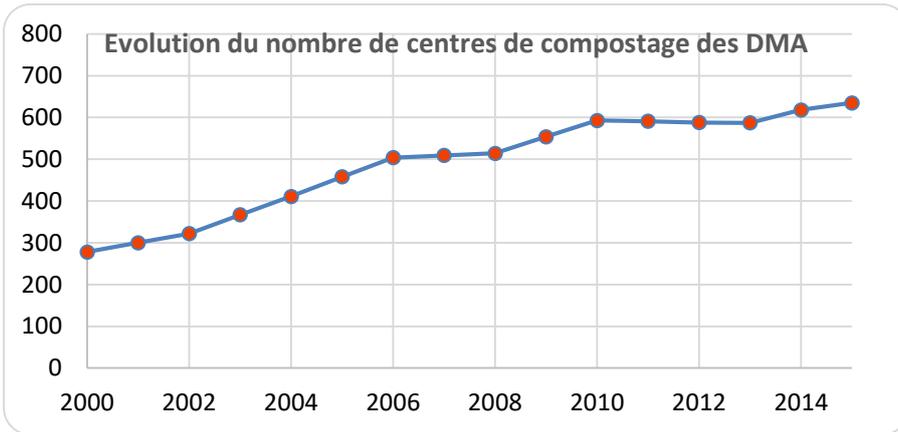


Figure 50 : Evolution du nombre de plateformes de compostage des DMA (source : ADEME 2017)

9. Glossaire

AB : Agriculture Biologique

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AGEC : Anti-gaspillage Economie Circulaire

AME : Scénario « avec mesures existantes »

AMS : Scénario « avec mesures supplémentaires »

ANPEA : Association Nationale Professionnelle des Engrais et Amendements

APCA : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture

BIBE : Bois d'industrie et bois d'énergie

CAS : Centre d'analyses stratégiques

CETIOM : Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains

CGAAER : Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux

CGDD : Commissariat Général au Développement Durable

CGEDD : Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable

COMIFER : Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée

COP 21 : 21^e Conférence des parties

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

DEB : Direction de l'Eau et de la Biodiversité

DGEC : Direction Générale de l'Energie et du Climat

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

DEGC : Direction générale de l'énergie et du climat

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

DV : Déchet vert

EGA : Etats Généraux de l'Alimentation

EU : Commission Européenne

ESCO : Expertise scientifique collective

ETM : Element Trace Métallique

FNADE : Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Environnement

FNSEA : Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles

FREC : Feuille de Route Economie Circulaire

GES : Gaz à Effet de Serre

GP : Gros Producteur (de biodéchets)

IAA : Industrie Agro-Alimentaire

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

IDDRI : Institut du Développement Durable et des Relations Internationales

IDELE : Institut de l'Elevage

IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin

INEC : Institut National de l'Economie Circulaire

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

ITOM : Installations de Traitement des Ordures Ménagères

LTECV : Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte

MAAF : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt

MAFOR : Matières Fertilisantes d'Origine Recyclées

MB : Matière Brute

MEDDE : Ministère de l'Écologie et du Développement durable

MEEM : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer

MFSC : Matières Fertilisantes et Supports de Cultures

MO : Matière Organique

MTES : Ministère de la Transition écologique et solidaire

MS : Matière Sèche

NDC : New Distribution Capability, ou Contributions Déterminées au niveau National (NDC)

OMR : Ordures Ménagères Résiduelles

PPE : Programmation Pluriannuelle de l'énergie

RGA : Recensement Général Agricole

RITMO : Centre de recherche et développement pour les matières fertilisantes et la qualité des agrosystèmes

SAU : Surface Agricole Utile

SDES : Service de la donnée et des études statistiques

SEEIDD : Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable

SFAB : Service Forêts Alimentation Biodiversité

SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone

STEP : Station d'épuration urbaine

STEU : Stations de traitement des eaux usées

TMB : Tri Mécano-Biologique

TYFA : Ten Years for Agroecology in Europe

UE : Union Européenne

UGB : Unité Gros Bovins

UNIFA : Union des Industries de la Fertilisation

ZEN : Zéro Emissions Nettes