

Etude sur la structuration de filières de séparation à la source des urines en région Ile-de-France

© OCAP



TABLE DES MATIERES

Lexique.....	4
1. Introduction	5
1.1. Séparer les urines à la source : une réponse innovante aux défis de l'eau, de l'agriculture et du climat ?	5
1.2. Une étude pour identifier les conditions d'un déploiement à grande échelle en Île-de-France	6
2. Quels gisements potentiels d'urines en Île-de-France, et quelles capacités de valorisation ?	7
2.1. Périmètre de l'exercice de quantification	7
2.2. Méthodes d'estimation de la production d'urine.....	8
2.3. Evaluation du potentiel d'utilisation des urinofertilisants en agriculture.....	11
2.4. Evaluation du potentiel d'utilisation des urinofertilisants en agriculture.....	12
2.5. Résultats.....	13
3. Quelles filières mobiliser, pour quels types de territoires et d'usages ?	22
3.1. Variables prises en compte pour la définition des filières.....	23
3.2. Caractérisation des filières considérées	26
3.3. Quantification du potentiel par filière	30
3.4. Résultats.....	31
4. Quelle vision stratégique pour le territoire ? Approche par scénarios	34
4.1. Objectifs stratégiques de la scénarisation	35
4.2. Différentes visions envisageables pour le territoire	35
4.3. Méthodologie	36
4.4. Résultats - taux de séparation à la source	50
4.5. Résultats - bilan matière et bilan environnemental	67
4.6. Conclusions	71
5. Quel modèle économique pour des filières soutenables ?	73
5.1. Modèles économiques de la séparation à la source : enseignements de 4 initiatives pilotes en Île-de-France	74
5.2. Valorisation des urinofertilisants : une alternative dans un marché des engrais appelé à se transformer.....	90
5.3. Chiffrage économique des trois scénarios de déploiement des filières de séparation à la source des urines.....	101
5.4. Analyse des leviers d'équilibrage du modèle économique	133
5.5. Valoriser les externalités environnementales et sociétales pour renforcer la viabilité économique des filières ?	145
6. Conclusions.....	163

6.1.	Résumé des messages clés de l'étude	163
6.2.	Chiffres clés et préconisations issus des scénarios.....	163
7.	Annexes	165
7.1.	Modèle de calcul alimentation-excrétion.....	165
7.2.	Modèle de calcul pour les gros gisements.....	166
7.3.	Résultats détaillés de l'analyse de gisements	168
7.4.	Calcul de l'utilisation d'engrais en agriculture	170
7.5.	Fiches synthétiques des filières de gestion des urines	172
7.6.	Lien entre les concentrations cibles dans les milieux récepteurs et le ratio P/Q ..	182
7.7.	Hypothèses technico-économiques utilisées pour le chiffrage économique des filières et scénarios	184
7.8.	Chiffrage économique des externalités monétaires liées à l'azote.....	192

Lexique

AESN : Agence de l'Eau Seine-Normandie

DERU : Directive des eaux résiduaires urbaines (Directive (UE) 2024/3019 du Parlement européen et du Conseil du 27 novembre 2024 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines)

EPAPS : Etablissement public d'aménagement Paris-Saclay

ERP : Etablissement Recevant du Public (par simplification, sont considérés comme ERP dans cette étude des sites et lieux ne relevant pas nécessairement de la définition légale des ERP)

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

IPR : Institut Paris Région

IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique (découpage territorial infracommunal notamment utilisé pour la statistique liée au recensement de la population)

N : Azote

P : Phosphore

RPG : Registre parcellaire graphique

SAU : surface agricole utilisée

STEP : station d'épuration

SVDP : Saint-Vincent de Paul

ZAC : zone d'aménagement concertée

1. Introduction

1.1. Séparer les urines à la source : une réponse innovante aux défis de l'eau, de l'agriculture et du climat ?

Avec un développement démographique continu de l'Ile-de-France et des effets du réchauffement climatique de plus en plus visibles sur la baisse des débits des cours d'eau, la résilience des systèmes d'assainissement franciliens pose question. En première ligne, le traitement de l'azote et du phosphore, deux facteurs limitants du bon état écologique des masses d'eau, devient un enjeu particulièrement stratégique.

Depuis plusieurs années, l'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) a engagé et soutient des travaux scientifiques de recherche portant sur la séparation des urines à la source. Les systèmes de séparation à la source des urines constituent une solution innovante visant à détourner les urines du circuit traditionnel des eaux usées pour les transformer en fertilisants valorisables en agriculture, sans passage en station d'épuration. Ces filières répondent ainsi à plusieurs enjeux majeurs :

- **Améliorer l'état écologique des milieux aquatiques** : les stations d'épuration (STEP), parfois saturées, peinent à traiter efficacement l'azote et le phosphore, entraînant des rejets polluants dans les milieux naturels. Or, bien que les urines ne représentent qu'environ 1% du volume des eaux usées, elles concentrent à elles seules 80% de l'azote et 45% du phosphore. Leur séparation en amont permet donc de réduire significativement les flux de nutriments à traiter en STEP, facilitant dans le même temps l'atteinte des seuils réglementaires (notamment ceux de la directive européenne DERU 2), et évitant dans certains cas des mises à niveau coûteuses des STEP.
- **Renforcer la souveraineté alimentaire** : en valorisant les urines séparées comme fertilisants, ces filières permettent de substituer des engrais azotés de synthèse par des ressources locales, disponibles de manière stable et prévisible. Elles contribuent ainsi à sécuriser l'approvisionnement en nutriments des sols agricoles, un facteur clé en faveur dans la souveraineté alimentaire du pays.
- **Réduire les émissions nationales de gaz à effet de serre** : en comparaison avec les systèmes actuels d'assainissement et de fertilisation, les filières de séparation à la source permettent d'éviter une partie des émissions de gaz à effet de serre tout au long de leur cycle de vie, notamment les rejets de protoxyde d'azote (N_2O) générés lors du traitement des eaux usées en station d'épuration.

Des premiers projets pilotes à grande échelle sont en cours de développement en Île-de-France. Leurs résultats sont encourageants et permettront de documenter les performances techniques, économiques et environnementales de ces filières, afin de poser les bases d'un déploiement plus large à l'avenir. Mais malgré l'ambition portée par ces projets, les volumes d'urines prévus pour être détournés du système d'assainissement restent, en proportion, très faibles par rapport à ceux collectés via le tout-à-l'égout. Au vu de l'urgence d'accélérer la transition écologique, l'enjeu est aujourd'hui d'envisager un changement d'échelle avec le **déploiement massif de filières de la séparation à la source des urines à l'échelle de la Région Ile-de-France.**

1.2. Une étude pour identifier les conditions d'un déploiement à grande échelle en Île-de-France

Pour faciliter ce passage à l'échelle, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, l'ADEME et l'Ecole des Ponts ParisTech ont souhaité mener une étude visant à déterminer les conditions technico-économiques d'un déploiement massif de filières sur l'ensemble de la Région Ile-de-France. **Cette étude explore donc, à horizons 10 et 20 ans, plusieurs scénarios de déploiement à grande échelle de ces filières sur le bassin francilien.**

Elle vise à répondre aux questions suivantes :

- **Dans quelle mesure la séparation à la source peut-elle représenter un gisement de nutriments azotés** valorisable pour la filière agricole francilienne ?
- **Quelles sont les modalités techniques de déploiement** des filières, compte tenu des spécificités territoriales ?
- **Dans quelle mesure ces filières pourraient-elles contribuer aux objectifs territoriaux** en matière de réduction des pollutions dans les bassins d'eau, de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ou encore de conformité avec les exigences de rendement fixées par la DERU 2 pour les stations d'épuration ?
- **Quelles sont les conditions économiques** d'un déploiement à grande échelle de ces filières ?

2. Quels gisements potentiels d'urines en Île-de-France, et quelles capacités de valorisation ?

L'exercice de modélisation nécessite une image approfondie du territoire en termes de gisements potentiels d'urines, et de possibilités d'utilisation en agriculture. Cette partie vise à estimer les quantités disponibles en volume et en nutriments, ainsi que les usages auxquels ce gisement pourrait répondre. Nous distinguerons donc l'aspect « production » de l'aspect « utilisation ».

2.1. Périmètre de l'exercice de quantification

Le périmètre retenu pour l'étude est celui de la région Île-de-France.

De manière générale, l'échelle spatiale retenue pour l'application de la méthodologie et la présentation des résultats est **l'échelle de la commune**. Néanmoins, certains calculs pourront être exploités à l'échelle de la maille IRIS, maille statistique à laquelle est réalisé le recensement de la population par l'institut national de la statistique et des études économiques (INSEE).

L'évaluation est réalisée à différents horizons temporels. Elle s'appuie sur une **année de référence représentative entre 2020 et 2024 et dont les données sont accessibles**. Dans les résultats, la date de référence pour cette année représentative est fixée à 2020.

Pour la scénarisation, deux horizons prospectifs sont ciblés : un **horizon 2035** et un **horizon 2045**. Pour prendre en compte l'évolution de la structure de la population entre ces deux horizons temporels, l'étude se base sur les données prospectives population-emploi (dites P+E) communiquées par l'Institut Paris Région (IPR) dans le cadre de cette étude, pour les années 2030 et 2040. Ces données se basent sur une projection de construction de bâtiments neufs, ainsi que d'indicateurs sociaux, et comprennent un scénario haut (programme de construction ambitieux) et un scénario bas (projection du tendanciel). D'après l'IPR, la trajectoire actuellement suivie est celle du scénario bas, et a donc été retenue pour la projection des gisements.

Comme l'illustre la Figure 1, les projections 2035 et 2045 sont construites à partir d'une interpolation linéaire sur la base de la pente entre 2030 et 2040.

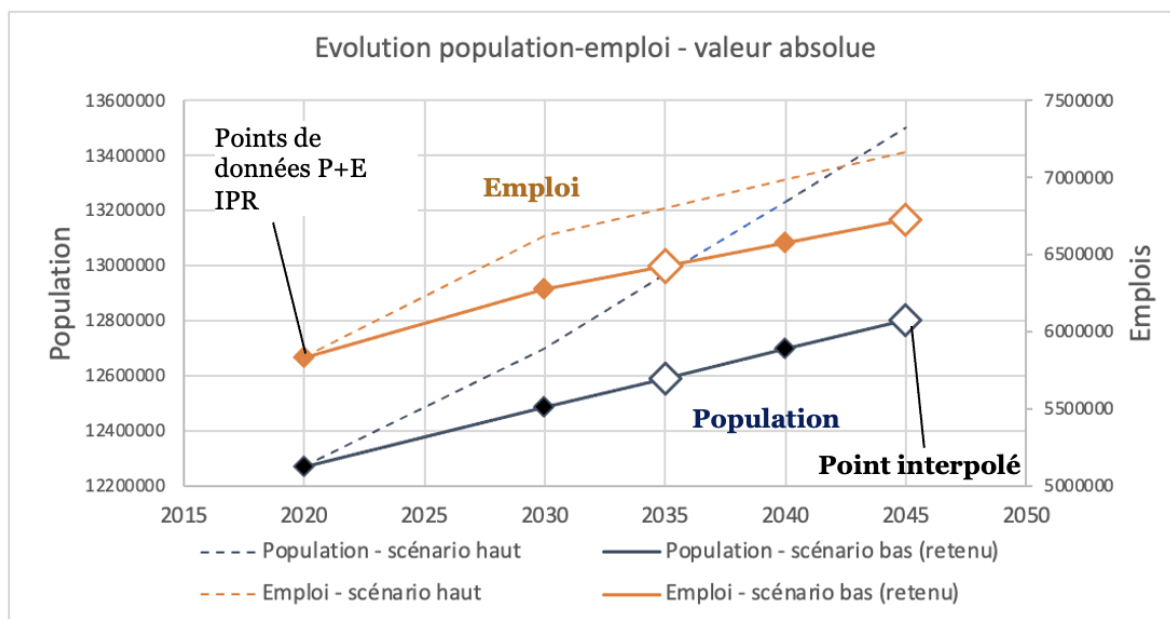


Figure 1. Evolution population-emploi¹.

Les éléments comptabilisés dans l'étude, pour la partie gisement comme pour la partie usage, sont l'Azote (N) et le Phosphore (P). Le potassium (K) n'est pas quantifié du fait des limites des modèles actuellement utilisés, insuffisamment précis pour cet élément.

L'azote est caractérisé par sa fraction minérale (Nmin) et sa fraction organique (Norg). Attention, par souci de lisibilité et d'homogénéité, le phosphore est comptabilisé en tonne de P pur et non en tonne de P₂O₅ (unité classiquement utilisée en agriculture)².

2.2.Méthodes d'estimation de la production d'urine

Le calcul du gisement d'urine est un exercice pour lequel il n'existe à l'heure actuelle pas de méthodologie consensuelle issue de la littérature technique ou scientifique. La méthodologie présentée ici se base sur le retour d'expérience et dans la continuité des exercices exploratoires ayant été réalisés sur Toulouse Métropole en 2022 (Solagro & INSA Toulouse, 2022)³, sur Bordeaux Métropole en 2024 (MAMMO et al. 2024), et sur le modèle alimentation-excrétion développés dans le cadre du projet de recherche ANR TANGO⁴. **Tous les calculs sont effectués sur la base d'un flux annuel.**

Deux approches complémentaires sont utilisées :

- **L'approche globale** vise à estimer le gisement total sur le territoire en se basant sur des données statistiques. Elle permet de répartir ce gisement entre les flux produits au domicile, et ceux produits hors du domicile, en distinguant parmi ces derniers les flux associés aux emplois, à la formation, au tourisme, et aux loisirs. **Cette approche vise**

¹ Données Institut Paris Région et interpolation Solagro/Le Sommer Environnement

² Pour rappel, une unité massique de P₂O₅ correspond à 0,437 unité massique de P.

³ Solagro et INSA Toulouse (2022), TeValU - Analyse Territoriale de la valorisation des sous-produits de la séparation à la source des eaux usées. Pour la méthodologie, voir : Lienart, N. (2022). *Mémoire de thèse professionnelle MSEI - Projet TeValU*.

⁴ <https://anr.fr/Projet-ANR-22-CE22-0009>

l'exhaustivité, et permet de déterminer la quantité maximale de gisement existant. Elle peut être déclinée spatialement, à la maille communale ou infra-communale (IRIS) afin d'identifier la distribution (très corrélée à la densité de population), et la pression sur les stations d'épuration.

- **L'approche par gros gisements** vise à estimer le gisement théorique disponible pour certaines catégories d'établissements ou de lieux, jugés intéressants à étudier dans une optique de scénarisation et d'implémentation de nouvelles filières. Il s'agit par exemple d'établissements connaissant une fréquentation importante, et/ou un temps de séjour des publics important (aéroports, établissements scolaires, établissements de santé, salles de spectacle...). Cette approche se base sur une étude établissement par établissement, mobilisant des statistiques locales, régionales, ainsi que des hypothèses spécifiques à chaque type d'établissements. **L'objectif n'est pas l'exhaustivité, mais plutôt d'estimer l'importance relative des différents types d'établissements** en termes de gisements d'urines.

Au-delà de ces approches, deux types de méthodes sont possible pour évaluer les gisements d'urine et de nutriments :

- La **méthode jour** qui se base sur le flux journalier excrété par une personne (selon son âge) et le nombre de jours passés dans un lieu ;
- La **méthode passage** qui se base sur le nombre de mictions théoriques qu'une personne excrète dans un lieu, associé au volume et à la composition des mictions.

L'évaluation proposée dans cette étude combine ces deux méthodes, selon les gisements considérés. Plus de précisions sur ces méthodes sont proposées en [Annexe 7.1](#).

2.2.1. Principales hypothèses retenues pour l'évaluation des gisements

L'approche globale se base principalement sur les statistiques fournies par l'IPR, auxquelles sont appliquées des hypothèses qui sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Principales hypothèses de quantification des gisements d'urine pour l'approche globale

Gisement	Année de référence	Prospectif	Mode de calcul	Hypothèse structurante
DOMICILE	P+E 2020	P+E (extrapolation linéaire)	Ratio emploi du temps INSEE ⁵ Temps de présence	Nombre de jours d'absence du domicile : 19,5 jours par an ⁶ soit 95% de taux de présence
EMPLOI	P+E 2020	P+E (extrapolation linéaire)	Méthode passage	Nombre de mictions théorique : 3,94 mictions/j/p ⁷

⁵ Ratios construits à partir de l'étude INSEE 2011 sur l'emploi du temps moyen de la population, différencié par sexe et certaines catégories socio-professionnelles.

⁶ Ce chiffre dépend en réalité de la catégorie socio-professionnelle (Quels sont les Français qui voyagent ? INSEE 2023). La valeur utilisée correspond à la valeur moyenne compte-tenu des caractéristiques de la population Francilienne (cette valeur n'a pas été ajustée à l'échelle infra-communale afin d'éviter de complexifier le modèle, les écarts sur ce paramètre étant faibles).

⁷ Ce nombre de passage correspond à un calcul théorique se basant sur l'égalité entre la méthode "flux" et la méthode "passage". Le calcul se base sur l'hypothèse de 1731 mL/j d'urines, un volume moyen de miction de 248 mL (valeurs adultes), un nombre de jours travaillés moyen de 213 jours par an (Durée et organisation du temps de travail, INSEE 2023), et d'un taux d'urines excrétées sur le lieu de travail de 32,9% (Ratio emploi du temps INSEE 2011). Voir [annexe](#) pour le détail.

FORMATION	MESR / MEN 2023	Indexé sur la population	Méthode passage	Nombre de mictions théorique (suivant lieux, sauf universités ⁸)
TOURISME	Région 2024	+10% à horizon 2045 (arbitraire)	Méthode jour	Données région, vérifiées par analyse statistique INSEE
AUTRES - LOISIRS	P+E 2020	P+E (Extrapolation linéaire)	Ratio emploi du temps INSEE Temps de présence (95%)	

L'approche par gros gisements se structure autour d'une typologie de lieux étudiés⁹, issus d'une analyse de leur intérêt (nombre, volume potentiel). Cette liste et les données associées (effectif) a été construite à partir de bases de données officielles, des données de l'Institut Paris Région, et de recherches complémentaires en ligne. Considérés comme moins prioritaires pour des raisons de difficulté de mise en place de la séparation à la source, les établissements de soin (hôpitaux, cliniques, etc.), les établissements de résidence (prisons, EHPAD, internats, etc.) et l'hôtellerie-restauration n'ont pas été comptabilisés dans l'étude.

La quantification des volumes d'urine est réalisée à partir des valeurs retenues (hypothèses plausibles parfois étayées par des entretiens réalisés lors de précédentes études) sur le temps passé (flux) ou sur le nombre de mictions par personne (passages).

Dans certains cas, le personnel des lieux est pris en compte car il représente un gisement significatif en comparaison de celui issu du public de l'établissement. Afin de conserver une cohérence entre les différents types de lieux, des méthodologies communes sont proposées.

Le détail des valeurs retenues quant aux hypothèses de temps et de miction est présenté en [annexe](#).

2.2.2. Méthode pour la validation des données par comparaison avec les données d'assainissement

Afin de valider la méthodologie de l'approche globale présentée précédemment, **une comparaison avec les flux traités par les stations d'épuration du territoire a été réalisée.** Les flux d'azote et de phosphore en entrée de station d'épuration ont été quantifiés à partir des données d'autosurveillance des stations. Les concentrations sont mesurées dans les flux en entrée de station, incluant les bypass de la station (équivalent aux points réglementaires A2+A3 de la nomenclature Sandre "*Localisation globale du point de mesure*"¹⁰).

⁸ Dans le cas des universités, les hypothèses de temps de présence sur le lieu d'étude ne permettent pas d'obtenir un nombre de miction cohérent. Il a donc été fixé arbitrairement au nombre de miction retenu pour les collèges / lycées

⁹ Maternelles, Ecoles élémentaires, Collèges, Lycées, Université, Grande écoles, Grand établissement, Autres supérieur, Gare, Aéroport, Aires de repos, Aires de service, Gros centre commercial, Petit centre commercial, Gros musée, Petit musée, Petit parc à thème, Gros parc à thème, Île de loisir, Monument historique, Monument religieux, Château, Grosse salle de spectacle, Petite salle de spectacle, Cinéma, Stade, Congrès, Festival, Toilettes publiques, Clusters d'entreprises, Zone d'activité économique, Très grosse entreprise, Toilettes RATP

¹⁰ Eau France. SANDRE. Localisation globale du point de mesure - Référentiels - Nomenclatures [\[en ligne\]](#). 14 septembre 2023.

Les **déversoirs d'orage** ont été quantifiés à partir de l'étude de Starck et al, (2023; 2024)¹¹ : 10% des flux d'entrée des stations sont perdues en Ile-de-France.

L'apport d'azote et de phosphore par les **industries** est issu également de Starck et al, (2023; 2024)⁷, et intègre uniquement les grosses industries issues de la base de données GEREP : 2200 tN/an et 283 tP/an sont rejetés.

Le ratio d'azote et de phosphore présent dans les eaux usées provenant des excreta a été **comparé aux données de la littérature** :

- Besson et al, (2021)¹² ont abouti à 91% de l'azote des eaux usées domestiques dans les excreta et 74% du phosphore (à partir de données de composition des différents flux d'eaux usées) ;
- Starck et al, (2023; 2024)⁷ ont abouti, à l'échelle française, à 93,9% de l'azote et 75% du phosphore.

2.3. Evaluation du potentiel d'utilisation des urinofertilisants en agriculture

L'évaluation des usages agricoles des urinofertilisants équivaut à quantifier les possibilités de substitution des fertilisants minéraux par des produits issus de processus de séparation des urines. En effet, il est considéré ici que les urinofertilisants peuvent remplacer uniquement des fertilisants minéraux (apport pour piloter la croissance des plantes au plus proche de leurs besoins) et non des amendements, type compost (apport pour améliorer les propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques du sol).

L'évaluation englobe à la fois des usages agricoles et non-agricoles, à savoir les usages en espaces verts, sur des golfs, sur des terrains de sport et la consommation d'engrais par les particuliers¹³.

Le calcul se réalise en trois étapes : (1) évaluer les surfaces ; (2) évaluer les besoins agronomiques associés à ces surfaces et (3) en déduire l'utilisation de fertilisants, en déterminant la part substituable.

Les surfaces agricoles sont évaluées à partir des données du Registre Parcellaire Graphique (RPG 2023), agrégées à la maille communale. Cette méthodologie permet de déterminer la surface allouée à chaque culture dans chaque commune du territoire.

Les surfaces fertilisées non agricoles ont été évaluées de la manière suivante :

- Terrains de sports ayant une surface enherbée : base de données Institut Paris Région / Ministère des sports¹⁴,

¹¹ Starck, T., Fardet, T., Esculier, F., 2023. Phosphorus recycling from human excreta in French agroecosystems and potential for food self-sufficiency. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.06461>

Starck, T., Fardet, T., Esculier, F., 2024. Fate of nitrogen in French human excreta: Current waste and agronomic opportunities for the future. Science of The Total Environment 912, 168978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168978>

¹² Besson, M., Berger, S., Tiruta-barna, L., Paul, E., Spérandio, M., 2021. Environmental assessment of urine, black and grey water separation for resource recovery in a new district compared to centralized wastewater resources recovery plant. Journal of Cleaner Production 301, 126868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126868>

¹³ Les engrais des particuliers sont estimés sur la base du chiffre d'affaires national de la filière et de la population présente sur le territoire. Contrairement aux autres usages, leur évaluation n'implique donc pas le calcul d'une surface et d'une dose de fertilisation à l'hectare.

¹⁴ <https://data.iledefrance.fr/explore/dataset/recensement-des-equipements-sportifs/information/>

- Golfs : requête spatiale sur les données d'OpenStreetMap,
- Espaces verts : compilation de bases de données de la ville de Paris¹⁵, de l'IPR¹⁶ et de requête spatiale sur les données OpenStreetMap.

Pour les grandes cultures, la vigne, et les prairies, les consommations en N et P (en kg/ha) ont été évaluées à partir des données des enquêtes de Pratiques Culturelles ("Enquête PK"). Les surfaces en agriculture biologique (AB) sont considérées être fertilisées par des engrais organiques. En zone vulnérable, l'apport maximal d'engrais organique a été limité à 170 kgN/ha.

Les différentes cultures ont été regroupées au sein de 6 catégories : Céréales¹⁷, Oléagineux¹⁸, Cultures industrielles¹⁹, Prairies / Fourrages²⁰, Protéagineux²¹, « Maraîchage, Vigne, Vergers, PPAM » et Autres.

Les données obtenues ont été présentées et discutées avec la Chambre d'agriculture d'Île de France. Cet entretien a également permis de préciser la fraction d'azote minérale estimée substituable dans chaque culture, compte tenu des itinéraires techniques actuels. Pour les usages non-agricoles, les données utilisées sont à dire d'experts, issus notamment des entretiens menés dans de précédents projets (TeValU 2022, Bordeaux Métropole 2024). Enfin, les engrais utilisés par les particuliers ont été évalués à 16 gN/hab et 20 gP₂O₅/hab (TeValU - Solagro, INSA Toulouse, 2022).

2.4. Evaluation du potentiel d'utilisation des urinofertilisants en agriculture

Les besoins agricoles ont ensuite été comparés aux gisements d'urines, afin d'évaluer le potentiel de substitution des engrais minéraux. Pour réaliser cette comparaison, il est nécessaire de tenir compte du fait qu'une unité d'azote issue d'un urinofertilisant n'est pas exactement équivalente, en termes de rendements, à une unité d'azote issue d'un engrais minéral, le rapport entre ces deux valeurs étant nommé "Coefficient d'Equivalent Engrais". En première approximation et compte tenu des données issues de la littérature²², 80% de l'azote des urines est sous forme minérale, et directement substituable à des engrais minéraux²³. En ce qui concerne le phosphore, étant donné que l'apport est raisonné sur un terme plus long que l'azote, le coefficient d'équivalence est moins pertinent et il a été considéré que le P

¹⁵ https://opendata.paris.fr/explore/dataset/espaces_verts/information/

¹⁶ <https://data.iledefrance.fr/explore/dataset/espaces-verts-et-boises-surfaciques-ouverts-ou-en-projets-douverture-au-public/information/>

¹⁷ Blé tendre, Orge, Maïs grain, Blé dur, Triticale, Avoine, Sorgho, Maïs ensilage, Seigle, Sarrasin, Mélange de céréales, Épeautre, Autre céréale, Maïs doux, Millet

¹⁸ Colza, Tournesol, Lin, Autre oléagineux

¹⁹ Betterave non fourragère / Bette, Chanvre

²⁰ Prairie permanente, Prairie temporaire diversifiée, Luzerne, Autre légumineuse fourragère, Prairie rotation longue, Trèfle, Prairie temporaire - graminée pure, Fourrage annuel, Vesce, Sainfoin

²¹ Pois protéagineux, Féverole, Soja, Lentille cultivée (non fourragère), Mélange de légumineuses, Pois chiche, Météil (légumineuses prépondérantes), Lupin, Fève

²² Martin, T. (2020). *L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable. Thèse de doctorat.*

²³ En effet, dans les travaux de Martin (op. Cit.) il apparaît que le coefficient d'équivalent engrais et la fraction minérale de l'azote du Lisain (urine brute stockée) sont environ égales à 80%. En première approximation, ce résultat suggère que le coefficient d'équivalent peut être considéré comme environ égal à la part minérale de l'urino-fertilisant considéré. Dans l'exercice de comparaison préliminaire, la forme d'urino-fertilisant n'a pas été prise en compte, et l'azote total des urines a été converti en "équivalent azote minérale" en appliquant ce facteur de 80%.

contenu dans les urines pouvait substituer une quantité équivalente de P minéral. Le détail des hypothèses utilisées pour le calcul des besoins en fertilisants et de la part substituable est présenté en [annexe](#).

Par ailleurs, la quantité d'engrais utilisée aux horizons temporels 2035 et 2045 est elle-même susceptible de varier, du fait de l'évolution de la SAU et de l'assolement, et du taux de conversion en agriculture biologique. Dans le cadre de cette étude, **la comparaison entre les urinofertilisants disponibles et les usages d'engrais en agriculture a été réalisée en projetant un scénario de transition agroécologique ambitieux**, afin d'identifier les synergies (ou les freins) qui pourraient émerger dans le cas où la demande en azote minéral serait amenée à fortement diminuer. Etant donné qu'il existe un travail de quantification par type de culture associé au scénario Afterres2050, c'est ce scénario qui a été retenu (étant admis que les scénarios du Pirene Seine, sur le volet agricole et à l'échelle de l'Ile de France, auraient une trajectoire similaire). Une évolution des usages en engrais minéraux a été évaluée à partir de l'évolution de la SAU dans le scénario Afterres2050. L'objectif étant d'informer sur des ordres de grandeur, la trajectoire précise de la transition n'a pas été modélisée : on considérera en 2035 que la moitié de l'évolution est achevée, et qu'elle l'est totalement en 2045.

2.5. Résultats

2.5.1. Gisements globaux de nutriments et comparaison avec les données du système d'assainissement

A l'échelle de la région Île-de-France, le volume annuel estimé d'urines s'élève à 6,3 Mm³ dont 66% sont produites dans les domiciles des ménages, 20% sur leur lieu de travail, le reste étant réparti entre les lieux de formation (4%), les flux importés du tourisme (4%) et la part associée aux loisirs (6%).

Si le volume total augmente en raison d'une augmentation structurelle de la population, la répartition entre les différents lieux de production est stable. **Ce volume correspond à un gisement d'environ 45 200 tN et 3 100 tP en 2020**, avec un flux supplémentaire de 3000 tN et 200 tP à prévoir à l'horizon 2045. Le détail de ces résultats est présenté en [annexe](#).

Evolution de la production d'urine entre 2020 et 2045

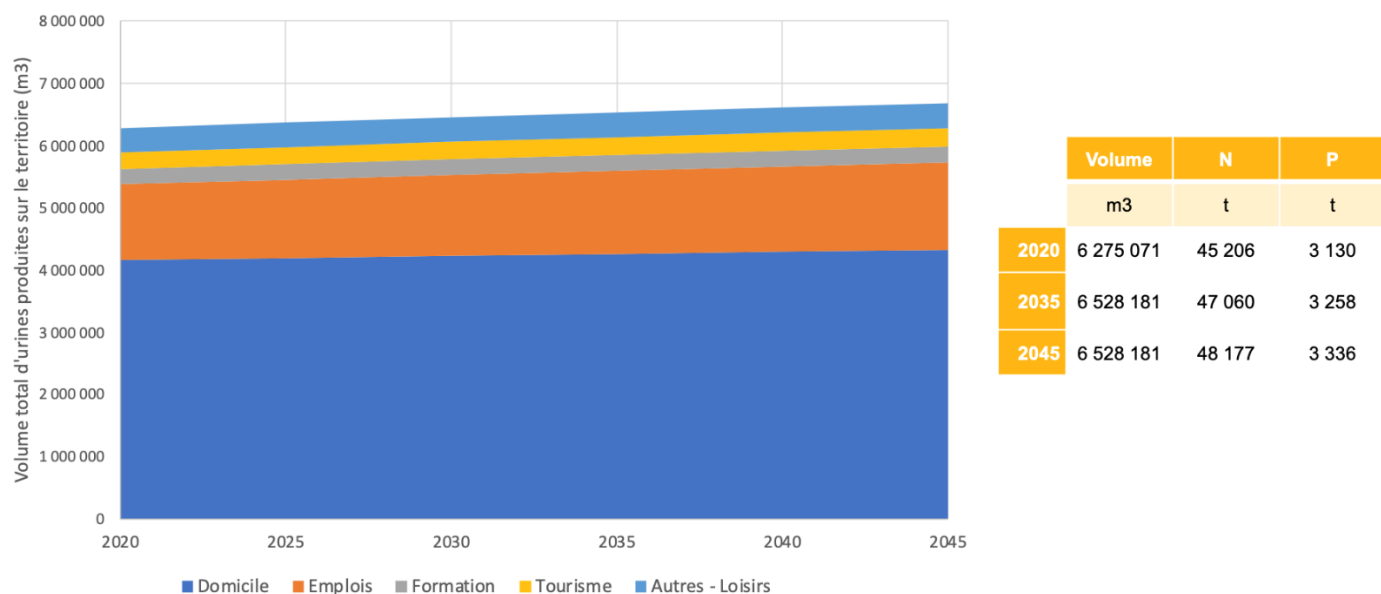


Figure 2. Evolution de la production d'urine en région Ile-de-France entre 2020 et 2045.

En tenant compte de la production de matières fécales et des flux déviés du réseau (notamment les couches pour enfants et senior), la quantité totale de nutriments entrant dans le réseau d'épuration et issue des excréments²⁴ est présentée dans le tableau ci-dessous, et comparée avec les données de surveillance des stations d'assainissement. Ces quantités sont cohérentes avec la quantité totale de nutriments entrant dans le réseau d'épuration, soit 86% et 83% respectivement pour l'azote et le phosphore de la charge entrante en station d'épuration sur le territoire.

Tableau 2. Comparaison du modèle d'excréta et de la charge entrant en station d'épuration.

	Total excrétion réseau (modèle)	Entrée de STEP (données)	Fraction en STEP provenant des excréments
	t/an	t/an	
N	51 737	60 011	86%
P	5 101	6 137	83%

Etant donné les hypothèses prises concernant les déversoirs d'orage, le bilan des flux représenté sur le diagramme de Sankey en Figure 3 montre que la quantité d'azote rejetée dans le réseau d'assainissement et ne provenant pas des excréments des habitants du territoire s'élève à 12 000 tN/an. Ce flux est normalement majoritairement composé des eaux grises, mais la valeur est supérieure à ce qui serait attendu avec les hypothèses habituelles (environ 12 mgN/L dans 110 L/pers/jour, soit environ 5 900 tN/an). Cet écart peut provenir d'une

²⁴ Pour rappel, les excréments sont un terme générique désignant l'ensemble "urines + matières fécales"

mauvaise estimation du flux des déversoirs d'orage, ou d'autres provenances plus marquées que dans d'autres régions (lixiviation des engrais agricoles, dépôts atmosphériques).

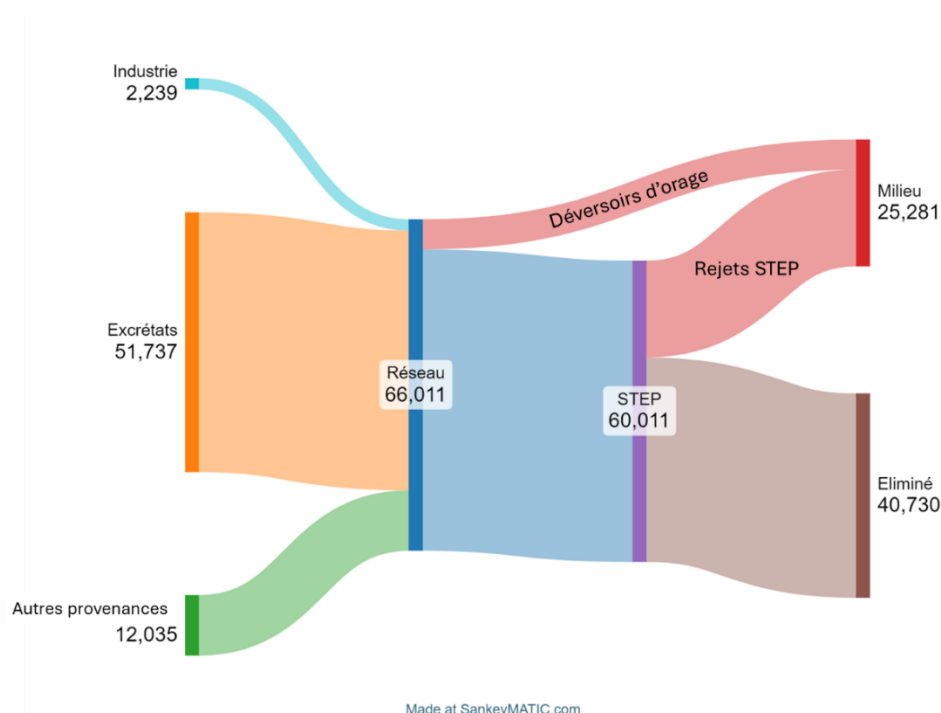


Figure 3. Devenir de l'azote en Ile-de-France (exprimé en tN/an).

2.5.2. Evaluation des gros gisements d'urine

Dans cette étude, 34 types de lieux de production de potentiels gros gisements ont été étudiés. Le gisement total d'urine et de nutriments de ces lieux, agrégés en 13 grandes catégories, est présenté dans le tableau ci-dessous. Le détail pour chaque type de lieu est présenté en [annexe](#).

Pour les près de 12 900 établissements recensés, la quantité théorique d'urine produite s'élève à 470 000 m³/an, soit 7% du gisement total identifié sur le territoire, ou encore 22% des gisements produits hors du domicile (regroupant emploi, formation, tourisme, loisirs). En termes de nutriments, ces gros gisements représentent près de 5 200 tN et 360 tP.

Tableau 3. Production d'urine (volume, tonnages N et P) des catégories établissements qualifiés de « gros gisements » dans l'étude.

	Nombre établissements	Volume m ³ /an	N t/an	P t/an
Enseignement - 1er degré	6 980	102 152	1 177	85,0
Enseignement - 2nd degré	2 303	133 566	1 212	82,2
Enseignement supérieur	283	93 979	601	41,3
Gares	5	302	2	0,1
Aéroport	2	24 886	173	11,9
Aires d'autoroute	63	4 470	29	2,0
Centres commerciaux	38	11 185	72	4,9

Culture	49	8 736	56	3,8
Parcs à thème	28	17 509	112	7,7
Monument et patrimoine	20	2 942	19	1,3
Salles de spectacles	419	5 313	34	2,3
Stades	20	1 722	11	0,8
Espace public	2 466	14 133	90	6,2
Bureaux	176	207 868	1330	91,4

Afin d'identifier des cibles prioritaires, dans le cas d'une stratégie de déploiement de la séparation à la source dans les ERP, il est important de caractériser ces établissements d'un point de vue de la quantité (m^3/an) mais également de la concentration ($\text{m}^3/\text{établissement}/\text{an}$). En effet, la concentration du gisement varie fortement d'un type de gros gisement à l'autre.

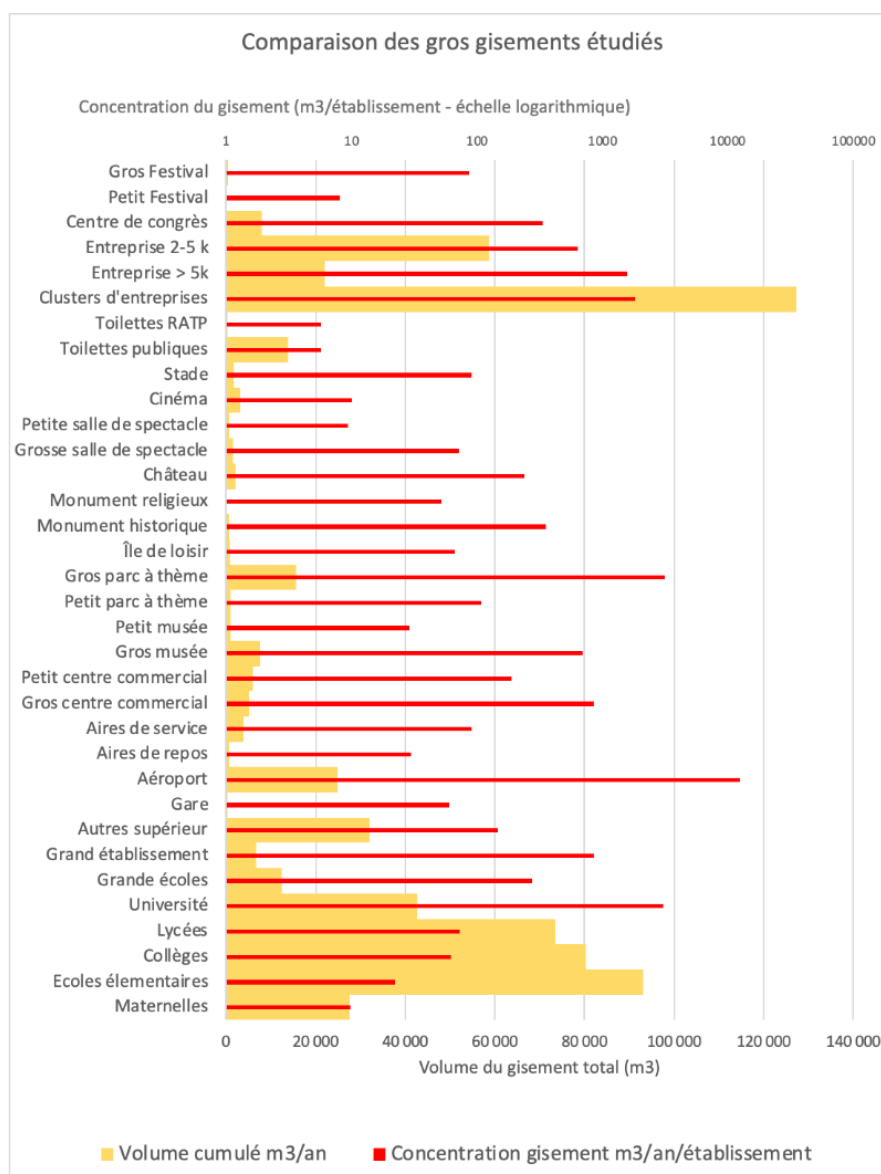


Figure 4. Volumes d'urine produit et concentration par établissement pour les catégories d'établissements considérés comme « gros gisements ».

Les établissements dans lesquels les flux sont les plus concentrés et les plus importants en valeur cumulée sont les clusters d'entreprises, aéroports et les universités. Les parcs à thèmes, et les ERP types musées, salles de spectacle ou encore les stades ont également une concentration importante du gisement, mais celui-ci est plus faible dans l'absolu. Les établissements scolaires du premier et second degré représentent, en cumulé, une part très importante du gisement, mais celui-ci se répartit dans un grand nombre d'établissements.

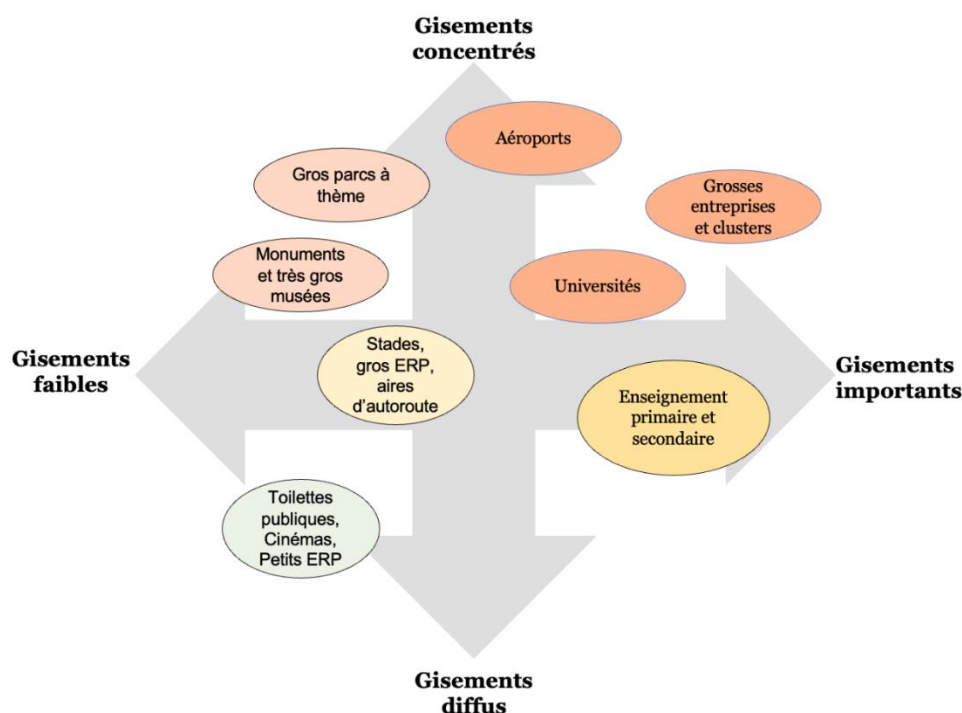


Figure 5. Comparaison des différents gros gisements selon leur quantité et leur concentration

2.5.3. Évaluation de l'utilisation d'engrais pour des usages agricoles et non agricoles

La Surface Agricole Utile (SAU) francilienne s'élève à 573 000 hectares, principalement dédiée à la culture conventionnelle de céréales (62%) et en particulier du blé (38% de la SAU).

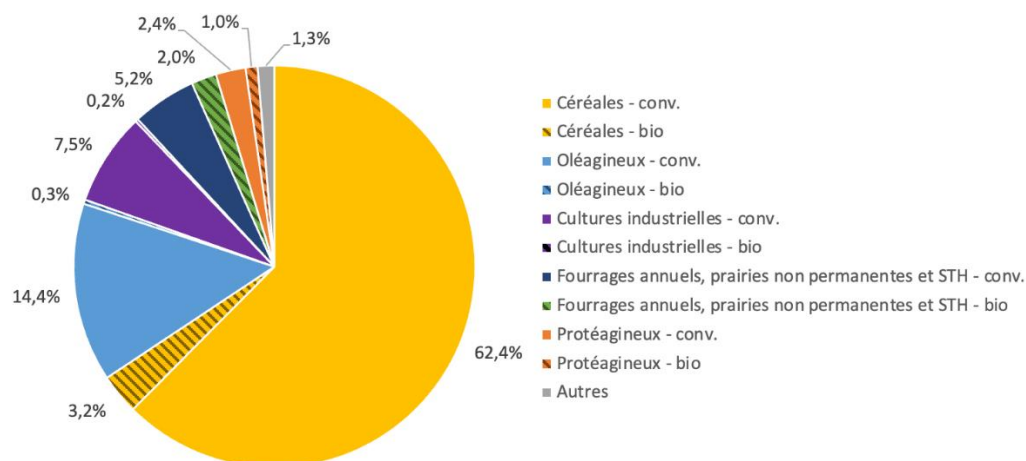


Figure 6. Assolement francilien en 2023²⁵ (Conv : agriculture conventionnelle / Bio : agriculture biologique).

²⁵ Source : RPG 2023

Les cultures incluses dans le calcul de fertilisation (c'est-à-dire, celles pour lesquelles des données de fertilisation ont été identifiées) correspondent à 96% de la SAU cultivée. **La fertilisation azotée annuelle sur ces cultures est estimée à 75 500 tN, essentiellement par apport d'azote minéral (88% des consommations).** Ces engrais sont principalement utilisés pour la culture céréalière, qui représente à elle seule 76% de l'azote minéral consommé, et 69% du phosphore (pour environ 62% de la SAU).

Les urino-fertilisants ont un coefficient d'équivalent engrais proche de leur teneur en azote minéral. En prenant en compte les itinéraires techniques actuels et d'après les hypothèses issues de l'entretien réalisé avec la Chambre d'Agriculture d'Île-de-France, il est estimé que la moitié de l'azote minéral (35 900 tonnes) pourrait être substitué par la fraction minérale des urino-fertilisants. La quantité de phosphore utilisée annuellement correspond à 7 800 tP par an, considéré comme intégralement substituable.

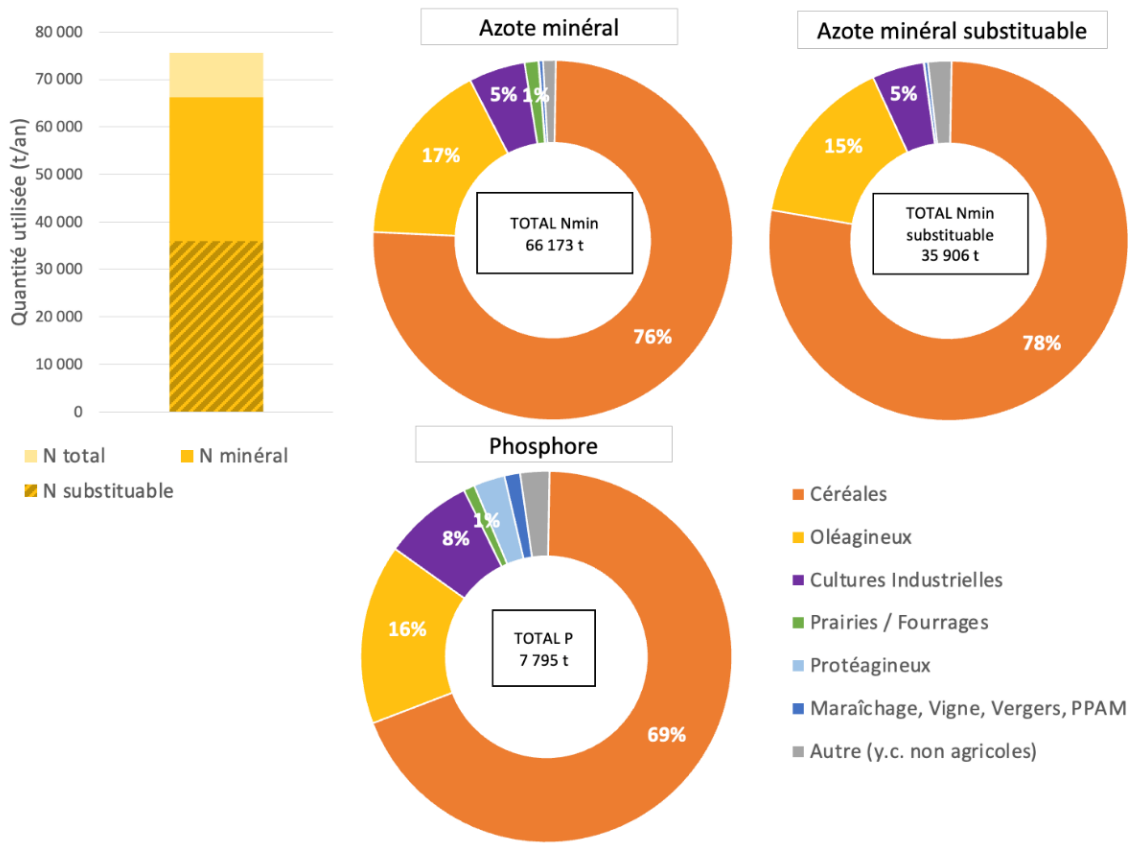


Figure 7. Fertilisation N et P des cultures franciliennes.

En comparaison avec les usages agricoles, les usages non-agricoles (terrains de sport, espaces verts, particuliers) sont relativement faibles avec 760 tN et 200 tP, sans tenir compte pour ces usages d'hypothèses de substituabilité.

Tableau 4. Evaluation des besoins en fertilisants N et P des usages non-agricoles.

	Nombre	Surface (Ha)	N	P
Engrais des particuliers	-	-	190	106
Golfs	80	4 160	326	55

Terrains de sport	1 630	1 020	188	30
Espaces verts	6 798	18 951	0	0
Pépinières et horticulture	120	720	54	8

2.5.4. Bilan entre les gisements et les usages actuels

Les résultats montrent que **les quantités d'engrais minéraux azotés consommées à l'échelle territoriale (75 kt/an) sont largement supérieures à l'azote contenu dans les urines des habitants (45 kt/an, dont 36 kt/an de fraction minérale)**. En considérant une hypothèse de substitution partielle du N minéral des engrais par des urino-fertilisants en fonction des itinéraires techniques, il est estimé qu'environ 36 kt/an de N minéral serait substituable par an, soit une valeur quasiment identique au N minéral contenu dans les urines des habitants.

Les conclusions sur le phosphore sont similaires, avec un gisement (3,1 kt) très inférieur aux quantités utilisées (7,7 kt).

Ainsi, ces données montrent que l'exutoire de la quantité d'urine totale théorique produite sur le territoire régional n'est pas un point bloquant d'un point de vue de la quantité consommée.

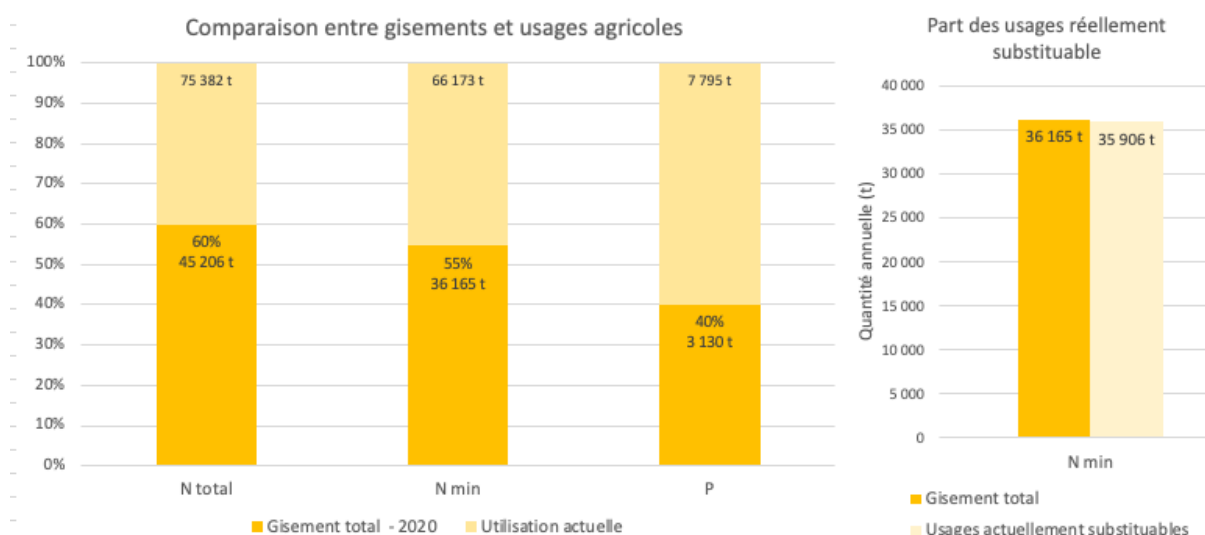


Figure 8. Quantité d'azote théoriquement substituable par les urino-fertilisants sur la région Ile-de-France.

2.5.5. Bilan dans un scénario de transition agroécologique

Les pratiques agricoles actuelles sont marquées par une utilisation intensive d'engrais minéraux. Pour des raisons environnementale ou économique, ces consommations pourraient être amenées à décroître à horizon 2040. Afin de tester les limites de la recyclabilité des urines en agriculture francilienne, un scénario de réduction ambitieux (basé sur Afterres2050) est proposé pour comparaison en 2035 et 2045. Ce scénario n'est ni une prévision de la trajectoire d'évolution du monde agricole, ni une projection des tendances, mais se rapproche plus d'une trajectoire de rupture sur des aspects forts du modèle agricole actuel. La Figure 9 ci-dessous présente l'assolement de l'Île-de-France en 2045²⁶ avec une trajectoire de transition

²⁶ Pour rappel, le point 2045 est considéré comme identique au point 2050

agroécologique marquée, suivant les hypothèses du **scénario Afterres2050**. En parallèle, la SAU actuelle diminuerait de 7%, passant de 545 000 ha en 2025 à 505 000 ha en 2045. La forte diminution des céréales au profit notamment des protéagineux, combiné à l'augmentation marquée des cultures en agriculture biologique entraîne une baisse significative de l'utilisation d'engrais, notamment sous forme minérale. En parallèle, l'augmentation structurelle de la population entraînerait une augmentation des gisements d'azote.

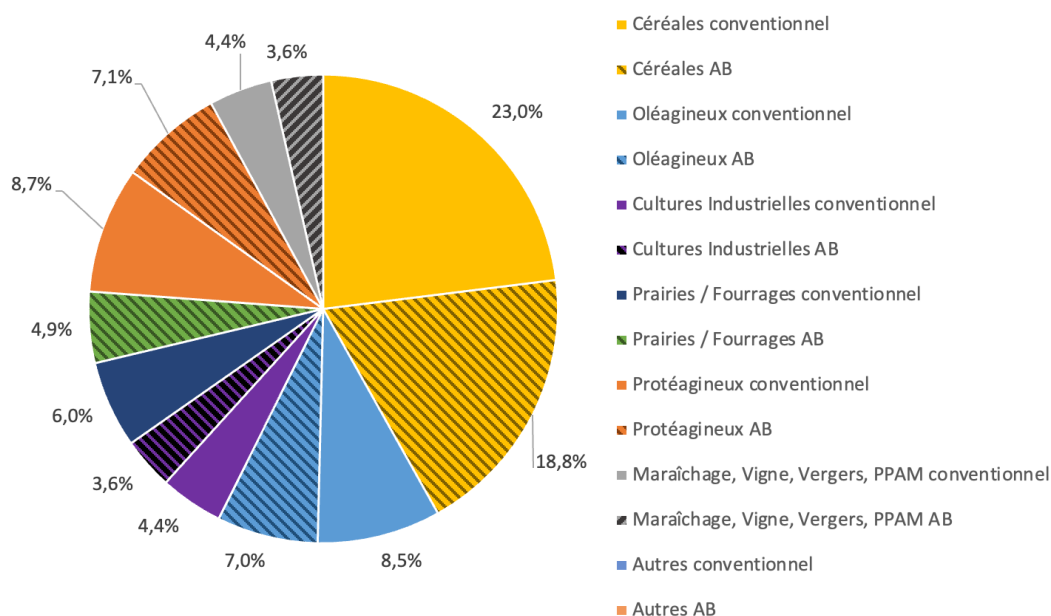


Figure 9. Estimation de l'assolement de l'Île de France en 2045, selon la trajectoire de transition agroécologique d'Afterres 2050.

Comme le montre la Figure 10, cette situation conduit en 2035 à une part de gisement très supérieure à l'azote considéré comme substituable (selon les mêmes hypothèses qu'en 2025), et en 2050 un gisement supérieur à l'azote minéral utilisé, s'approchant de l'utilisation d'azote total. Pour rappel, le gisement considéré ici est un gisement maximal qu'il sera techniquement, politiquement et culturellement impossible de mobiliser intégralement aux horizons de temps dont il est question. Cet exercice montre néanmoins que les apports d'azote issu du recyclage des urines pourraient prendre une part significative dans la fertilisation en 2045, dans le cas d'une trajectoire ambitieuse de transition agroécologique.

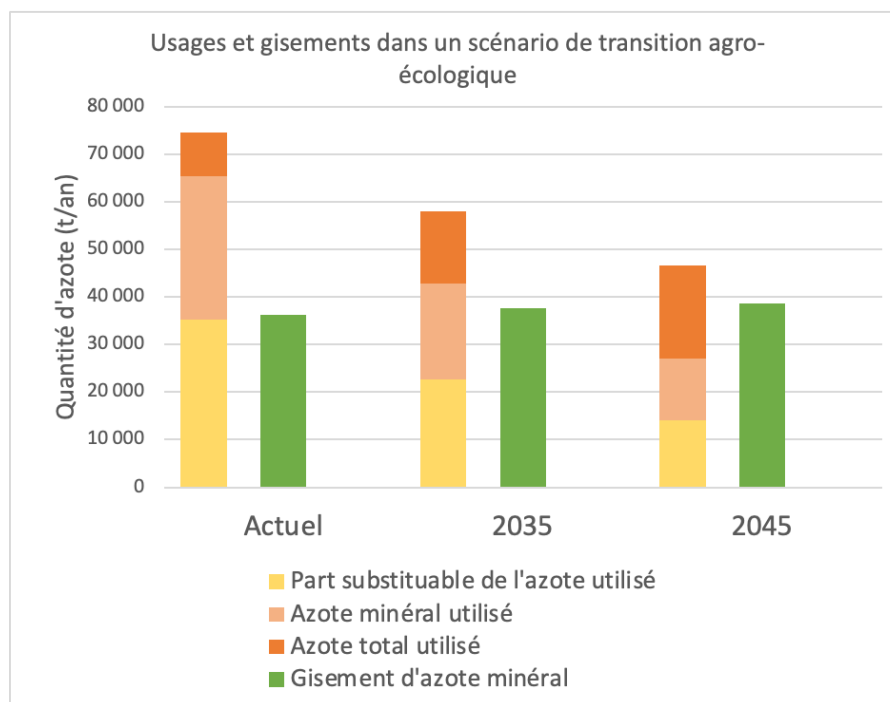


Figure 10. Evolution des usages et gisements dans le scénario de transition agroécologique Afterres 2050.

3. Quelles filières mobiliser, pour quels types de territoires et d'usages ?



3.1. Variables prises en compte pour la définition des filières

La première partie de ce rapport s'est intéressée à la quantification des gisements globaux d'urine et des producteurs à gros potentiels. Cette partie vise à définir des **filières de gestion séparative des urines adaptées en fonction du contexte et des contraintes techniques propres à chaque territoire**. Ces filières intègrent les étapes techniques et logistiques pour séparer, collecter, traiter et valoriser les urines, de l'amont (toilettes ou dispositifs usagers) jusqu'à l'aval (valorisation agronomique).

Les filières à privilégier dépendent de plusieurs paramètres :

- **Type de territoire** : la densité de population ou la densité bâtie du lieu, influence les contraintes de transport et de place disponible.
- **Usage du site de collecte** : logement, ou établissement recevant du public (ERP), incluant les activités tertiaires mais aussi tous les lieux culturels, éducatifs...
- **Caractéristiques des sites** : volume de production d'urine du site. En fonction des seuils définis, on parlera de gros ERP (>500 l/jour) ou petit ERP (<500 l/jour).
- **Etat du bâti** : bâtiment neuf, ou bâtiment existant rénové – à l'échelle du bâtiment ou d'un logement unique dans le bâtiment.

Le territoire de la région Ile-de-France ne présente pas une morphologie homogène. Son tissu urbain est fortement diversifié avec des communes :

- **Très denses et denses** : Paris (>300 individus/ha) et sa petite couronne dense (100<densité<300 individus/ha), par exemple Neuilly-sur-Seine ;
- **Urbaines** : la grande couronne (30<densité<100 individus/ha), comme Sarcelles ou Argenteuil ;
- **Rurales** : par exemple, Bonneuil-en-France (densité<30 individus/ha).

Dans une optique de mise en place des filières à horizon 2035 et 2045, les perspectives d'évolution de la population, de la typologie des quartiers, des **logements** en termes de **rénovation** (logements et bâtiments) et de **nouvelles constructions** sont prises en comptes.

La somme des filières sur les communes, associée à un niveau d'ambition pour leur mise en place, forme un scénario de déploiement, projeté aux horizons 2035 et 2045. Entre ces deux horizons de temps, nous retenons une logique incrémentale, c'est-à-dire que les systèmes déployés en 2035 sont supposés être toujours exploités en 2045, en parallèle du déploiement de nouvelles filières sur des projets neufs ou rénovés dans l'intervalle de temps.

3.1.1. Etapes clé des filières de séparation à la source

La mise en place d'une filière de séparation des urines à la source nécessite plusieurs étapes :

1. Choix du type de **dispositif sanitaire** permettant la collecte des urines,
2. Choix des **moyens de collecte et de transport** de ces urines en fonction des spécificités territoriales,
3. Sélection des **procédés de traitements** envisagés pour transformer l'urine en urinofertilisants,
4. Choix des **sites de traitement** des urines en fonction des contraintes environnementales et techniques,
5. Pistes de **valorisation des urinofertilisants** dans des domaines préalablement déterminés.

3.1.2. Choix des interfaces usagers

Au vu de l'objectif de cette étude, le choix des équipements s'est porté sur des installations permettant de collecter une quantité importante d'urine, à savoir :

- i. Les **toilettes séparatives à eau** (collecte environ **80% des urines** grâce au piège à urine) : les urines restent diluées avec une partie de l'eau de la chasse),
- ii. Les **urinoirs secs** (collecte **100% des urines**),
- iii. **WC avec adaptateur** permettant la collecte de l'urine,
- iv. Les « **toilettes électroménagers** » qui peuvent être changées sans modification de la plomberie et avec un traitement intégré dans les toilettes (collecte **100% des urines** et transformation *in-situ*). Un premier prototype de cette toilette est en cours de conception. L'étude permettra d'identifier l'impact et le potentiel de collecte d'urines grâce à un tel équipement.



A l'horizon 2035, les installations de collecte privilégiées sont les **toilettes séparatives à eau**, les **WC avec adaptateur** et les **urinoirs secs**. Ce choix s'explique par le fait que ces dispositifs sont déjà matures, acceptés et utilisés par des usagers. Les toilettes séparatives à eau seront implantées dans les bâtiments neufs et en rénovation à l'échelle du bâti ; les urinoirs uniquement dans le cas des ERP ; et les WC avec adaptation uniquement pour la rénovation à l'échelle du logement.

A l'horizon 2045, les toilettes « **électroménagers** » s'ajouteront à ces dispositifs. Elles permettent de déshydrater les urines sur place. Actuellement, le prototype est à l'échelle des toilettes d'un logement.

3.1.3. Moyens de transport et de collecte

Les solutions envisagées pour le transport et la collecte des urines à l'horizon 2035 sont les suivantes :

- Mise en place de **points d'apport volontaire (PAV) pour les logements rénovés** dans les zones denses et urbanisées : les particuliers y déposeraient leurs urines, permettant ainsi de constituer des volumes suffisamment importants pour en faciliter la collecte, en vue d'un traitement ultérieur ou d'une valorisation directe par les agriculteurs.
- Mise en place d'un **réseau gravitaire urine pour les nouvelles constructions ou rénovations à l'échelle d'un bâtiment ou d'un quartier, et les gros ERP**, afin de centraliser les urines sur un site dans le cas de gros gisements.
- Collecte via des moyens de **transport motorisé** (camions-citernes, camionnettes aménagées, vélo-cargo) **en zone urbanisées et rurales**, où le trafic routier est moins dense.

A l'horizon 2045, le **transport fluvial** est une option envisagée pour transporter les volumes importants issus de zones urbaines vers les sites de traitement dans les zones moins denses.

3.1.4. Lieu de traitement

Les solutions de traitement peuvent être mises en place à *l'échelle des toilettes* (toilettes « *électroménagers* »), du bâtiment, mutualisées entre bâtiments à l'échelle d'un quartier, ou centralisées avec un export des urines vers un lieu de traitement (même logique que pour une station d'épuration).

Dans les zones denses à très denses, le transport par camion étant problématique, il semble nécessaire de **concentrer les urines sur site** et d'exporter des produits concentrés. Cela s'applique pour la rénovation de bâtiments entiers ou dans le neuf (l'exemple type est la ZAC Saint Vincent de Paul). Toutefois, dans le cas de la rénovation à l'échelle d'un seul logement dans les zones denses et urbaines, les urines seraient récupérées en point d'apport volontaire, et le **traitement mutualisé avec d'autres sites du territoire** (par ex. sur des files spécifiques en station d'épuration, ou sur des unités de traitement des urines à l'échelle d'un quartier).

Dans les zones urbanisées, moins denses et proches de zones agricoles, un **traitement directement sur la parcelle agricole** peut être envisagé (par ex. stockage pour hygiénisation avec production de lisain).

Dans les zones rurales, les productions d'urines seront plus diffuses. Les solutions de **traitement à l'échelle individuelle** sont possibles comme le stockage pour hygiénisation, que ce soit en neuf ou en rénovation. Pour les gros gisements dits « gros ERP », le traitement peut se faire sur le site de production.

A horizon 2045, un des objectifs serait d'installer des usines de traitement d'urine dans les zones rurales et peu denses, pour augmenter les capacités de traitement des urines provenant des zones denses et urbaines.

3.1.5. Techniques de traitement et produits de valorisation

Une des techniques de traitement présentant une mise en place relativement simple et n'exigeant pas beaucoup d'investissements est le **stockage pour hygiénisation** qui permet une production de **lisain**. Ce procédé est envisagé pour les gros et petits ERP, ainsi que dans les logements neufs et grosses rénovations proches des zones agricoles, afin de favoriser une valorisation directe.

A l'horizon 2035, la technique de traitement retenue pour les zones denses et urbaines est celle de la **nitrification/distillation** avec comme produit final **l'urine nitrifiée concentrée**. Ce procédé permet de réduire le volume final, facilitant ainsi le transport vers les sites d'utilisation. Ce procédé de traitement et concentration des urines est le seul à être déjà mature à ce stade.

Par ailleurs, des procédés moins intensifs de nitrification sur un filtre aéré de charbon actif existent, mais à un stade peu mature, réservé donc à l'horizon 2045 dans les mêmes cas de figure que la solution de nitrification intensive. Dans les zones denses et urbanisées, la technique de **congélation** pourrait être déployée à l'horizon 2045, ce qui devrait permettre de réduire le volume d'urine à transporter vers les zones de traitement.

Dans les logements individuels, les **toilettes « électroménagers »** devraient permettre la production d'**urines déshydratées** pour des usages individuels (jardin, compost), ou pour exporter vers des lieux d'apport volontaire.

A noter qu'une étape de traitement des micropolluants peut être ajoutée pour l'ensemble des systèmes de traitement. Sa facilité de mise en place dépend des traitements en question. Par

exemple, un traitement sur charbon actif des urines brutes demandera certainement plus de renouvellement de charbon du fait de la présence de matières organiques pouvant être piégées au détriment des molécules pharmaceutiques.

3.2.Caractérisation des filières considérées

Après avoir analysé le contexte territorial de l'Île-de-France, les différents types et usages des bâtiments de collecte des urines, ainsi que les variables pouvant favoriser ou contraindre cette collecte, plusieurs filières ont été identifiées. Ces filières ont été conçues en tenant compte à la fois de la typologie des bâtiments concernés et de la morphologie de la zone de collecte. Ainsi, neuf filières ont été définies, dont cinq spécifiques aux logements et quatre aux établissements recevant du public (ERP), avec des perspectives pour 2035 et 2045.

En [annexe](#), des fiches synthétiques détaillent la chaîne de valeur de chaque filière.

3.2.1. Filières logements

Cinq filières ont été définies pour les logements, dont quatre prévues avec une mise en place dès 2025. A compter de 2035, la cinquième filière viendra s'ajouter à celles déjà mises en place en 2025.

3.2.1.1. Horizon 2035

À l'horizon 2035, dans les zones **denses** et **urbaines**, trois filières ont été définies en fonction de l'état du bâti (construction ou rénovation de bâtiment, rénovation de logement). Les rénovations effectuées à l'échelle globale d'un bâtiment sont dites "grosses rénovations", par opposition aux rénovations effectuées à l'échelle individuelle d'un logement. Les nouvelles constructions et les "grosses rénovations" sont regroupées dans une même filière (F1 en zone dense, F2 en zone urbaine), tandis que les rénovations à l'échelle du logement constituent une autre filière (F3 en zones dense et urbaine).

- **Filière F1** : dans les zones **denses**, les « **logements neufs et grosses rénovations** » bénéficient d'un traitement sur site pour concentrer et stabiliser les urines par nitrification.
- **Filière F2** : dans les zones **urbanisées** donc proches des espaces agricoles, pour « **les logements neufs et grosses rénovations** » des toilettes séparatives sont mises en place avec stockage des urines et épandage de lisain sur les parcelles agricoles, après stockage des urines pour hygiénisation.
- **Filière F3** : dans les zones **denses** et **urbanisées**, les « **logements en rénovation** » sont équipés d'adaptateurs de toilettes pour collecter les urines. Des points d'apport volontaires (PAV) permettent de recueillir les urines collectées, qui sont ensuite traitées sur des sites existants dans ces zones du territoire.
- **Filière F4** : dans les zones **rurales** à faible densité de population avec souvent des systèmes d'assainissement décentralisés, la mise en place d'une filière est prévue pour les logements disposant d'un système d'assainissement non collectif (ANC). Ces logements sont équipés de toilettes sèches à séparation avec une cuve de stockage individuelle des urines à l'échelle du logement. Ces urines collectées sont valorisées sous forme de lisain sur les parcelles agricoles à proximité.

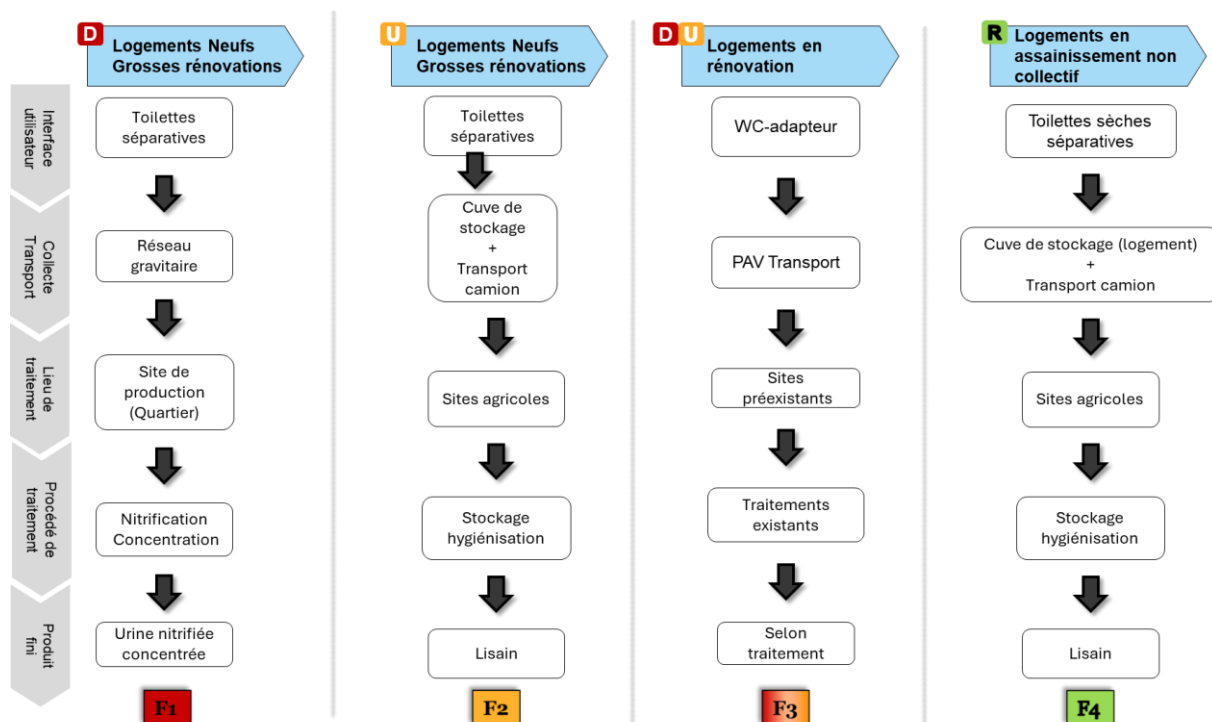


Figure 11. Filières de séparation à la source spécifiques aux logements déployées à horizon 2035 (D = zone dense, U = zone urbaine, R = zone rurale).

3.2.1.2. Horizon 2045

Aux filières mises en place en 2035 s'ajoute une nouvelle filière « **F5** ». Cette filière se mettra en place dans toute la zone d'étude, indépendamment de la typologie du territoire et de l'état du bâtiment. Elle pourrait s'adapter à tout le parc de logements, avec uniquement un remplacement de toilettes classiques en « WC électroménager », un dispositif en cours de développement. L'urine déshydratée est ensuite transportée par les utilisateurs dans des PAV, où elle est collectée par camion puis distribuée au secteur agricole.

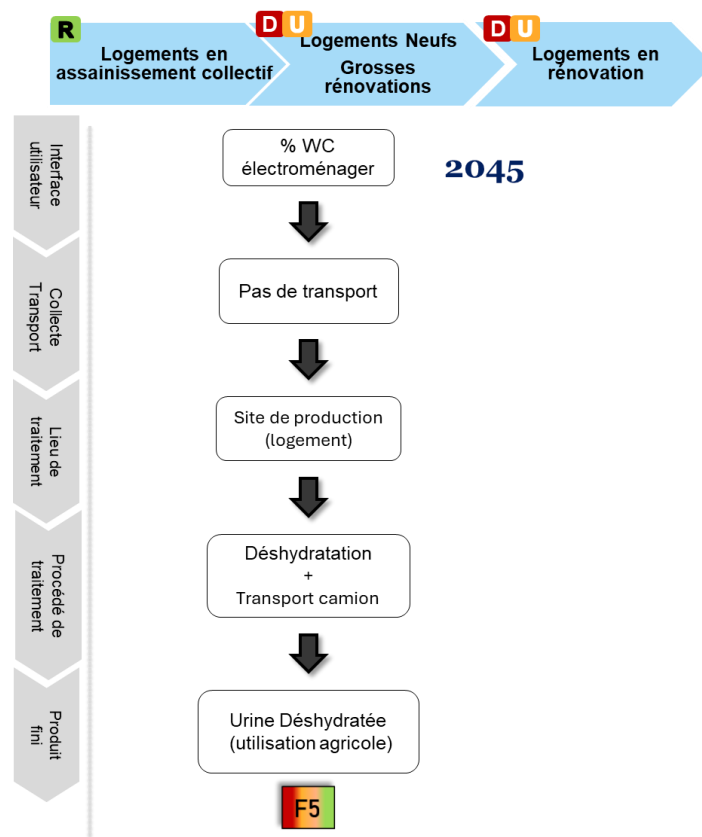


Figure 12. Filière F5 de gestion des urines des logements par la séparation à la source à l'horizon 2045 avec une solution WC électroménager.

3.2.2. Filières ERP

La mise en place de filières dans les Établissements Recevant du Public (ERP) est essentielle en raison des flux significatifs générés par ces établissements. Ces ERP se caractérisent par une grande diversité d'usages, allant des petits cinémas, où les volumes collectés restent faibles, aux établissements scolaires caractérisés par des volumes importants mais diffus, jusqu'aux aéroports, qui concentrent des flux importants en un seul endroit. La diversité des ERP se manifeste ainsi tant par leur taille et leur usage que par la multiplicité de leurs sites d'implantation.

Pour une gestion efficace et optimale des flux, une catégorisation des ERP a été effectuée en fonction de leur production journalière d'urine. Un seuil de 500 litres/jour d'urine pure a été défini (seuil minimal appliqué par Vuna Nexus pour déployer la solution de traitement des urines sur site) : les ERP produisant moins que ce seuil sont qualifiés de « Petits ERP », tandis que ceux le dépassant sont dits « Gros ERP ».

Les filières tiennent également compte de la commune d'implantation des ERP, distinguant les zones **Denses** des zones **Urbaines** et **Rurales** qui sont proches des zones agricoles.

3.2.2.1. Horizon 2035

Cette approche a permis de définir quatre filières :

- Deux dédiées aux « **gros ERP** » selon leur zone d'implantation :

- **F6** : au sein des « gros ERP » en zone **dense**, les urines collectées par des toilettes séparatives et des urinoirs sont soumises à un traitement par nitrification-distillation sur site.
- **F7** : dans les zones **urbaines** et **rurales**, les gros ERP collectent les urines grâce à des toilettes séparatives et des urinoirs, puis les stockent pour hygiénisation, avant d'exporter le lisain sur les parcelles agricoles à proximité.
- Deux dédiées aux « **petits ERP** » selon leur zone d'implantation :
 - **F8** : les petits gisements en **zone dense** collectent les urines au moyen de toilettes séparatives à eau et urinoirs secs, puis les transportent jusqu'à des sites de traitement existants dans leur zone pour un traitement par nitrification-distillation.
 - **F9** : dans les zones **urbaines** et **rurales**, les petits gisements exportent leur urine sur les parcelles agricoles où elles sont hygiénisées dans des cuves de stockage.

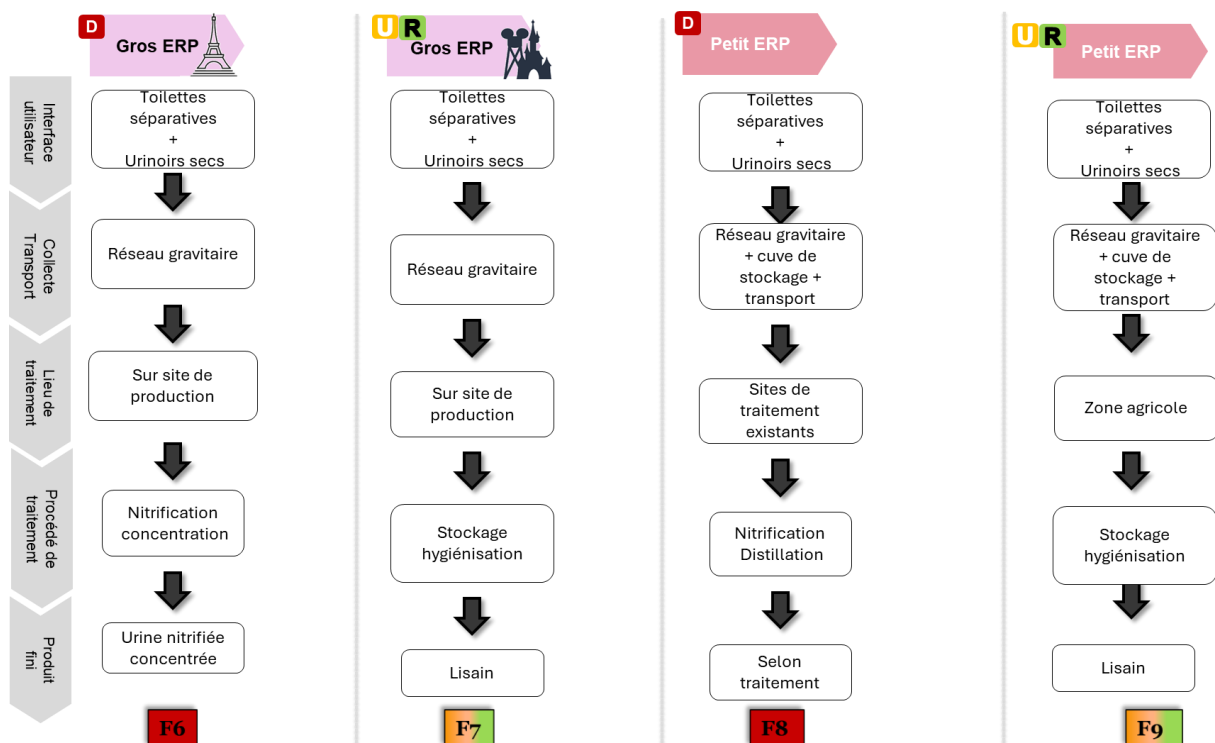


Figure 13. Filières dédiées aux ERP à l'horizon 2035 (D = zone dense, U = zone urbaine, R = zone rurale).

3.2.2.2. Horizon 2045

Les quatre filières dédiées aux ERP sont maintenues tout en intégrant des évolutions possibles (variantes) en fonction des avancées technologiques notamment pour les filières F6, F8, F9.

F6 (filière dédiée aux "gros ERP" en zone **dense**) : le traitement par nitrification rustique peut être introduit pour une valorisation sous forme d'urine nitrifiée.

F8 et F9 (filières dédiées aux "petits ERP") : l'innovation réside dans le recours possible au transport des urines par voie fluviale, particulièrement dans les zones à proximité de réseaux navigables. Cela permettrait de limiter le transport par camion. De nouvelles technologies de

traitement pourraient également être mises en place dans ces filières en fonction de leur maturité.

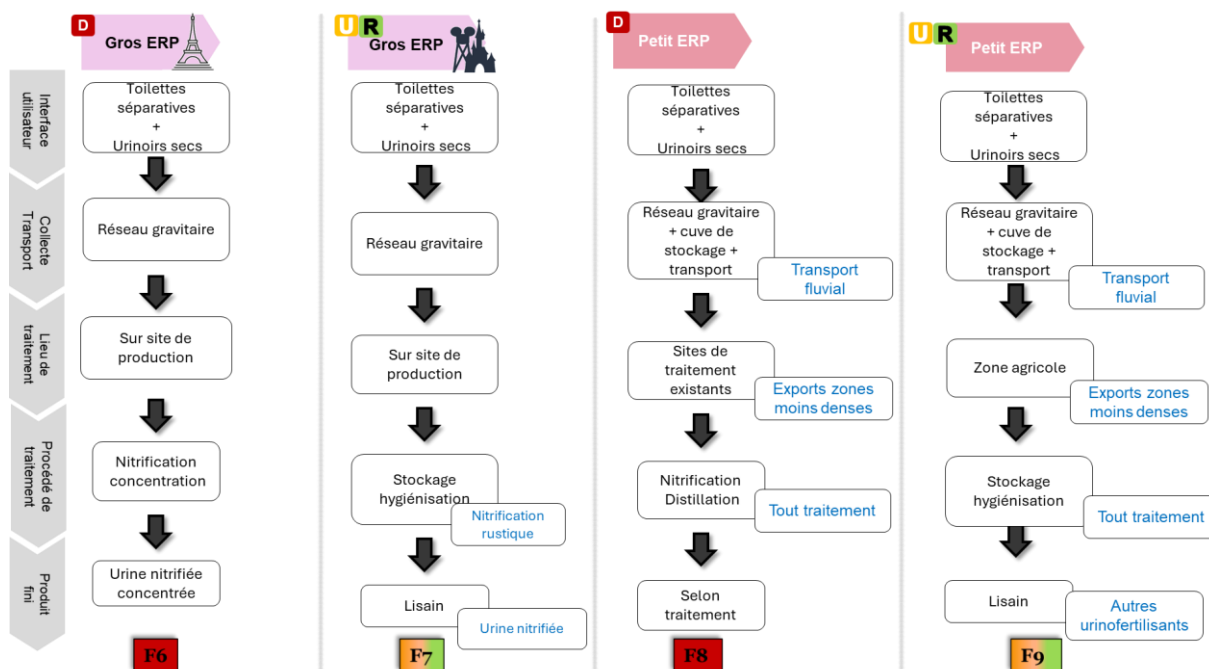


Figure 14. Filières dédiées aux ERP à l'horizon 2045 (D = zone dense, U = zone urbaine, R = zone rurale).

3.3. Quantification du potentiel par filière

Dans le cadre de l'évaluation du potentiel total de gisement d'urine par filière, une première quantification a été réalisée et repose sur plusieurs hypothèses spécifiques à chaque filière.

Le nombre de **logements neufs des filières F1, F2 et F5** se base sur les données de livraisons de logements fournies par l'Institut Paris Région pour les horizons 2035 et 2045. Un ratio du nombre de personnes par logement est appliqué pour estimer la population équivalente. Ce ratio est calculé en divisant le nombre de personnes présentes en résidences principales par le nombre de résidences principales par commune.

En ce qui concerne les **"grosses rénovations" des filières F1 et F2** la quantification s'appuie sur le nombre moyen de rénovations énergétiques de copropriétés enregistrées sur cinq ans, réparties par département et ramenées à l'échelle de la commune, en utilisant un ratio de population par logement pour estimer les gisements potentiels. Au total 4 260 logements par an sont rénovés à l'échelle des copropriétés²⁷.

Pour les **rénovations à l'échelle des logements des filières F3 et F5**, l'approche a été basée sur la meilleure année de rénovation énergétique, parmi les années qui ont été éligibles au dispositif "Éco-PLS" sur une période de 10 ans (entre 2009 et 2018). Environ 20 000

²⁷ Franziska Barnhusen, Anne-Claire Davy, Gaëtan Briseperre (Cabinet GBS). Le syndic de copropriété : un intermédiaire en devenir pour la rénovation énergétique [en ligne]. Note rapide Énergie/Habitat-Société, n° 1015. Institut Paris Région. 17 septembre 2024

logements sont ainsi rénovés²⁸. Ce chiffre permet d'estimer le potentiel de logements concernés, auquel est appliqué le ratio de 2.2 personnes/lgt pour calculer le gisement.

Pour les **logements en assainissement non collectif (ANC)** de la **filière F4**, la quantification se base sur la proportion de logements dotés d'un ANC (7%), et du nombre moyen de personnes par logement. Il a été considéré que l'ensemble des installations d'ANC sont localisées en zone rurale.

Pour les **ERP**, les hypothèses pour la quantification du potentiel de gisement ont été détaillées dans une partie précédente (Méthodes d'estimation de la production d'urine). En tenant compte de la production d'urine propre à chaque typologie d'ERP, du seuil de production d'urine entre petit et gros ERP, ainsi que de la localisation de ces ERP (zones denses, urbaines, rurales), un potentiel a été calculé pour chacune des filières ERP.

3.4.Résultats

Sur la base des hypothèses posées, le nombre de points de collecte des urines (logement ou ERP) est quantifié pour chacune des filières, avec le potentiel total de gisement associé.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent le nombre de logements ou d'établissements concernés et le gisement d'urine associé exprimé en flux d'azote (tN/an) respectivement pour les logements et les ERP pour les horizons de temps 2035 et 2045.

Le gisement potentiel des filières « Logements » a été estimé à 30 880 tN/an à l'horizon 2045. On remarque ainsi que le parc de logements existants constitue le gisement le plus important en 2045, avec notamment un flux de 23 034 tN/an associé à la filière F5. Le second gisement concerne les logements neufs en zone dense de la filière F1 avec 1 451 tN/an en 2035 et 1 097 tN/an en 2045.

Concernant les filières « ERP », le gisement potentiel est estimé à 5 187 tN/an dont 3 026 tN/an provenant des « gros ERP » et 2 161 tN/an des « petits ERP ». En zone dense, l'enseignement constitue plus gros pourvoyeur d'urine avec un flux d'azote de 1 838 tN/an et 4 644 établissements associés. Tout comme en zone dense, en zones urbaine et rurale, le plus gros gisement reste l'enseignement avec un 4 922 établissements concernés. Ces flux importants, particulier ceux de l'enseignement, proviennent de sites qui sont géographiquement diffus.

Il existe aussi des sites de « gros ERP » qui concentrent des flux importants d'urines : c'est le cas des aéroports d'Orly et Charles de Gaulle qui génèrent à eux deux un flux d'azote de 172,7 tN/AN.

²⁸ DRIHL, Repères rénovation énergétiques des logements en Ile-de-France [\[en ligne\]](#). Décembre 2018

Tableau 5. Gisements maximaux par filière pour les logements.

Filière	Type de bâtiment	Zone	Nombre de logements totaux 2025-2035	Nombre de logements totaux 2035-2045	Gisement d'urine 2035 (tN/an)	Gisement d'urine 2045 (tN/an)
F1	Logements neufs	Dense	276 430	209 686	1 451	1 097
	Grosses rénovations		25 130	50 260	123	246
F2	Logements neufs	Urbanisée	189 281	139 040	1 059	776
	Grosses rénovations		12 580	25 160	70	141
F3	Logements en rénovation	Dense	95 851	191 701	484	969
		Urbanisée	75 148	150 295	420	840
F4	Logements neufs	Rurale	4 590	3 589	27	21
	Grosses rénovations		4 890	9 780	29	57
	Logements en rénovation		2 030	4 060	12	24
F5	Logements existants	Dense		2 597 961		12 912
		Urbanisée		1 278 065		7 143
		Rurale		510 255		2 979

Tableau 6. Gisements maximaux par filière pour les « ERP ».

Type	F6 Gros ERP		F7 Gros ERP		F8 Petit ERP		F9 Petit ERP	
	Zone dense		Zone urbaine et rurale		Zone dense		Zone urbaine et rurale	
	Nb	tN/an	Nb	tN/an	Nb	tN/an	Nb	tN/an
Bureaux	140	1126,1	35	183,2	1	0,0	1	0,0
Centres commerciaux	11	42,1	9	23,8	8	2,0	10	3,6
Culture	11	48,9	0	0,0	37	6,7	1	0,3
Monument et patrimoine	2	14,3	0	0,0	13	2,1	6	1,6
Parcs à thème	1	3,3	3	87,0	7	2,8	15	6,0
Salles de spectacles	1	1,3	0	0,0	268	25,1	147	7,5
Stades	2	4,1	0	0,0	11	4,7	7	2,3
Aéroport	1	116,8	1	55,9	0	0,0	0	0,0
Enseignement	375	794,7	315	428,6	4269	1043,7	4607	971,7
Congrès	3	22,8	2	19,7	19	8,6	0	0,0
Festivals	0	0,0	0	0,0	20	2,6	9	1,4
Espace public	2	52,1	1	1,4	96	16,2	243	20,7
Aires d'autoroute	0	0,0	0	0,0	4	3,5	34	25,9
Gares	0	0,0	0	0,0	5	2,1	0	0,0
Total	549	2226,6	366	799,6	4758	1120,0	5080	1041,0

Cette évaluation du gisement potentiel par filière en fonction des types de bâtiments et des typologies de territoires permet d'avoir une connaissance des **flux maximaux séparables**. Dans la suite de ce rapport, des niveaux de déploiement seront définis pour chaque filière, selon plusieurs scénarios réalistes de mise en place de la séparation à la source.

4. Quelle vision stratégique pour le territoire ? Approche par scénarios



4.1. Objectifs stratégiques de la scénarisation

Cette partie s'intéresse au potentiel de valorisation des urines à grande échelle, sur l'ensemble du territoire francilien, par un exercice de scénarisation prospective. Cette scénarisation a deux objectifs :

- (1) Tout d'abord, quantifier l'évolution des flux séparables d'urine au regard d'un contexte politique varié,
- (2) Ensuite, identifier les filières ayant une meilleure viabilité technico-économique.

Trois scénarios de déploiement sont ainsi proposés dans cette partie. La méthodologie appliquée pour construire ces scénarios est illustrée par la figure ci-dessous.

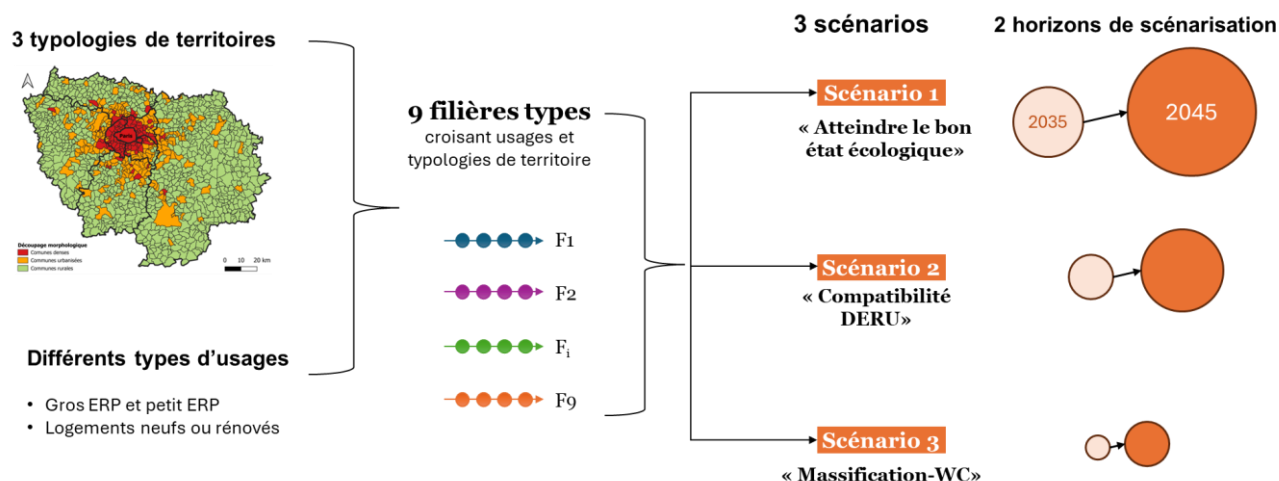


Figure 15. Méthodologie globale de scénarisation.

L'atteinte de ces objectifs nécessite d'envisager des scénarios de déploiement qui tiennent compte des spécificités territoriales de l'Île-de-France et de son contexte politique, culturel et technique, actuel et futur.

L'intégration de la temporalité dans la stratégie de déploiement des filières est également primordiale. En effet, le déploiement progressif des filières permet d'ajuster la stratégie au fur et à mesure, sur la base des résultats préliminaires obtenus. Chaque scénario est donc étudié à deux horizons temporels, pour intégrer la mise en place progressive des filières identifiées :

- **Horizon 2035**, 10 ans par rapport à la date de la présente étude, est un horizon de temps qui va permettre d'obtenir et consolider les résultats issus des études actuelles,
- **Horizon 2045**, 20 ans par rapport à la date de référence, les filières émergentes se sont stabilisées et un rythme plus soutenu d'implémentation peut être imaginé.

4.2. Différentes visions envisageables pour le territoire

A l'échelle du territoire, trois scénarios de déploiement ont été envisagés, avec un contexte politique distinct pour chacun d'eux.

Le **scénario 1 « Vers le bon état sur les paramètres Azote (N) et Phosphore (P) »** (raccourci « Bon état N et P ») vise en priorité les territoires dont les milieux aquatiques sont dégradés et non conformes à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), dans l'objectif d'améliorer significativement leur qualité écologique et de tendre, autant que possible, vers l'atteinte du bon état en ce qui concerne les concentrations en azote et en phosphore. Ce scénario

correspond donc à une montée en puissance de la séparation à la source de manière relativement généralisée sur le territoire.

Le **scénario 2 « Vers la mise en compatibilité DERU des stations d'épuration »** (raccourci « Compatibilité DERU ») vise à cibler les territoires permettant d'optimiser la compatibilité des stations d'épuration avec les nouveaux seuils de performance de la Directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines (DERU), notamment en matière de traitement de l'azote et du phosphore.

Le **scénario 3 « Vers une collecte d'urines et une fabrication d'urinofertilisants massifiées »** (raccourci « Massification – WC innovants ») correspond à un déploiement maximal des filières, renforcé à partir de 2035 par l'installation progressive de WC « électroménagers » en remplacement des toilettes existantes dans les logements, sans modification des infrastructures de plomberie. Ces dispositifs permettent d'accélérer et de massifier la séparation à la source.

4.3.Méthodologie

4.3.1. Méthodologie générale

La méthodologie de construction des scénarios s'appuie sur une approche par territoire. Elle consiste à identifier, commune par commune, la présence ou l'absence de flux à séparer, puis à prioriser la mise en place des filières en fonction des typologies de territoires et sites de collecte étudiés.

La construction de ces scénarios s'organise en plusieurs étapes successives et varie selon le scénario. :

- Les deux premiers scénarios, « Vers le bon état N et P » et « Compatibilité DERU », reposent sur une logique ciblée à l'échelle communale. Ils sont construits à partir d'objectifs de séparation à atteindre, définis commune par commune.
- À l'inverse, le troisième scénario, « Massification-WC innovants », adopte une approche plus systématique : il prévoit le déploiement de la séparation dans l'ensemble des communes.

4.3.1.1. Scénarios « Vers le bon état N et P » et « Compatibilité DERU »

La démarche appliquée pour ces deux scénarios commence par une **évaluation des flux à séparer à l'échelle de la commune**, en fonction des différents objectifs visés.

Une première étape consiste à quantifier, pour chaque commune de la zone d'étude, le volume de flux à séparer nécessaire pour atteindre les objectifs fixés. À l'issue de cette analyse, chaque commune est associée à un besoin de séparation – qui peut être nul si les objectifs sont déjà atteints localement.

A la suite, de cette étape, les communes sont regroupées en deux grandes catégories :

- **Les communes avec un flux à séparer, pour lesquelles la séparation est requise pour atteindre les objectifs** : elles sont qualifiées de « communes concernées ». C'est dans ces communes que les filières de séparation sont déployées. L'analyse aboutira à identifier les communes qui parviennent effectivement à atteindre tout ou partie des objectifs de séparation selon les taux de déploiement fixés.

- **Les communes n'ayant pas de flux à séparer car les seuils sont déjà respectés** : elles sont appelées « communes non concernées », aucun déploiement de filière n'est donc prévu pour elles dans ces deux scénarios.

4.3.1.2. Scénario « Massification-WC innovants »

Le troisième scénario, « Massification-WC innovants » prévoit un **déploiement de la séparation dans l'ensemble des communes du territoire francilien**. L'objectif poursuivi est de massifier les volumes collectés, en favorisant un changement d'échelle et une intégration progressive des dispositifs de séparation dans les parcs de logements existants comme neufs.

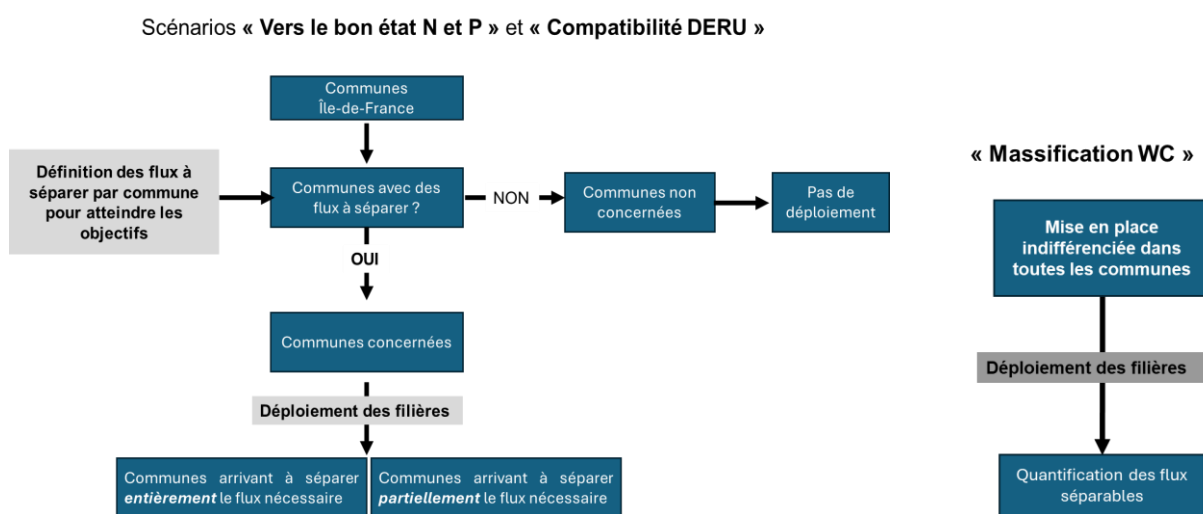


Figure 16. Méthodologie de construction des scénarios.

4.3.2. Scénarisation – taux de déploiement

Pour rappel, un scénario correspond à une combinaison de filières déployées dans les différentes zones du territoire, en fonction des usages des bâtiments (logements ou ERP). La construction des scénarios repose sur l'application de taux de déploiement à chacune des filières identifiées (de F1 à F9). Par exemple, pour la filière F1 (logements situés en zone dense avec un traitement sur site), un certain pourcentage des logements potentiellement concernés est équipé selon les modalités prévues par la filière. Le taux de déploiement reflète donc la part effective de logements ou de personnes équipés, rapportée au potentiel total théorique de la filière considérée.

Les deux premiers scénarios (« Vers le bon état N et P » et « Compatibilité DERU ») visent à réduire les flux de nutriments (azote et phosphore) rejetés dans les milieux récepteurs. Toutefois, afin de garantir la crédibilité des hypothèses, les taux de déploiement ne peuvent être augmentés indéfiniment. Des plafonds de déploiement réalistes ont donc été définis pour chaque filière, en tenant compte des contraintes techniques et territoriales. Ces valeurs de référence sont synthétisées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-dessous.

Pour chaque commune, l'atteinte de l'objectif va être recherché en priorisant la séparation des urines sur :

1. Les ERP en priorité,
2. Les logements neufs si les ERP ne suffisent pas,

3. La rénovation de logement (à l'échelle du logement ou du bâtiment) si les deux précédents ne suffisent pas.

De plus, il a été considéré une **accélération du déploiement des filière entre la période 2025-2035 et 2035-2045**. Ainsi les taux de déploiement sont multipliés par 2 à partir de 2035 par rapport à 2025.

Tableau 7. Récapitulatif des taux de déploiement maximum de chaque filière et zone et horizon de déploiement.

Usage	Type	Zone	2035	2045
Logement	Neuf	Dense ou urbaine	25%	50%
		Rurale	2,5%	5%
	Rénové	Toutes	2,5%	5%
ERP	-	Toutes	25%	50%

4.3.2.1. Taux de déploiement des « filières ERP »

À l'horizon **2035**, un taux de déploiement uniforme de **25%** est retenu pour l'ensemble des filières s'appliquant aux ERP, indépendamment de leur taille (petits ou grands ERP) et de leur zone d'implantation (dense, urbaine ou rurale). Ce taux est appliqué au **flux annuel d'urines généré** par ces établissements.

Quelques cas particuliers peuvent être notés :

- Certains établissements (type aéroports, centres commerciaux, gros parcs, ...) sont très peu nombreux, souvent au nombre d'un ou deux à l'échelle de la commune. Pour ces établissements, les 25% de collecte des urines envisagés se feront dans les zones dites d'intérêt (par ex. espace de restauration) et/ou les espaces où sont installés de nombreuses toilettes.
- Pour les petits ERP, la collecte du pourcentage de flux associés se fera dans les zones où la concentration d'ERP est importante, pour une optimisation de la filière. Par exemple, pour des écoles, la priorité sera mise dans une zone accueillant un nombre important d'écoles, pour faciliter la logistique avant de déployer les filières dans des zones avec un moins grand nombre d'écoles.

4.3.2.2. Taux de déploiement des « filières logements »

Une stratégie de déploiement progressif, variant selon les typologies de territoires et les caractéristiques des logements (neuf et grosse rénovation, rénovation logement) a été appliquée.

Zone dense et urbanisée

Dans les **zones denses et urbaines**, en **2035**, les **logements neufs** sont équipés à hauteur de **25%** maximum. Ce taux de déploiement correspond au **pourcentage de logements équipés** de dispositifs de séparation par rapport au nombre de logements totaux.

Un taux maximal de déploiement plus faible a été considéré pour les **logements ou bâtiments rénovés**, avec seulement **2,5%** maximum en 2035.

Zones rurales

Le déploiement cible uniquement les logements équipés d'un système d'assainissement non collectif (ANC), qui représentent **7% du parc total de logements ruraux**. Bien que la densité de population soit faible et les logements dispersés, rendant la collecte plus complexe, la mise

en place de toilettes sèches dans ces logements en ANC permet une collecte au niveau individuel. Un taux maximal de déploiement de **2,5%** en 2035 a été considéré. Il est appliqué sur les **logements neufs et rénovés des zones rurales**.

Déploiement F5 "WC électroménager" du scénario « Massification »

Le déploiement de la filière F5 « toilettes WC électroménager » est mise en place uniquement dans le scénario « Massification-WC innovants ». Il s'appuie sur l'hypothèse du remplacement des toilettes dans le parc de **logements existants** par la mise en place de ces dispositifs. Le dispositif de séparation utilisé, en cours de développement, présente l'avantage de ne pas nécessiter de grands travaux.

La durée de vie moyenne des toilettes est estimée à **20 ans**, en raison de l'usure naturelle et des besoins de changement esthétique. L'hypothèse effectuée est que les « toilettes électroménagers » seront disponibles sur le marché en 2035. Si l'on considère que la moitié du parc de toilettes sera remplacé entre 2035 et 2045, et que 50% de ces toilettes seront remplacées par des « toilettes électroménagers », alors **25% des logements existants** en seraient équipés, soit 1 382 020 logements, ou un gisement potentiel d'azote de 7 000tN/an.

4.3.3. Définition des objectifs de séparation

4.3.3.1. Scénario 1 « Vers le bon état des eaux sur les paramètres N et P »

Ce scénario a pour objectif d'atteindre le bon état écologique des masses d'eau grâce à la séparation à la source des urines. La séparation des urines permet de diminuer l'entrée en station d'épuration de l'azote sous forme d'ion ammonium et de phosphore. Afin de prendre en compte l'impact de la séparation des urines sur le milieu récepteur, la méthodologie suivante a été adoptée :

- Identification des flux de rejet maximal admissible par la rivière pour chaque STEP,
- Flux d'azote et de phosphore à séparer en fonction des rendements d'élimination des stations d'épuration.

Identification des flux de rejet maximal admissible par la rivière

Le bon état écologique des masses d'eau sur les paramètres azote et phosphore est déterminé par la concentration dans le milieu des ions ammoniums, nitrates, nitrites et phosphore total suivant les seuils du tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Seuils du bon état écologique comme défini dans cette étude

Qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise	Unité
Ammonium ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,5	< 2	< 5	> 5	mg-NH ₄ /L
	< 0,08	< 0,4	< 1,6	< 4,1	> 4,1	mg-N-NH ₄ /L
Nitrites ⁽²⁾	< 0,03	< 0,3	< 0,5	< 1	> 1	mg-NO ₂ /L
	< 0,009	< 0,09	< 0,15	< 0,3	> 0,3	mg-N-NO ₂ /L
Nitrates ⁽²⁾	< 2	< 10	< 25	< 50	> 50	mg-NO ₃ /L
	< 0,5	< 2,3	< 5,6	< 11,3	> 11,3	mg-N-NO ₃ /L
Phosphore total ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,2	< 0,5	< 1	> 1	mg-TP/L

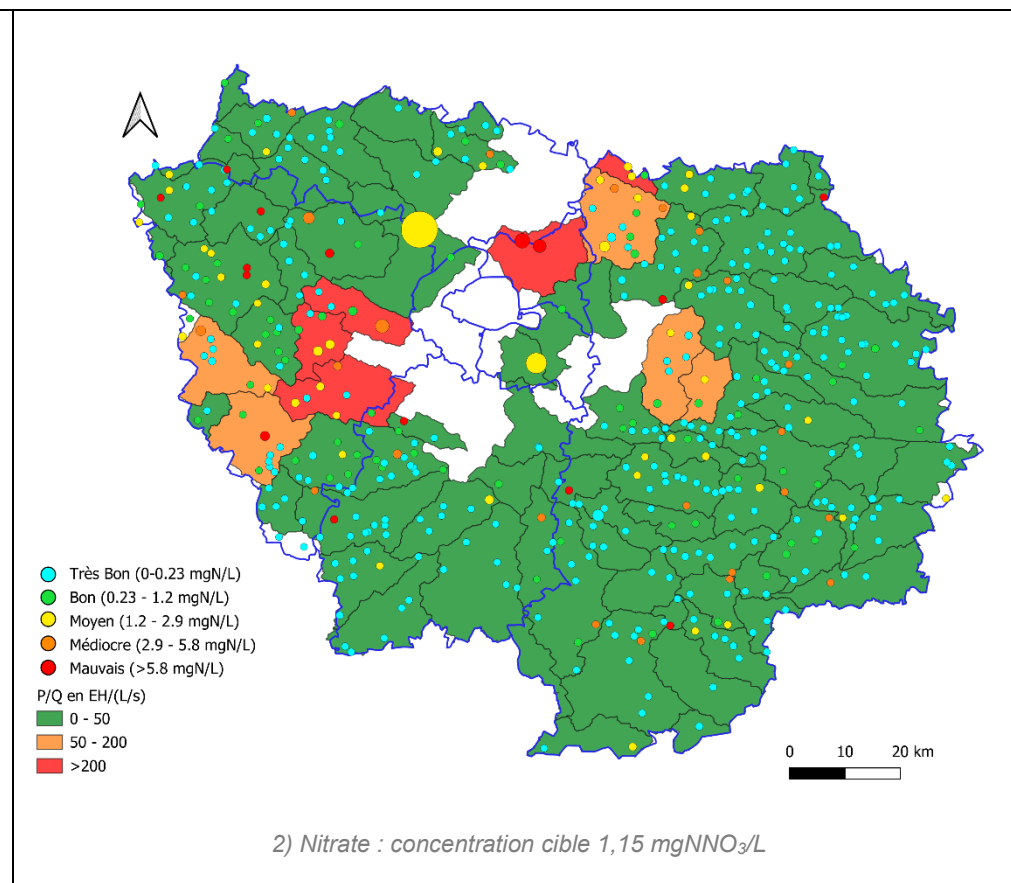
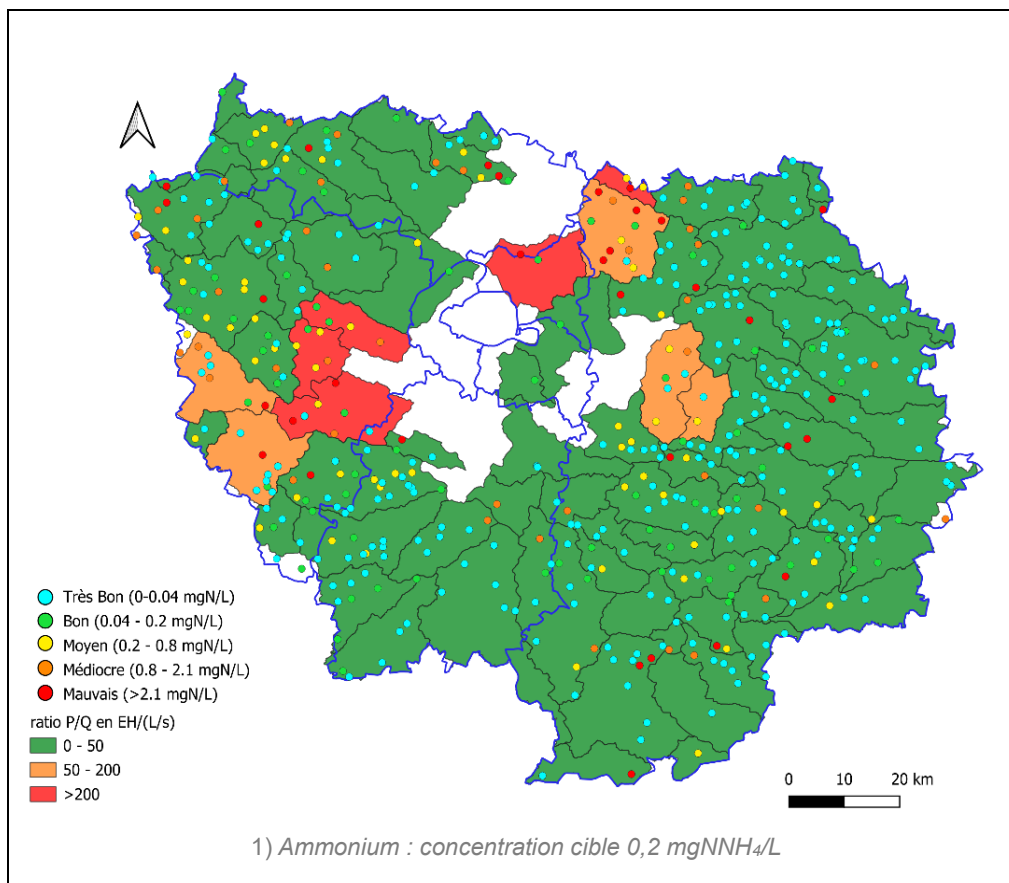
(1) Seuils : arrêté du 25/01/2010

(2) Seuils SEQ-Eau (seuils dits opérationnels AESN)

L'assainissement n'est pas le seul pourvoyeur de nutriments. Ainsi, l'objectif fixé pour l'assainissement est de ne **contribuer qu'à la moitié du flux expliquant l'état de la masse**

d'eau. Par exemple, cela revient à calculer le flux de nitrates en sortie de STEP équivalent à 5 mg-NO₃/L dans la rivière. Cette concentration est appelée **concentration cible** du bon état dans le reste du document.

En comparant la concentration cible avec la situation actuelle (flux de nutriment rejeté dans les cours d'eau par les rejets de STEP et débit d'étiage), il est possible d'identifier les stations avec le plus de flux à supprimer de la rivière. Les quatre cartes ci-dessous présentent la qualité de rejet équivalente dans la rivière. La taille des cercles est proportionnelle aux flux de nutriments à retirer de la rivière.



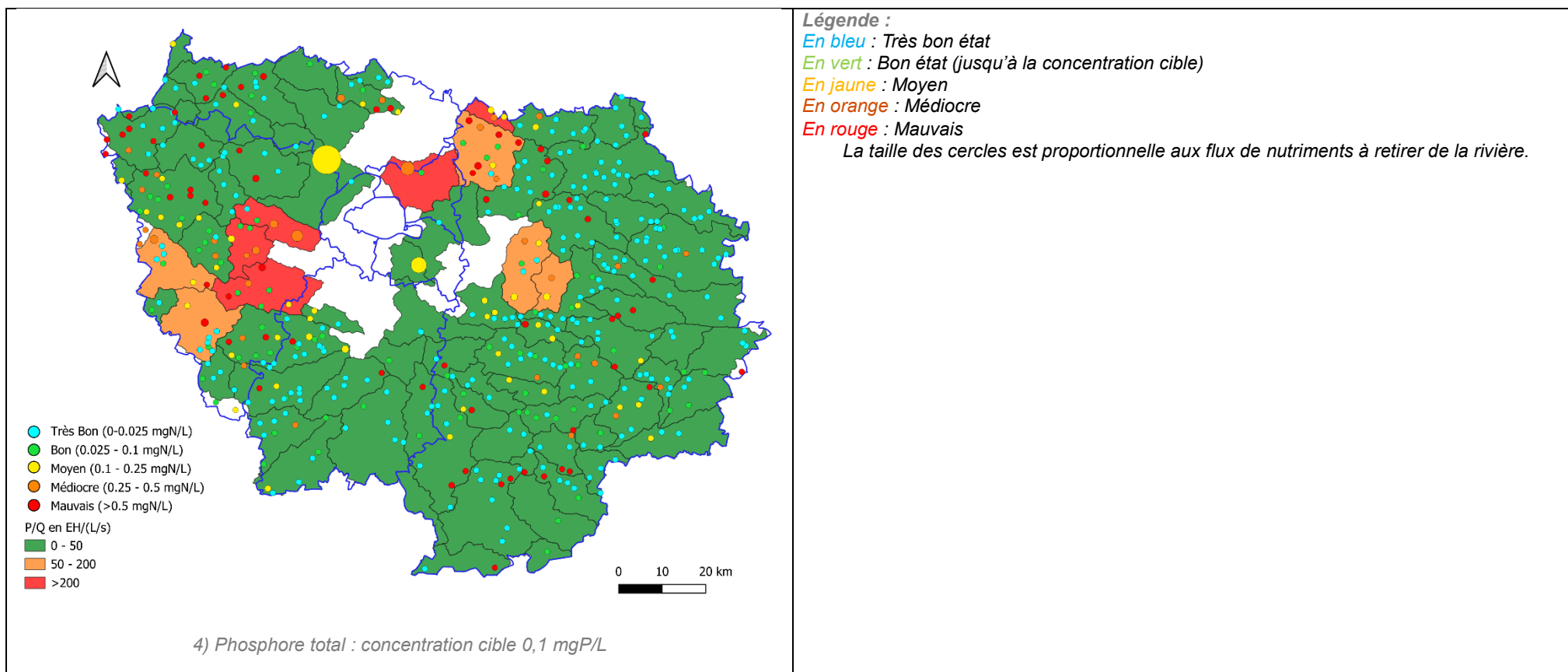


Figure 17 : Cartes représentatives des concentrations de rejet équivalentes dans les masses d'eau pour chaque station d'épuration.

On remarque ainsi les mêmes zones à problèmes que celles identifiées pendant la phase de cadrage avec un P/Q [exprimé en EH (charge polluante) par L/s (débit d'étiage)] élevé, c'est-à-dire un **P/Q > 50** : les bassins de l'Yvette Amont, de la Beuvronne, de la Mauldre Amont dans l'ouest de la région, et des bassins tels que celui du Croult et de la Morée au nord.

Parmi les stations dont le flux à retirer est le plus important (cf. Tableau 9), on retrouve les stations du SIAAP, notamment Seine Aval pour tous les paramètres et Seine Amont pour le phosphore et les nitrates.

Au total, le nombre de stations concernées est élevé : 175 pour l'azote et 147 pour le phosphore.

Tableau 9. Flux annuel d'azote et de phosphore à retirer des masses d'eau (scénario « Bon état N et P »).

Flux d'azote et de phosphore à retirer des masses d'eau en kg-N/an et kg-P/an					
Taille	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NO ₂	TN - Bon état	TP Bon état
< 200 EH	0	124	0	124	28
[200 à 2000 EH [	24 908	27 428	2 157	47 922	9 212
[2000 à 10 000EH [	45 436	11 135	3 621	49 061	10 169
[10 000 100 000 EH [	61 199	81 286	62 239	156 478	17 108
[100 000 à 1 000 000 EH [	158 191	314 404	18 812	318 200	13 597
> 1 000 000 EH	1 747 011	2 920 429	276 740	2 920 429	202 123
Total	2 036 744	3 354 806	363 569	3 492 215	252 237
Pourcentage du flux total en entrée des stations				5,8%	4%

Pour un certain nombre de stations, les flux à retirer des cours d'eau sont très importants et les concentrations résiduelles dans les rejets sont très faibles et techniquement difficiles à atteindre. Ce sont les stations dont le P/Q est très élevé (cf. [annexe](#)). Pour ces stations, la séparation à la source permettrait d'améliorer le rejet, mais pas d'atteindre le bon état sur les paramètres N et P.

Identification des flux de nutriments à séparer en amont de la station d'épuration

Pour quantifier les flux à séparer en amont de la station d'épuration, afin de respecter les concentrations seuils visées en rivière, il est nécessaire de prendre en compte le fonctionnement de la station d'épuration. Pour cela, le fonctionnement actuel a été comparé avec le fonctionnement futur.

Le **fonctionnement actuel** de chaque station d'épuration peut être qualifié par les flux **d'azote** suivant :

- Le flux d'azote dans les boues : 33% de la DCO en entrée de station est capturée en boues et 4% de la DCO est de l'azote soit :

$$F_{\text{boues}}^{TN} = F_{\text{entrée}}^{DCO} * 33\% * 4\% \quad \text{Équation 1}$$

- Le flux d'azote nitrifié :

$$F_{\text{nitrifié}}^{TN} = F_{\text{entrée}}^{TN} - F_{\text{effluent}}^{TN} - F_{\text{Boues}}^{TN} \quad \text{Équation 2}$$

- Le flux d'azote dénitrifié :

$$F_{\text{Dénitrifié}}^{TN} = F_{\text{nitrifié}}^{TN} - F_{\text{effluent}}^{NNOx} \quad \text{Équation 3}$$

- Un débit de recirculation virtuel a été calculé pour apporter suffisamment de nitrate des bassins de nitrification vers les bassins anoxie :

$$Q_{recirc}^{virtuel} = \frac{F_{Dénitrifié}^{TN}}{Conc_{effluent}^{NNOx}} \quad \text{Équation 4}$$

Le calcul du flux d'urine à séparer a été calculé de manière itérative jusqu'à obtenir le flux dans l'effluent souhaité. Le **fonctionnement futur** a été approché avec les hypothèses et les calculs suivants :

- Valeur d'initialisation du flux d'azote provenant des urines à séparer
- Le même rendement de nitrification a été considéré calculé comme l'Équation 5, et permet de calculer le flux d'ammonium dans les rejets.

$$Rdt_{nitri} = \frac{F_{entrée}^{NTK} - F_{effluent}^{NNH4}}{F_{entrée}^{NTK}} \quad \text{Équation 5}$$

- Le flux nitrifié est calculé avec l'Équation 2
- La concentration en nitrate dans les rejets est calculé grâce au débit virtuel calculé dans la situation actuelle (Équation 6).

$$C_{effluent}^{NNOx} = \frac{F_{nitri}^{TN}}{Q_{recirc}^{virtuel} + Q_{effluent}} \quad \text{Équation 6}$$

- Comparaison du flux d'azote dans l'effluent et celui souhaité et modification de la valeur d'initialisation du flux d'urine à séparer.

Pour le **phosphore**, le calcul a été simplifié en considérant un même rendement d'élimination avec ou sans séparation des urines.

4.3.3.2. Scénario 2 « Compatibilité DERU »

Les objectifs de la DERU sont en zone sensible à horizon 2045 :

- Pour les stations de plus de 10 000 EH et moins de 150 000 EH : rendement d'élimination de 80% sur l'azote total et 87,5% sur le phosphore total.
- Pour les stations de plus de 150 000 EH : rendement d'élimination de 80% sur l'azote total et 90% sur le phosphore total.

De nombreuses stations respectent déjà ces seuils, mais d'autres vont devoir augmenter leur capacité de traitement. Cela concerne 14 stations d'épuration pour l'azote, et 17 stations pour le phosphore.

La nouvelle DERU laisse la possibilité de calculer les rendements d'élimination en considérant les flux de nutriment envoyés en fertirrigation comme étant des flux éliminés (non-envoyés au milieu récepteur). La même hypothèse a été considérée pour les flux d'urine séparée à la source. Cela revient en fait à imposer des taux de rejets dans le milieu naturel : par exemple 20% pour l'azote et 10% pour le phosphore (STEP de plus de 150 000 EH).

Les flux à séparer en rivière ont donc été calculé pour atteindre ces taux de rejets et de rendement d'élimination.

Tableau 10. Nombre de station et flux d'azote et de phosphore à séparer pour atteindre le scénario 2 « Compatibilité DERU »

Taille	Nombre de station		Flux à séparer en rivière (t/an)		Flux d'urine à séparer (t/an)	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
< 200 EH	0	0	0	0	0	0
[200 à 2000 EH [	0	0	0	0	0	0
[2000 à 10 000EH [	0	0	0	0	0	0
[10 000 100 000 EH [	5	13	213	9	628	49
[100 000 à 1 000 000 EH [	6	2	920	28	2 989	169
> 1 000 000 EH	3	2	5 814	333	17 165	1 729
Total	14	17	6 947	369	20 781	1 947
Pourcentage du flux total en entrée des stations d'Ile de France					35%	32%

La carte suivante montre que la répartition n'est pas du tout identique au scénario « Bon état ». Les efforts doivent être concentrés sur les stations d'épurations du SIAAP et autour du Grand Paris.

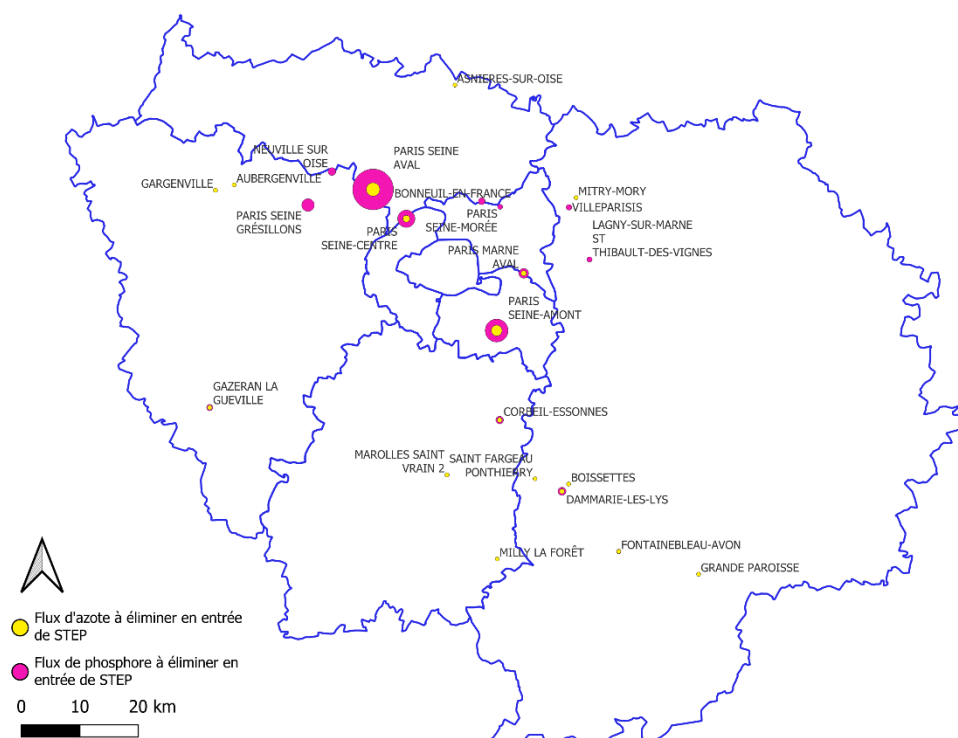


Figure 18. Station d'épuration dont le niveau de traitement de l'azote (en rose) et du phosphore (en jaune) doit être augmenté pour atteindre les rendements minimums de la DERU. La taille des cercles est proportionnelle aux flux à séparer en entrée de chaque station.

Désagrégation à l'échelle de la commune

Les filières étant analysées à l'échelle de la commune, il est nécessaire de désagréger les données de la station d'épuration à l'échelle de la commune. Pour cela, la base de Données sur les Eaux Résiduaire Urbaines (ERU) du ministère de la transition écologique et de la

biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche, a été utilisé²⁹. Pour chaque station d'épuration, les communes raccordées sont recensées. Le taux de raccordement n'est pas indiqué, et une même commune peut donc être intégrée à plusieurs stations d'épuration. A défaut de disposer d'une meilleure information, le flux de nutriment provenant de chaque commune est donc calculé au prorata de sa population. De plus, il est considéré qu'une commune raccordée à plusieurs stations d'épuration enverra une fraction identique à chaque station.

Ensuite, pour étudier l'impact supposé des scénarios la séparation à la source sur les milieux, il est nécessaire de réagréger les données à l'échelle de la station d'épuration. Pour ce faire, l'ensemble des stations d'épuration du SIAAP ont dû être fusionnées. En effet, le réseau d'assainissement est largement interconnecté sur tout le périmètre du SIAAP.

4.3.4. Bilan matière global et énergie

Le bilan matière sert de base à l'ensemble des calculs dans la suite de l'étude, que ce soit pour le bilan environnemental ou pour le bilan économique.

Interface usagers

Il a été considéré 1 toilette par logement. Pour les ERP, le Tableau 11 ci-dessous synthétise les hypothèses retenues.

Tableau 11. Hypothèses pour le calcul du nombre de toilettes dans les ERP.

	Nb de personnes par toilette	Source
Centre commercial	200	
Culture, parcs à thème, Salle de spectacle, Monument, Stade	100	Equipement sanitaire des salles de spectacles. (Article Annexe ART. 69) - Légifrance
Entreprise	10	Code du travail
Ecoles élémentaires	20	Section 3 : Dispositions relatives à l'équipement sanitaire (Articles Annexe ART. 67 à Annexe ART. 71 bis) - Légifrance
Maternelles	10	
Collèges, Lycées et enseignement supérieur	30	
Congrès et festival	100	Identique culture
Gare	10 toilettes par gare	Hypothèse
Aéroport	Orly : 15 WCs CDG : 3273 WCs	Toilettes à l'aéroport Paris-Charles de Gaulle toilettespubliques.com

Dans les ERP, il est considéré que la moitié des urines est collectée par des urinoirs secs (masculins ou féminins) et l'autre moitié par des toilettes à eau.

Il a été considéré un taux de dilution de 2 pour les toilettes séparatives à eau, c'est-à-dire qu'autant d'eau que d'urine est collectée. Les chasses de ces toilettes peuvent être abaissées jusqu'à 2L pour la petite chasse et 4L pour la grande chasse. Les toilettes sèches et urinoirs secs sont par définition sans chasse d'eau et les urines sont donc collectées sans dilution. Les toilettes « électroménagers » sont considérés avec eau à défaut de données plus précises.

²⁹ [Accueil- Portail sur l'assainissement collectif](#)

Traitements

La nitrification-distillation des urines permet d'aboutir à un produit à 4,2% d'azote (Vuna Nexus, 2024). L'urine stockée ne présente pas d'effet de concentration, tandis que pour l'urine déshydratée un facteur de concentration de 20 est considéré (Martin et al., 2023).

La consommation électrique du traitement par nitrification-distillation des urines est de 0,12 kWh/L d'eaux jaunes traitées (urines + chasse d'eau). La déshydratation des urines consomme 1,92 kWh/toilettes/an (Martin et al., 2023).

Point de vigilance : A compter de 2035, les filières avec traitement par nitrification-distillation pourraient évoluer vers des traitements différents, notamment avec une nitrification sur lit de charbon actif et congélation. Le manque de données sur ces procédés a amené à simplifier le bilan matière et émissions de GES. **Ainsi les mêmes traitements de nitrification/concentration sont considérés de 2025 à 2045.**

Taux de perte d'azote

Des pertes par volatilisation d'azote sous forme d'ammoniac et de protoxyde d'azote (N₂O) sont considérées. Les taux de perte, variant selon le mode de traitement, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12. Taux de perte azotée dans l'atmosphère pour les différents traitements (Martin et al., 2023).

	Urine nitrifiée / concentrée liquide	Urine stockée	Urine concentrée déshydratée
Stockage N-NH ₃	0.1%	0.1%	0.5%
Traitement N-N ₂ O	0.7%	0.0%	
Traitement N-NH ₃		0.4%	10.0%
Epandage N-NH ₃	2.0%	7.0%	2.0%

Logistique

Des distances types de transport ont été considérées pour le transport d'urine brute ou concentrée, en fonction des zones de départ des flux transportés :

- En zone dense : les urines concentrées sont envoyées pour valorisation à 45 km de distance (aller simple),
- En zone urbaine : les eaux jaunes brutes sont envoyées à 30 km (aller simple),
- En zone rurale : les eaux jaunes brutes sont envoyées à 10 km (aller simple).

Un camion d'une capacité de 10 m³ est considéré.

Dans le cas de la filière F3, où les urines sont amenées par les particuliers jusqu'à un point d'apport volontaire, une distance de 2 km aller-retour en voiture individuelle est considéré. Il a été considéré que des bidons de 10 L sont utilisés et vidangés une fois par semaine. Les points d'apport volontaire sont des sites avec un fort maillage territorial (par ex. mutualisation possible avec des points de livraison de produits maraichers d'agriculteurs). Situés sur ces zones d'apport volontaire, les points de stockage des urines sont dimensionnés pour être vidés une fois par semaine. Une capacité de 280 L a été retenue, pour que le volume du dispositif de stockage lors du transport puisse être inclus dans un utilitaire qui ne soit pas spécifiquement dédié à cet usage.

Dans le cas de la filière F5, où les urines sont déshydratées dans les toilettes électroménagers (scénario Massification uniquement), les particuliers amènent un bidon de 10 L d'urines dans un point d'apport volontaire de type déchetterie (un par commune) à 5 km (aller-retour). Une fréquence de 3 à 4 fois par an sera nécessaire par foyer selon le nombre de personnes présentes dans le foyer.

4.3.5. Bilan environnemental

Le bilan environnemental s'intéresse aux émissions de gaz à effet de serre directes ou indirectes, ainsi qu'aux diminutions des rejets d'azote et de phosphore dans le milieu récepteur. Un zoom sur les émissions de NH_3 est également possible grâce aux calculs du bilan matière précédent.

Le périmètre d'étude du bilan carbone comprend :

- **Transport** : les émissions dues au transport des urines et/ou des produits par des camions transportant 10 t d'urine, des utilitaires (filiales F3) et des voitures individuelles (F5).
- **Traitement** : les émissions de N_2O ainsi que la consommation énergétique sont considérées.
- **Epandage** : les émissions liées au passage des tracteurs pour l'épandage des produits.
- **Emissions évitées** :
 - **Engrais conventionnels** : la production et l'épandage des engrais (pas d'émissions de N_2O , uniquement l'aspect logistique).
 - **A la station d'épuration** : émissions évitées de N_2O par une baisse du flux d'azote à nitrifier, et baisse de la consommation énergétique de l'aération pour la nitrification.

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des hypothèses considérées.

Tableau 13. Hypothèses de calcul du bilan carbone des filiales.

Nom	Valeur	Unité	Source
Transport			
Transport en camion 14-20t (10t) France (dont parc, utilisation et infrastructure) (50%), FR	0,14	kgCO ₂ eq/tkm	Base Empreinte® ADEME
Transport en camion 7,5t (3t) France (dont parc, utilisation et infrastructure) (50%), FR	0,267	kgCO ₂ eq/tkm	Base Empreinte® ADEME
Voiture particulière/Coeur de gamme - Véhicule compact/Hybride, mild, diesel	0,217	kgCO ₂ eq/km	Base Empreinte® ADEME
Traitement des urinofertilisants			
Electricité/2020 - mix moyen/consommation	0,0599	kg éq. CO ₂ /kWh	Base Empreinte® ADEME
Conso énergétique nitrification et concentration des urines	0,12	kWh/L urine diluée	Fact Sheet Vuna
Conso énergétique déshydratation des urines	1,92	kWh/toilettes/jour	(Martin et al., 2023)
Epandage			

Engrais/azoté moyen	4280	kg éq. CO ₂ /tonne de N	Base Empreinte® ADEME
Engrais/phosphaté moyen	1350	kg éq. CO ₂ /tonne de P ₂ O ₅	Base Empreinte® ADEME
Proxi pour l'épandage d'urinofertilisant : « <i>liquid manure spreading, by vacuum tanker</i> » en Suisse	1,33	kg CO ₂ -Eq/m ³	Ecoinvent 3.6 Apos
Epdange de fertilisant par diffuseur (« <i>broadcaster</i> »)	26,5	kg CO ₂ -Eq/ha	Ecoinvent 3.6 Apos
Station d'épuration			
Emission N ₂ O STEP SIAAP : biofiltre	1,65%	kgNN ₂ O/kgNTK elim	(ASTEE, 2024)
Emission N ₂ O STEP boues activées	0,06%	kgNN ₂ O/kgNTK elim	(ASTEE, 2024)
Rendement NTK station Ile de France	93%		Données AESN
Autres facteurs de conversion			
N ₂ O	273	kg éq. CO ₂ /kgN ₂ O	Base Empreinte® ADEME
Facteur conversion NN ₂ O en N ₂ O	44/28	kgN ₂ O/kgN-N ₂ O	

4.4. Résultats - taux de séparation à la source

4.4.1. Scénario 1 « Atteinte du bon état écologique »

4.4.1.1. Flux à séparer pour l'atteinte des objectifs de bon état sur N et P

Le tableau ci-dessous résume les flux d'azote et de phosphore à séparer par les urines pour atteindre le bon état écologique des masses d'eau sur les paramètres N et P. On remarque qu'il faudrait séparer environ 20% du flux d'azote entrant dans les stations à l'échelle de l'Ile de France, et 24% du flux de phosphore.

Tableau 14. Flux d'azote et de phosphore à séparer par les urines pour atteindre le bon état écologique des cours d'eau sur les paramètres N et P.

Taille des STEP	Flux d'urine à séparer (t/an)	
	Flux d'azote	Flux de phosphore
< 200 EH	0	0
[200 à 2000 EH [	265	34
[2000 à 10 000 EH [	315	40
[10 000 100 000 EH [	1 112	104
[100 000 à 1 000 000 EH [	1 734	195
> 1 000 000 EH	8 469	1 086
Total	11 895	1 460
Pourcentage du flux total en entrée des stations en Ile de France	20%	24%

Après désagrégation à l'échelle de la commune, 562 communes doivent mettre en place une séparation des urines avec pour objectif la séparation de 11 620 tN/an³⁰. Les communes concernées par ce scénario sont représentées en fonction des différentes typologies de territoires et illustrés dans la figure suivante.

³⁰ Les communes ayant des flux à séparer < à 0.01tN/an n'ont pas été prises en compte dans le déploiement des scénarios.

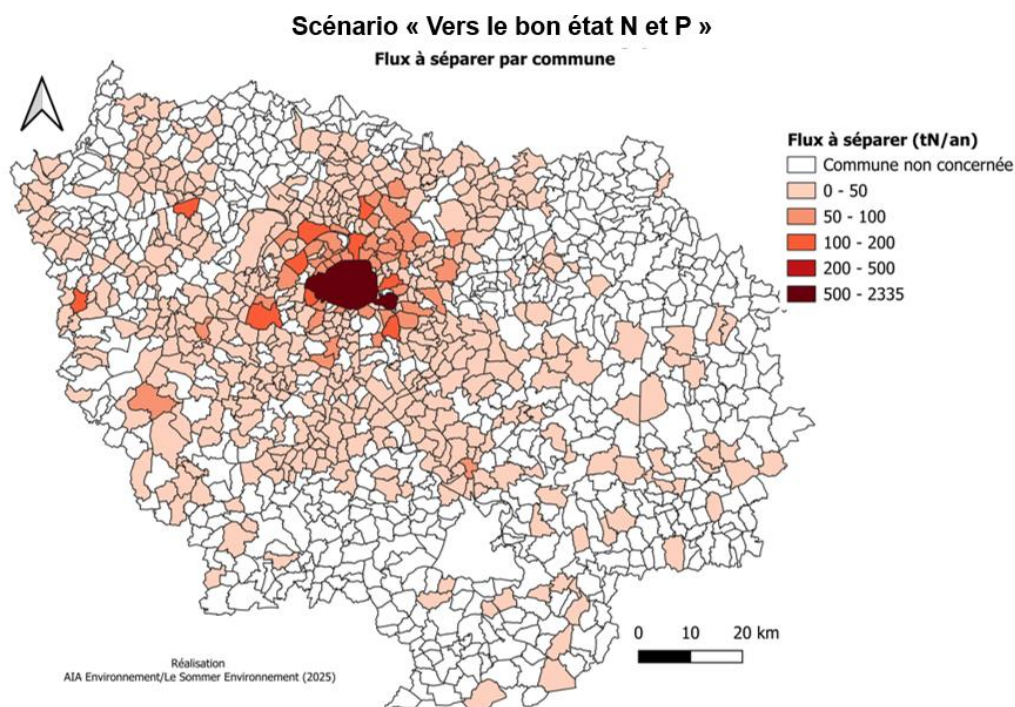


Figure 19. Cartographie des flux d'azote à séparer en 2045 par commune (scénario « Vers le bon état N et P »).

Rappel : les communes en blanc sont non concernées, donc ne présentent pas de flux à séparer dans le cadre de ce scénario (0 tN/an). **Dans ces communes non concernées, le taux de déploiement est nul. La priorité est donnée aux communes concernées ayant un flux à séparer.**

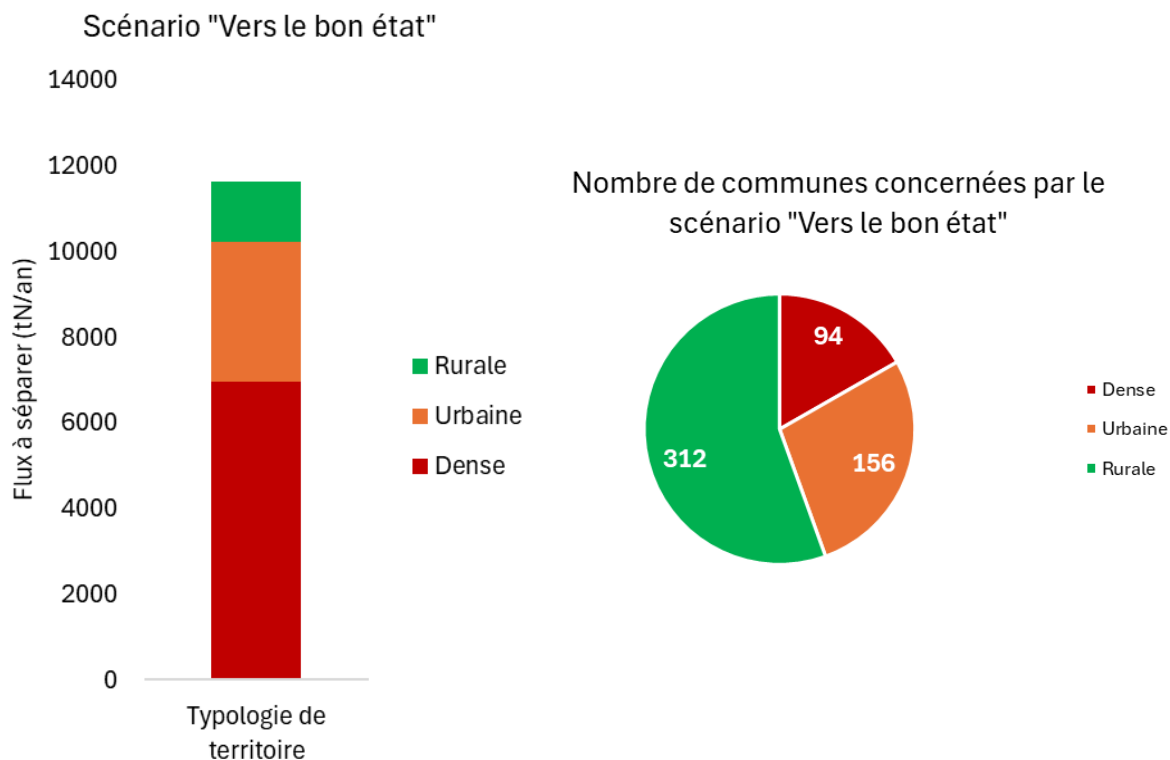


Figure 20. Nombre de communes concernées par les objectifs d'amélioration de l'état des masses d'eau sur les paramètres N et P, avec les flux d'azote à séparer associés en 2045.

Selon les typologies de territoire, le flux d'azote à séparer n'est pas proportionnel au nombre de communes associé :

- 94 communes en zone dense avec un flux à séparer de 6 950 tN/an,
- 156 communes en zone urbaine avec un flux à séparer de 3 255 tN/an,
- 312 communes en zone rurale avec un flux à séparer de 1 415 tN/an.

Cette quantification met en évidence un flux important à séparer par un nombre restreint de communes en zones denses.

Pour chaque commune concernée par ce scénario, les flux à séparer ont été comparés aux gisements totaux potentiels des communes, afin d'identifier la part mobilisable par rapport au gisement total. Cette analyse met en exergue des résultats contrastés selon les communes (cf. figure ci-dessous).

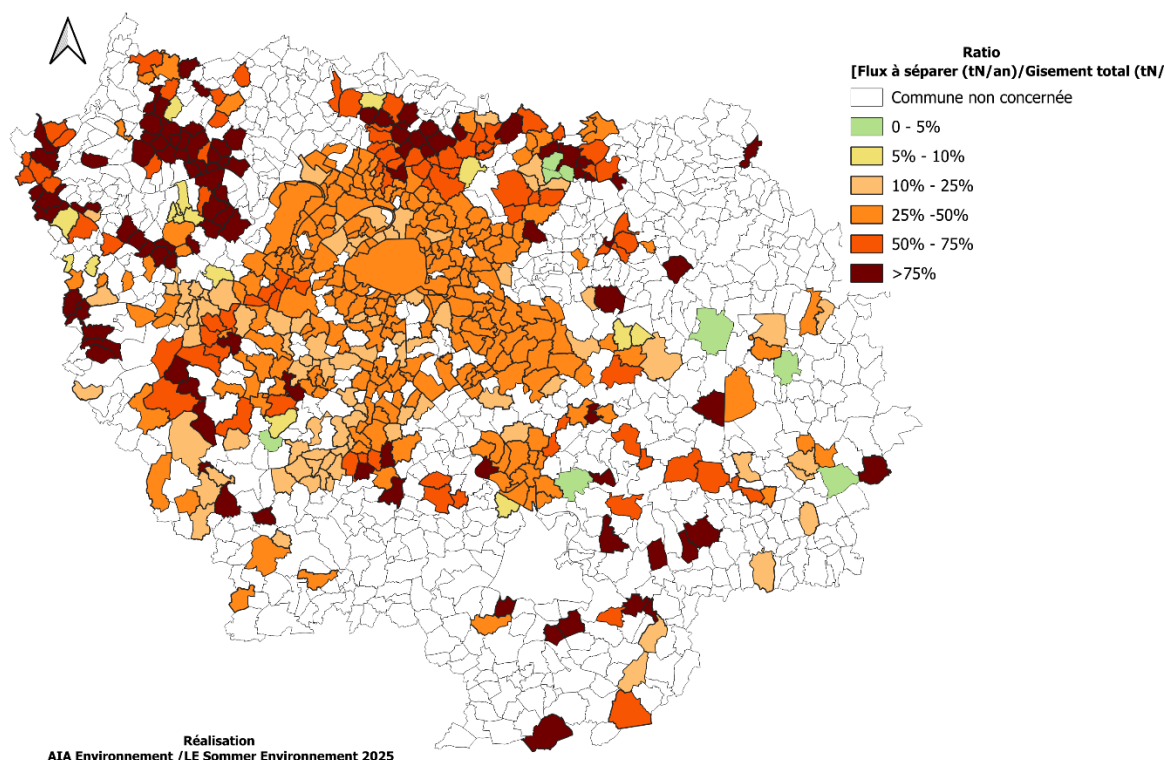


Figure 21. Ratio entre les flux à séparer pour l'atteinte du bon état et le gisement total par commune.

De manière générale, les flux à séparer représentent des proportions supérieures à 10% du gisement total des communes :

- des proportions comprises entre 10 et 50% dans les zones de typologie denses et urbaines,
- des proportions supérieures à 50% majoritairement dans les zones rurales.

4.4.1.2. Flux séparable aux horizons 2035 et 2045

Pour parvenir à séparer ces différents flux, l'étude du déploiement des filières de ce scénario, « Vers le bon état des eaux N et P », a été faite selon les deux horizons de temps définis, 2035 et 2045, en tenant compte des taux maximaux de mise en place définis pour les différentes filières.

Dans certaines communes, ces taux de déploiement restent insuffisants pour séparer les flux nécessaires à l'atteinte du bon état écologique, on parle donc de communes pouvant « **séparer partiellement le flux nécessaire** ». Inversement dans d'autres communes, ces taux sont suffisants pour extraire le flux à séparer : on parle de communes pouvant « **séparer entièrement le flux nécessaire** ».

Sur les 562 communes concernées, seules 30 communes sont capables de « **séparer entièrement le flux nécessaire** », donc dans ces communes, l'objectif de séparation est réalisable Figure 22.

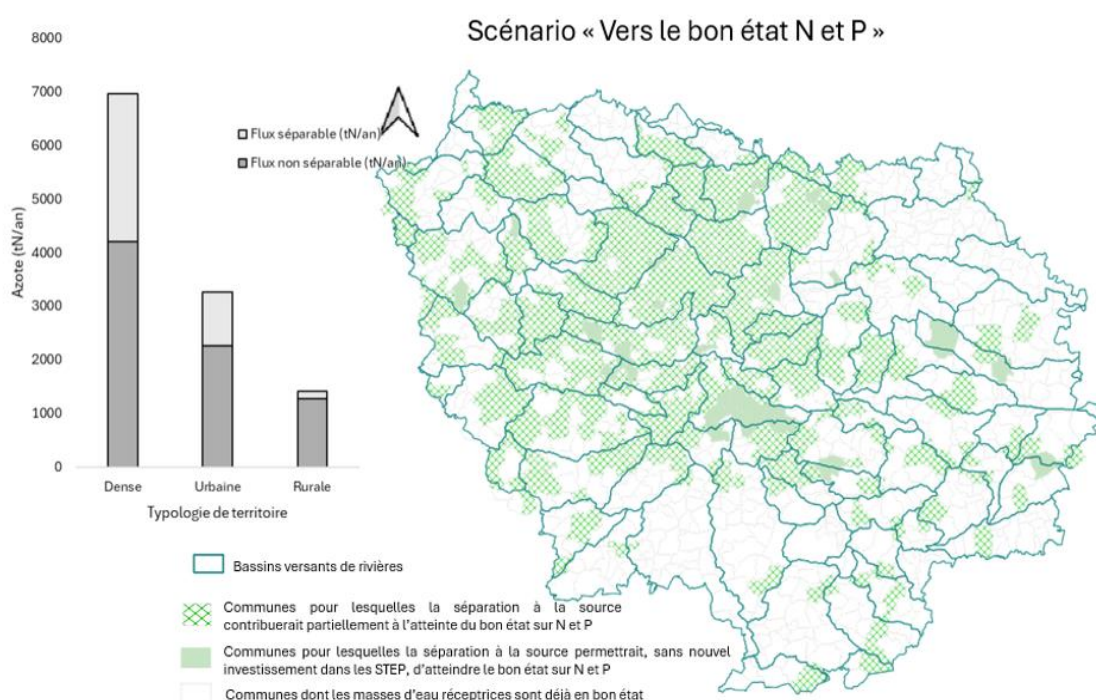


Figure 22. Cartographie de la faisabilité de l'atteinte du bon état écologique ainsi que les flux d'azote séparés et restant à séparer en 2045.

Dans les 527 autres communes concernées par ce scénario, l'objectif de séparation n'est pas atteignable car les flux séparables selon les taux de déploiement maximaux par filière sont insuffisants. Toutefois, ces communes pourraient permettre de séparer un flux de **3 376 tN/an**.

Le flux total séparable sur l'ensemble des communes concernées (communes à flux séparable suffisant et communes à flux séparable insuffisant, soit les 562 communes) est de **3 883 tN/an** et représente 33% du flux total devant être séparé :

- les communes de la zone de zone dense séparent 2 748 tN/an,
- les communes de la zone de zone urbaine séparent 995 tN/an,
- les communes de la zone de zone rurale séparent 140 tN/an.

Ces différences de flux séparable entre les différentes zones peuvent s'expliquer par la différence de gisements potentiels totaux qui y sont quantifiées.

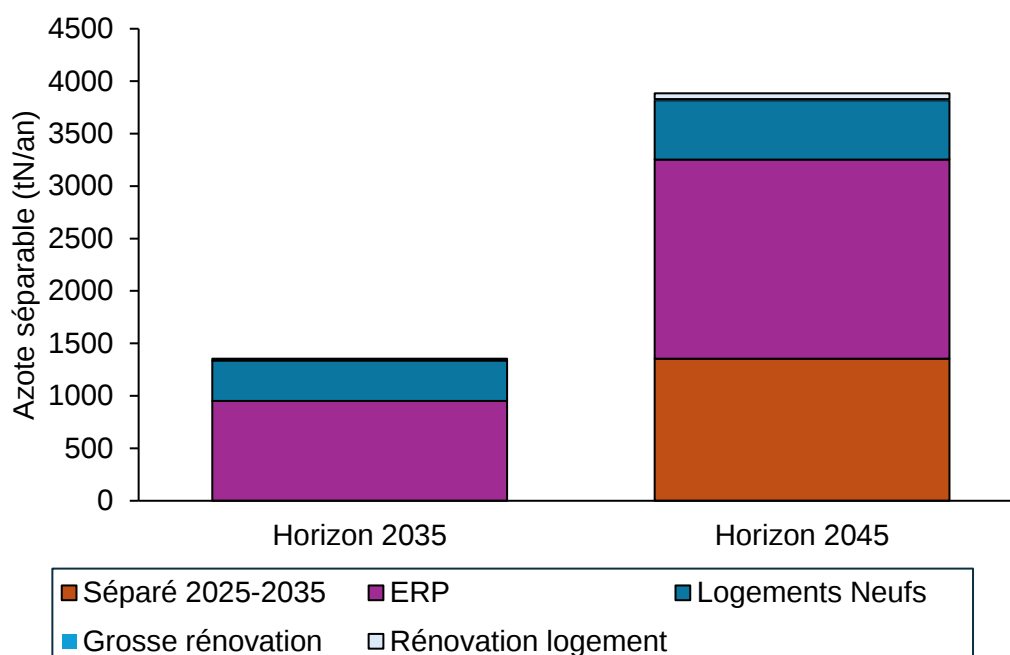


Figure 23. Flux d'azote séparé en fonction des lieux de collecte en 2035 et 2045 (scénario « Vers le bon état N et P »).

A l'horizon 2035, ce scénario permettrait de séparer un flux de 1 339 tN/an soit 12% du flux total devant être séparé dans le cadre de ce scénario. Cet azote pouvant être séparé provient majoritairement des ERP (70%) et des logements neufs à 29%.

A l'horizon 2045, ce scénario permettrait de séparer le flux total de 3 883 tN/an mentionné précédemment, soit 2 529 tN/an supplémentaires entre 2035 et 2045. Le flux total mobilisable provient à 73% des ERP (2 850 tN/an), 24% des logements neufs (950 tN/an) et à 2% des logements rénovés (84 tN/an).

Afin de mieux comprendre la dynamique de ces flux séparables, un zoom a été réalisé sur les communes dans lesquelles l'objectif de séparation est atteignable. Dans ces communes, où l'atteinte du bon état est possible, on distingue deux configurations de territoires :

- Dans les zones denses et urbaines, la faisabilité repose principalement sur une **forte concentration d'ERP**, qui vont générer des flux d'urines importants et mobilisables. Certaines communes illustrent cette configuration :
 - **La Défense**, qui concentre un cluster important d'entreprises au nombre de salariés important,
 - **Issy-les-Moulineaux**, avec une concentration de bureaux également,
 - **Chessy** avec la présence de Disneyland Paris,
 - **Guyancourt**, une zone industrielle avec des clusters d'entreprises,
 - **Orly et Roissy-en-France** avec les aéroports d'Orly et Charles de Gaulles.
- Dans les zones rurales, les communes concernées n'ont pas besoin de séparer des flux très importants pour atteindre leur objectif de « bon état écologique ». En effet, les flux à séparer sont majoritairement inférieurs à 1 tN/an, soit moins de 1% du gisement total de ces communes.

A l'inverse, dans les communes où l'objectif de séparation pour l'atteinte du « bon état » n'est pas réalisable, on remarque que le flux à séparer est supérieur à 100 tN/an et représente des proportions supérieures à 50%, rendant l'atteinte du bon état difficilement réalisable.

4.4.1.3. Amélioration des milieux

Les cartes en Figure 32 montrent que, si l'atteinte du bon état écologique sur l'ensemble du territoire reste hors de portée, , **les zones où l'état est le plus mauvais pourraient toutefois connaître une amélioration de leur classification pour les nitrates**. C'est notamment le cas des bassins de l'Yvette Amont et de la Beuvronne. En revanche, les progrès sur les paramètres ammonium et phosphore s'avèrent plus difficiles à obtenir. La séparation à la source apparaît dès lors comme une étape pertinente pour engager une dynamique d'amélioration de la qualité des masses d'eau, bien qu'elle ne puisse, à elle seule, garantir l'atteinte des objectifs fixés.

Ce scénario permet ainsi d'**identifier des bassins versants prioritaires pour le déploiement des filières de séparation à la source des urines, au regard d'une analyse multicritères** appliquée à l'ensemble des communes et bassins versants d'Île-de-France. Cette analyse prend en compte les critères suivants :

- La pression actuellement exercée par les systèmes d'assainissement sur les masses d'eau (indicateur retenu : ratio P/Q),
- Le volume d'azote évité en station d'épuration grâce à la séparation à la source (indicateur retenu : tonnes d'azote séparées par an),
- La contribution à l'amélioration de l'état écologique des cours (indicateur retenu : nombre de gains de classe de qualité des masses d'eau au niveau des points de rejet des STEP),
- Une appréciation qualitative de la faisabilité de la séparation à la source (indicateur retenu : présence d'un grand ERP représentant une part significative des flux arrivant en station d'épuration).

Les bassins versants considérés comme prioritaires sont illustrés dans la carte ci-dessous.

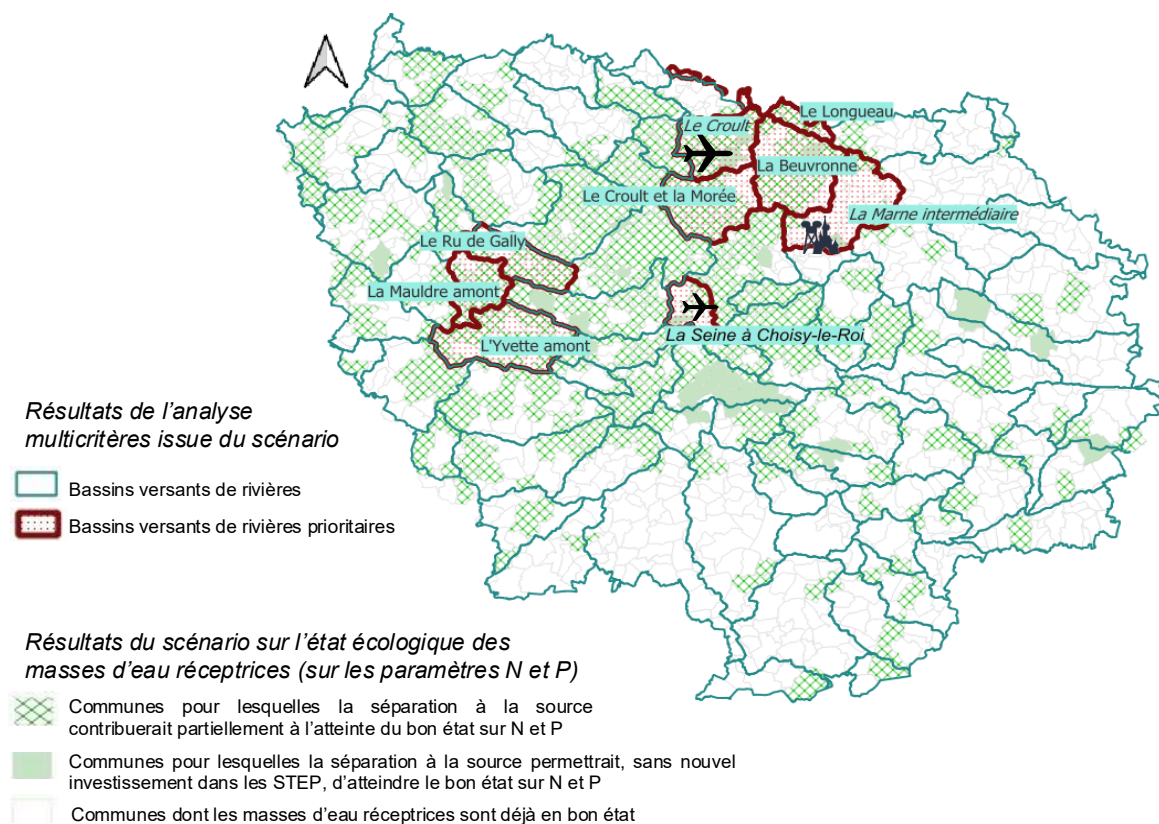


Figure 24. Bassins versants prioritaires identifiés sur la base d'une analyse multicritères du scénario « Vers le bon état écologique sur N et P ».

A l'horizon 2045, le déploiement de la séparation à la source dans les territoires jugés prioritaires permettrait d'éviter le rejet dans les milieux récepteurs de 1 542 tN/an et 30 tP/an.

4.4.2. Scénario 2 « Compatibilité DERU »

4.4.2.1. Flux à séparer pour l'atteinte des objectifs de compatibilité DERU

A l'échelle de l'Ile-de-France, 356 communes sont concernées par le besoin de séparer de l'azote afin d'assurer la compatibilité de leur station d'épuration de rattachement avec les exigences de la directive DERU. Parmi elles, 95 communes sont localisées en zone dense, 142 en zone urbaine et 119 en zone rurale. Le flux total à séparer dans les communes concernées est estimé à 20 640 tN/an, tel que représenté dans la cartographie ci-dessous.

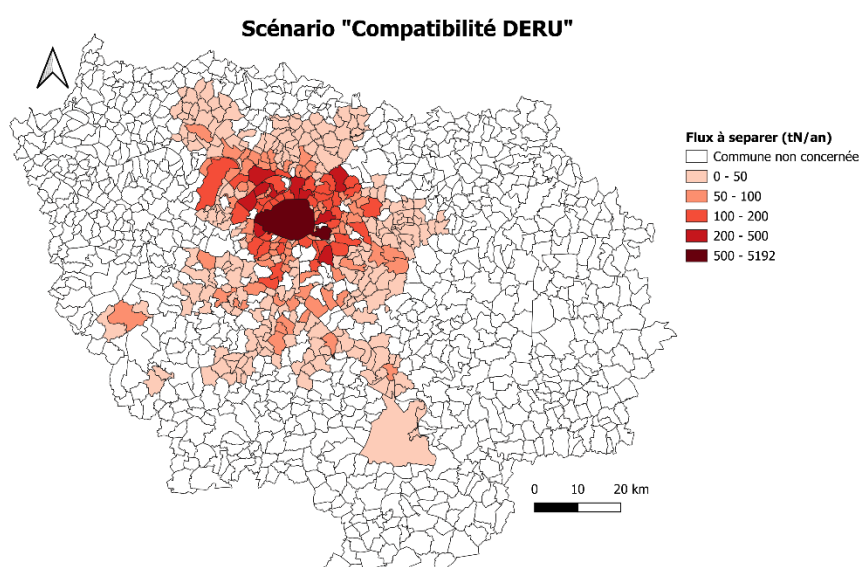


Figure 25. Cartographie des flux d'azote à séparer en 2045 par commune pour le scénario DERU.

La Figure 26 présente la répartition des communes concernées par ce scénario en fonction des typologies de territoires et des différents flux d'azote à séparer associés. Il en ressort que la zone dense concentre, à elle seule, le flux le plus important à séparer, estimé à 14 764 tN/an soit 72% du flux total devant être séparé. La commune de Paris se distingue avec le flux plus important à séparer, évalué à 5 192 tN/an, ce qui représente 25% du flux total à séparer (Figure 2525). Le flux à séparer dans les autres territoires sont moindres : en zones urbaine et rurale, ils sont respectivement de 5 205 et 671 tN/an.

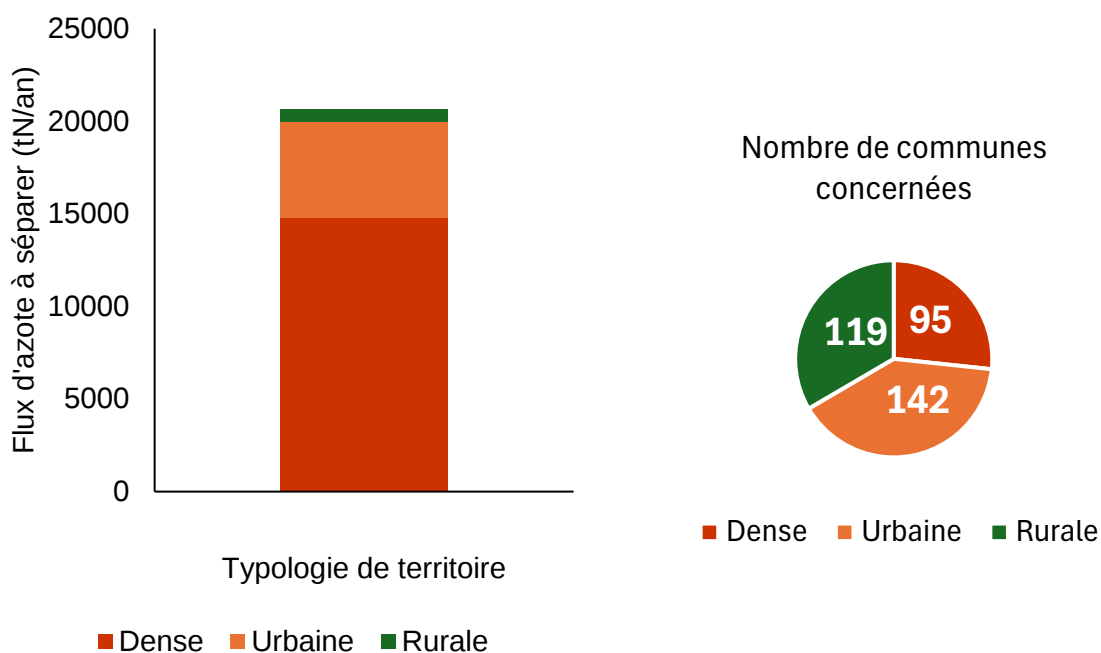


Figure 26. Nombre de communes concernées par la compatibilité DERU avec les flux d'azote à séparer associés en 2045.

Tout comme pour le scénario « Vers le bon état sur N et P », l'analyse du ratio entre les flux à séparer et le gisement total disponible a été effectuée. Les résultats montrent, que dans ce scénario également, les flux à séparer par commune représentent plus de 25% du gisement total potentiel de ces communes.

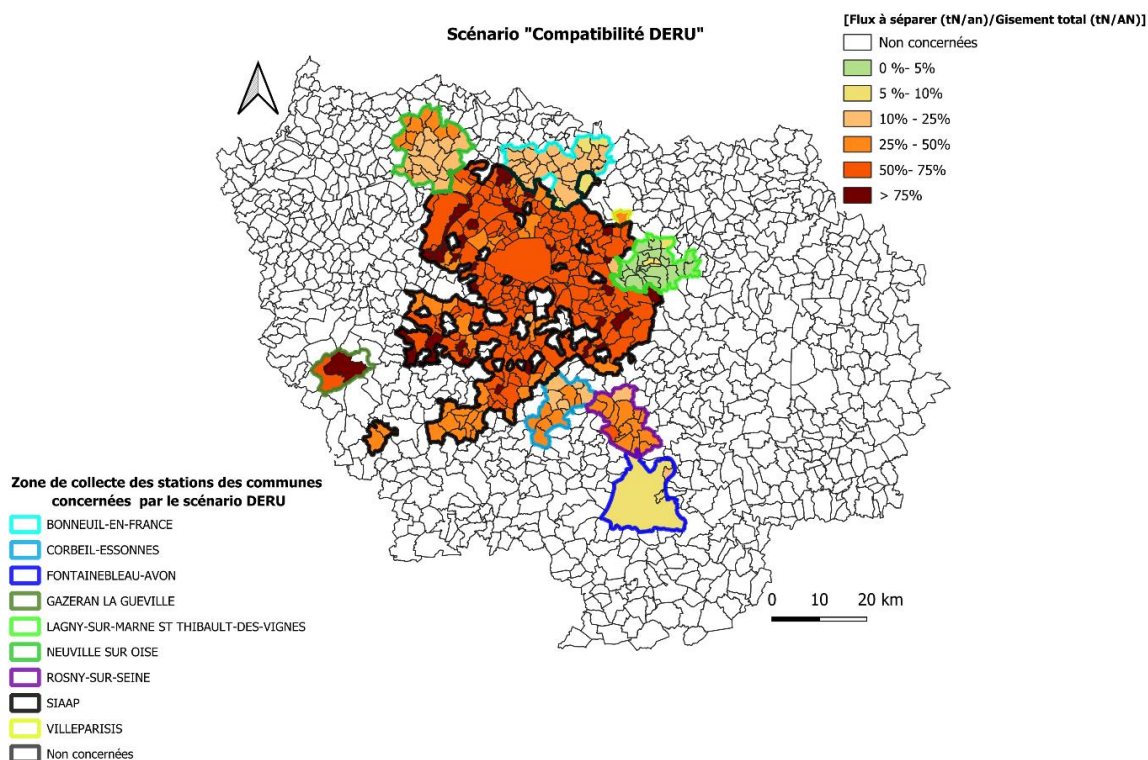


Figure 27. Ratio entre les flux à séparer pour la compatibilité DERU et le gisement total par commune.

Les communes d'Île-de-France ont été regroupées en fonction des zones de collecte rattachées aux principales stations d'épuration assurant le traitement de leurs eaux usées. Cette approche permet d'analyser les flux d'azote à séparer non seulement à l'échelle communale, mais aussi en tenant compte de la logique de traitement collectif des eaux usées.

L'ensemble des communes concernées par ce scénario est ainsi rattaché à l'une des neuf zones de collecte suivantes : *Bonneuil-en-France, Corbeil-Essonnes, Fontainebleau-Avon, Gazeran La Gueville, Lagny-sur-Marne St-Thibault-des-Vignes, Neuville-sur-Oise, Rosny-sur-Seine, SIAAP et Villeparisis*.

Cette cartographie met en évidence les zones où l'effort de séparation est le plus difficile par rapport au potentiel disponible. On observe notamment que plusieurs communes rattachées au SIAAP présentent un ratio élevé (> 50 %), soulignant des enjeux particulièrement marqués pour la mise en conformité avec les exigences de la DERU.

4.4.2.2. Flux séparable

A horizon 2045, ce scénario permet d'éviter l'envoi en station de traitement de **4 086 tN/an et de 283 tP/an**, ce qui représente 20% du flux total à séparer pour la compatibilité DERU et 13% du gisement total de l'ensemble des communes d'Ile de France. Il peut constituer un levier de réduction de la charge des stations et améliorer leur performance globale.

Une analyse des flux séparables à horizon 2035 et 2045 a été effectuée en fonction des lieux de collecte (logement ou ERP) Figure 28.

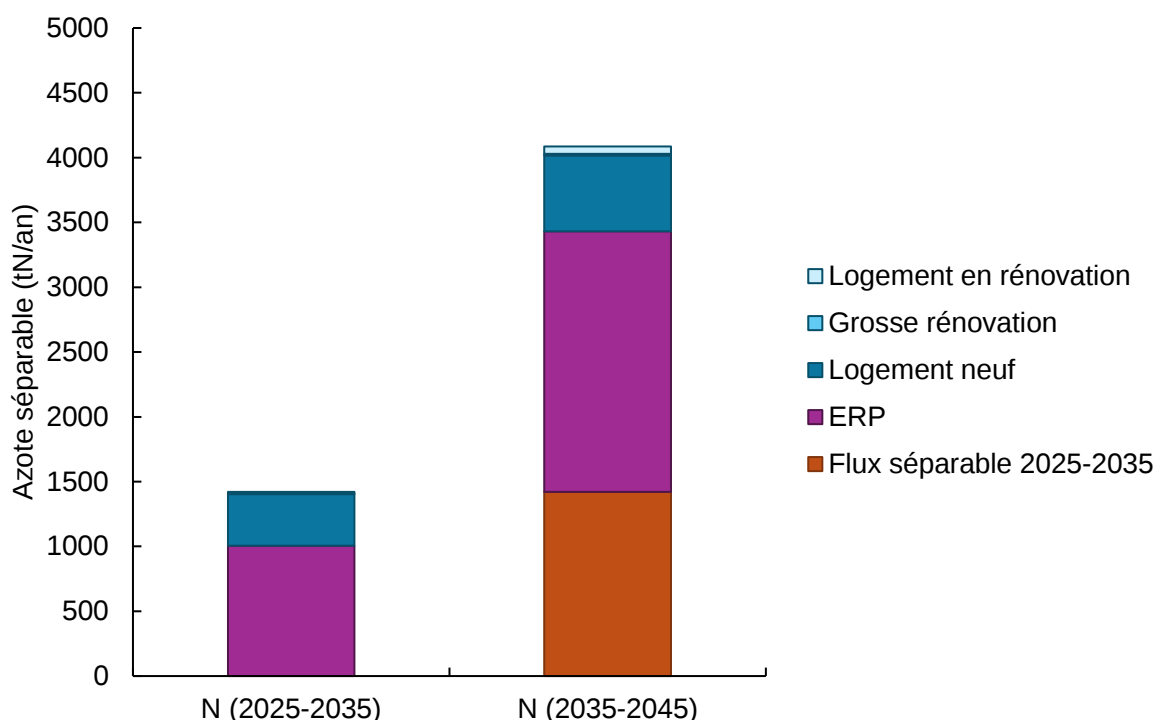


Figure 28. Flux d'azote séparé en fonction des lieux de collecte en 2035 et 2045 (scénario « Compatibilité DERU »).

A l'horizon 2035, ce scénario permettrait de séparer un flux de 1 421 tN/an soit 6,9% du flux à séparer dans le cadre de ce scénario. Cet azote séparable est issu majoritairement des ERP (71%) soit 1 005 tN/an, et des logements neufs avec une contribution de 399 tN/an, soit 28% du flux séparable.

En 2045, ce flux séparable atteindrait 4 086 tN/an, soit une augmentation du flux séparable de 2 664 tN/an par rapport à 2035. Cette hausse du flux est principalement due :

- aux ERP, avec un flux séparé supplémentaire de 2 010 tN/an,
- aux logements neufs et rénovés, qui permettraient de séparer respectivement 585 tN/an et 69 tN/an.

L'atteinte de l'objectif fixé, à savoir « la compatibilité DERU » est analysée en fonction de ces différents flux séparés à l'horizon 2045. Sur les 375 communes concernées, seules 25 communes arriveraient à séparer les flux nécessaires pour l'atteinte de l'objectif de compatibilité DERU de leur STEP, tandis que les 350 communes restantes présentent des flux séparables qui restent insuffisants (Figure 29).

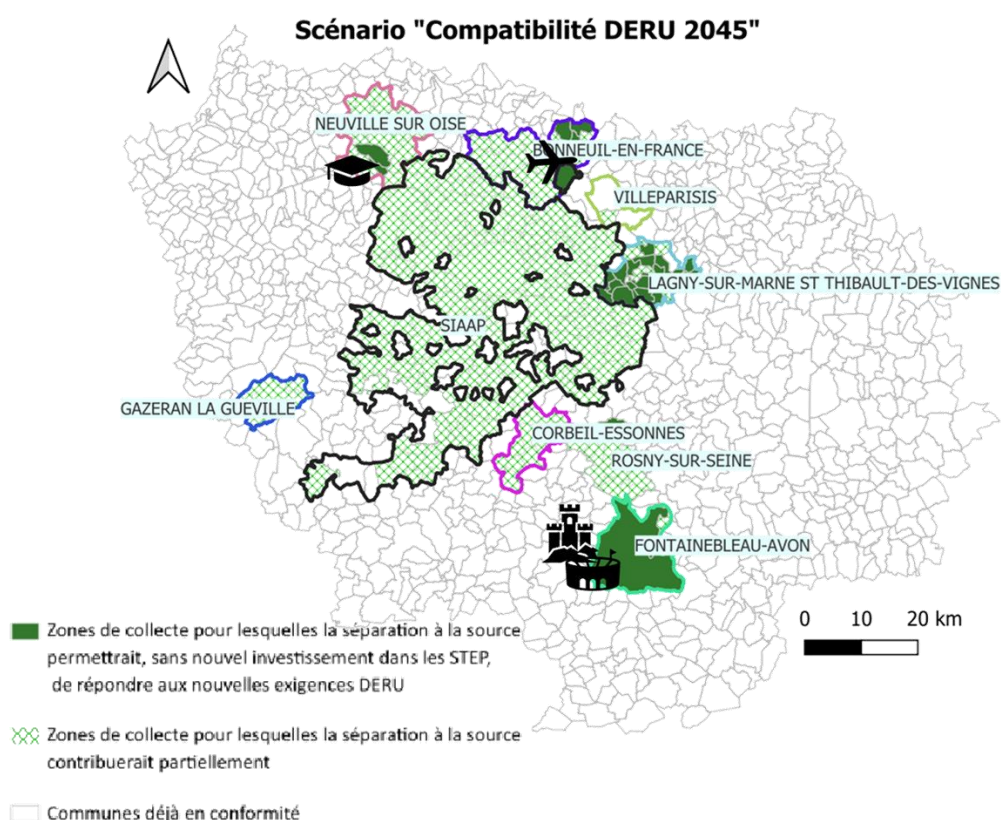


Figure 29. Répartition des communes selon l'atteinte des objectifs du scénario « compatibilité DERU ».

Des Figure 27 et Figure 29, il ressort que dans les communes où l'objectif est atteint, les flux à séparer sont généralement inférieurs à 10 tN/an, soit moins de 10% du gisement total de ces communes, à l'exception de la commune de Cergy. En effet, à Cergy, le flux à séparer est de 56,4 tN/an, dont 70% peuvent être séparés grâce aux ERP, notamment l'université de CY Cergy Paris Université qui accueille environ 26 000 étudiants.

Pour les 328 autres communes concernées, la séparation des flux est insuffisante pour atteindre l'objectif fixé, avec des flux à séparer supérieurs à 25% du gisement total de ces communes. Toutefois, les quantités d'azote séparées restent significatives.

4.4.2.1. Amélioration des milieux

Bien que ce scénario ne permette pas à l'ensemble des stations d'épuration d'atteindre la conformité aux exigences de la directive DERU par la seule séparation à la source, il contribue

significativement à la réduction des pressions sur les milieux aquatiques. En effet, il permet d'éviter le rejet de **1 649 tN/an et 49 tP/an** dans les milieux récepteurs. Du point de vue de l'état écologique des cours d'eau, les bénéfices sont notables. Les résultats obtenus en matière de qualité de l'eau sont comparables à ceux du scénario « Vers le bon état sur N et P » (voir Figure 32). Ce scénario permet notamment une amélioration pour plusieurs masses d'eau, en particulier sur les bassins versants de l'Yvette Amont et de la Beuvronne.

Point d'attention :

Le **flux séparable**, correspondant aux quantités d'azote détournées des stations d'assainissement par une séparation en amont, ne doit pas être confondu avec le **flux d'azote évité en milieu naturel**. Ce dernier désigne l'azote qui, après traitement en station d'épuration, n'est pas rejeté dans les rivières.

4.4.3. Scénario 3 « Vers une collecte d'urines et une fabrication d'urinofertilisants massifiées »

Le scénario « Massification » repose sur l'installation de WC électroménagers dans le parc de logements existants à partir de 2035, en remplacement des toilettes classiques.

À l'horizon 2045, ce dispositif permettrait de séparer environ 10 720 tN/an d'azote, soit un volume six fois supérieur à celui collecté en 2035 (1 824 tN/an), ainsi qu'environ 616 tP/an de phosphore.

Porté essentiellement par les ERP en 2035 (soit 1 297 tN/an), le flux séparé provient majoritairement, en 2045, des remplacements de WC dans les logements existants (5 759 tN/an, soit 54 % du flux total séparé).

Au vu du potentiel élevé de récupération d'azote, le déploiement à grande échelle de ce dispositif constitue un levier stratégique à actionner pour augmenter significativement les volumes d'urine collectés, notamment dans les zones rurales, où les autres solutions techniques ne permettent pas de traiter des flux importants.

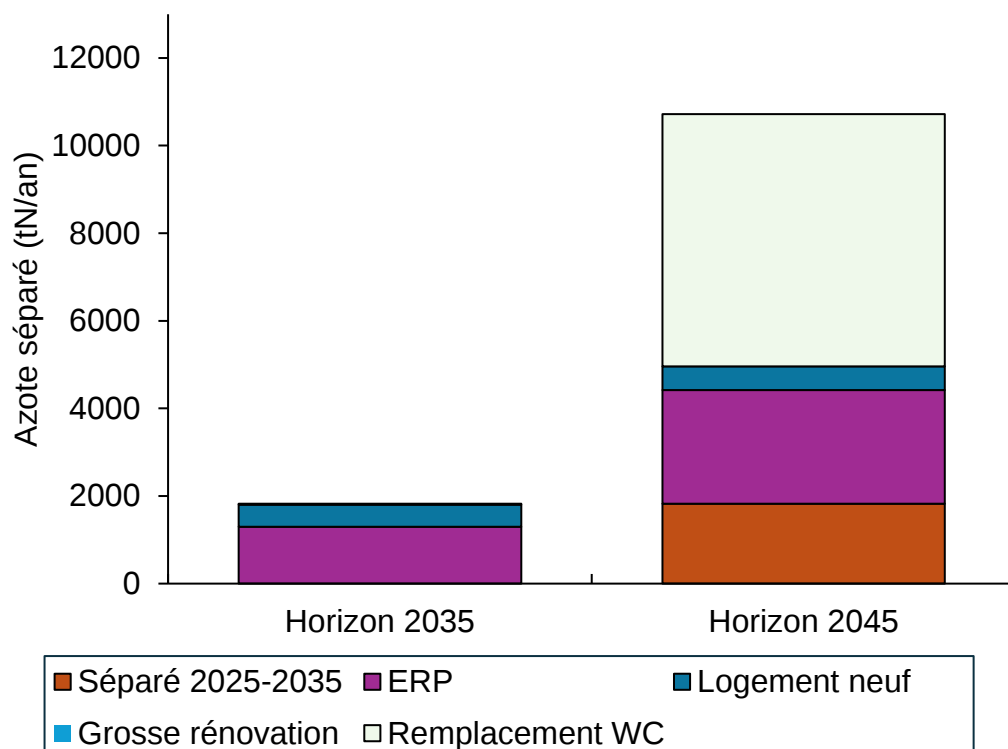


Figure 30. Quantité d'azote séparé toutes filières confondues en fonction des sites de collecte en 2035 et 2045 pour le scénario « Massification ».

Enfin, ce scénario permet d'éviter le rejet dans les milieux récepteurs de 3 396 tN/an et 122 tP/an à l'horizon 2045. Les cartes présentées en Figure 32 illustrent une amélioration généralisée de la qualité des masses d'eau au regard du paramètre nitrate, avec seulement deux stations contribuant encore à un mauvais état.

4.4.4. Comparaison des scénarios

4.4.4.1. Flux séparables

L'analyse comparative des trois scénarios a été effectuée aux échelles temporelles 2035 et 2045. Cette analyse est illustrée dans la Figure 31.

A l'horizon 2035, les flux d'azote séparable présentent des variabilités en fonction des scénarios. Les scénarios « Vers le bon état N et P » et « Compatibilité DERU » présentent des flux séparables assez proches, respectivement de 1 354 tN/an et de 1 422 tN/an. Le scénario « Massification » affiche un flux séparable plus important atteignant 1 824 tN/an. Cette différence s'explique par une séparation plus importante au niveau des ERP et des logements neufs provenant des communes non concernées par les deux autres scénarios. En effet, contrairement aux deux autres scénarios, dans le cadre du scénario « Massification », un taux de séparation est appliqué pour l'ensemble des communes d'Ile-de-France.

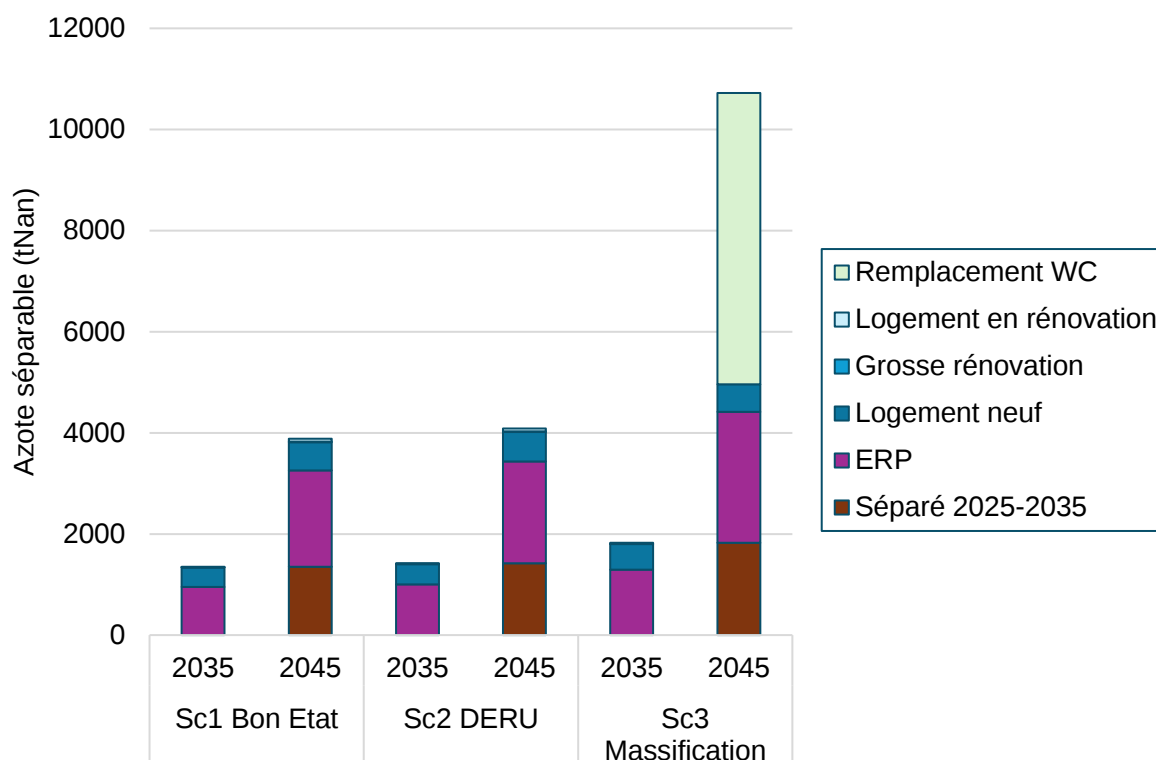


Figure 31. Comparaison des flux séparés dans les différents scénarios étudiés aux horizons 2035 et 2045.

A l'horizon 2045 également, les flux séparables pour les scénarios « Vers le bon état N et P » et « Compatibilité DERU » sont assez proches, respectivement de 3 883 et 4 086 tN/an. Dans ces deux scénarios, les ERP représentent la principale source d'azote séparable, contribuant respectivement à 73% (2 850 tN/an) et 74% (3 015 tN/an) du flux total pouvant être séparé. La similarité entre les flux séparables de ces deux scénarios peut surprendre au vu du nombre de communes concernées par chacun des scénarios (581 dans le scénario « Bon état », contre 375 dans le scénario « DERU »). Cela peut s'expliquer par deux raisons :

- D'une part, en zones dense et urbaine, ces deux scénarios sont déployés dans des communes identiques. Ces communes sont aussi celles qui concentrent le plus d'ERP, dans lesquels les taux de séparation atteignent généralement leur maximum. La séparation dans les logements, mise en place dans un second temps, apporte un flux d'azote supplémentaire qui reste moindre.
- D'autre part, les communes concernées qui diffèrent entre ces deux scénarios sont essentiellement localisées en zone rurale avec peu d'ERP. Les ERP identifiés dans ces zones sont des petits ERP, souvent au nombre de 1 ou 2, dont la plupart sont des écoles. Dans ces zones, les flux séparables provenant des ERP sont donc faibles. En outre, le déploiement dans les logements est effectué uniquement dans les logements en ANC (dotés de toilettes sèches), donc contribue peu aux flux pouvant être séparés.

Quant au scénario « Massification », il permettrait de séparer à lui seul 10 720 tN/an en 2045, soit environ 2,6 fois le flux séparable des deux autres scénarios. Cette augmentation des flux séparables s'explique par la mise en place de la filière logement F5 avec les WC électroménagers, qui permettrait à terme de séparer un flux de 5 759 tN/an.

Ainsi pour les scénarios « Vers le bon état » et « Compatibilité DERU », les possibilités de séparation du flux se basent essentiellement sur les ERP. Inversement, pour le scénario « Massification », la part la plus importante des flux séparables provient des logements.

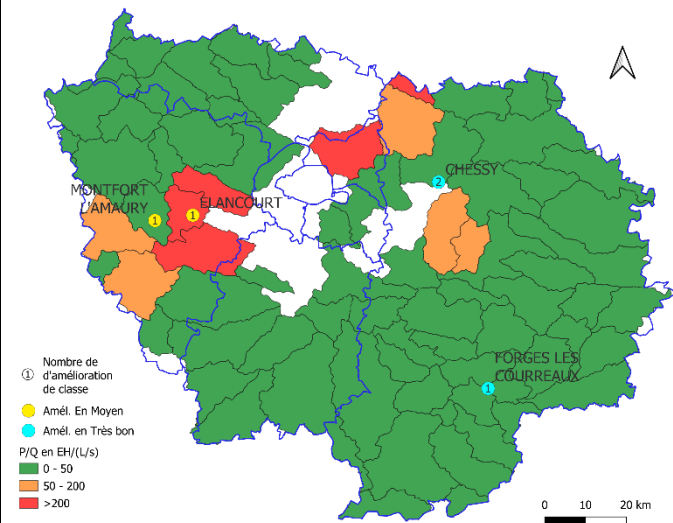
4.4.4.2. Qualité des masses d'eau

Les scénarios 1 (Vers le bon état) et 2 (Compatibilité DERU) présentent des performances similaires en matière de flux évités en rivières, respectivement 1 542 tN/an et 30 tP/an pour le scénario 1, et 1 649 tN/an et 49 tP/an pour le scénario 2. Ils permettent une amélioration comparable de la qualité des masses d'eau. Pour certaines masses d'eau, cette amélioration peut permettre un gain de classe en termes de qualité, comme c'est le cas des bassins de l'Yvette Amont et de la Beuvronne.

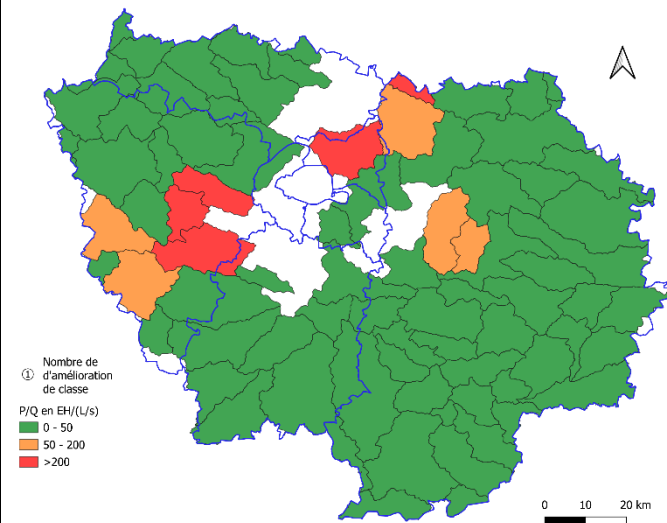
Le scénario 3 (Massification) se distingue par une amélioration plus large et marquée de la qualité des masses d'eau. Grâce à un déploiement intensif de la séparation des flux, y compris dans les logements existants avec des taux de déploiement plus élevés, il permet une réduction significative des rejets, atteignant 3 396 tN/an et 122 tP/an. Cette approche ambitieuse se traduit par une amélioration de classe de qualité sur un nombre important de masses d'eau, avec des gains pouvant aller jusqu'à trois classes sur les paramètres N et P.

Tous ces résultats sont illustrés dans les cartes ci-dessous.

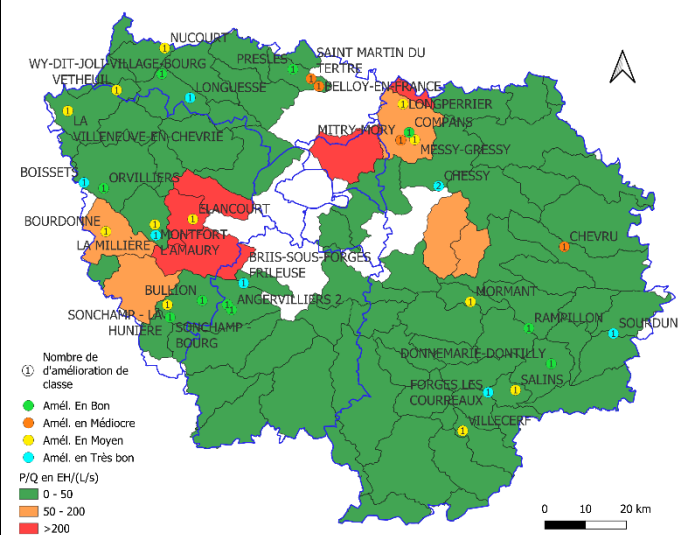
Ammonium



Scénario 1 Bon Etat

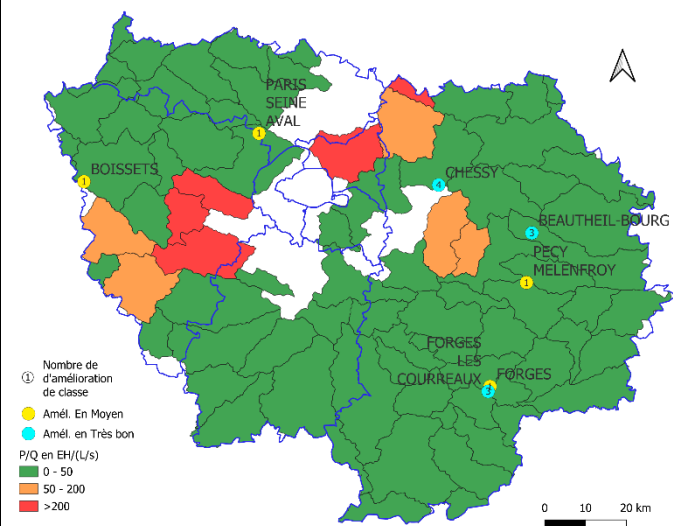


Scénario 2 DERU

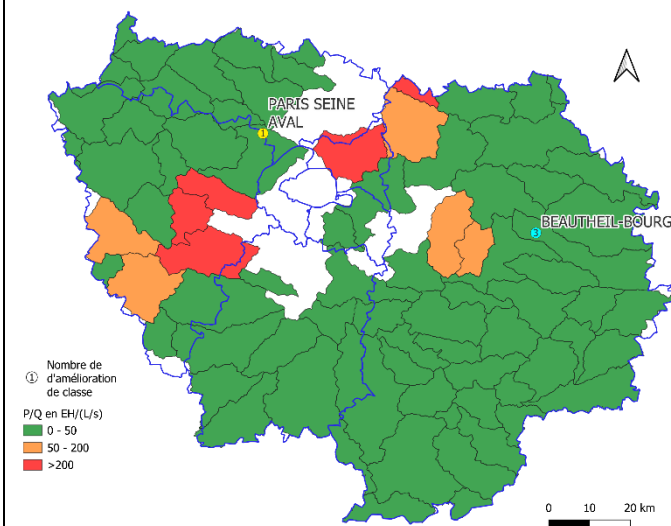


Scénario 3 Révolution des WC

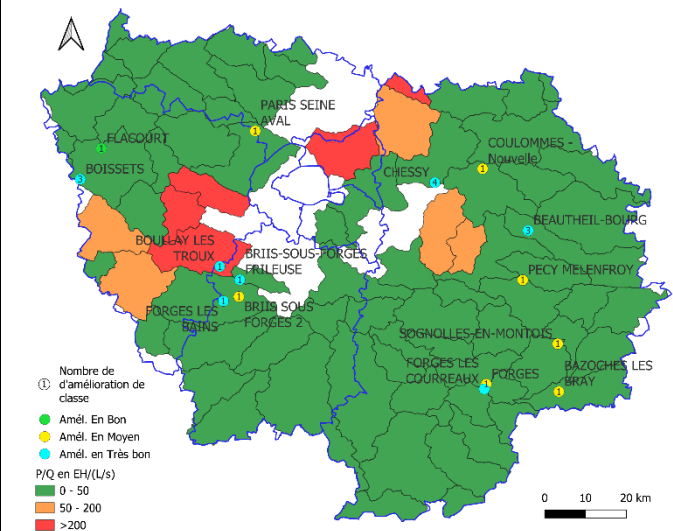
NOx



Scénario 1 Bon Etat

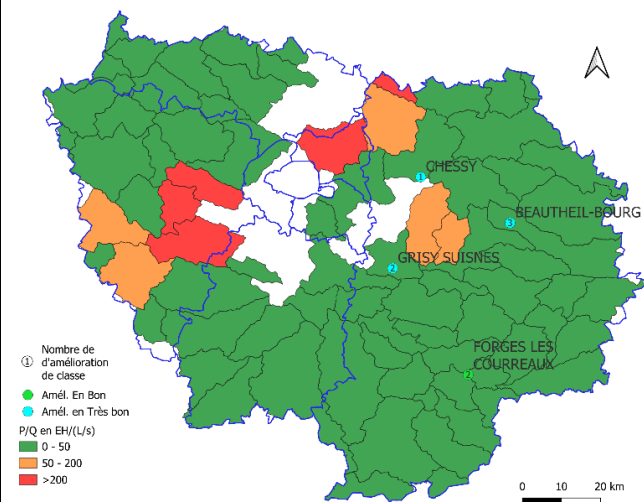


Scénario 2 DERU

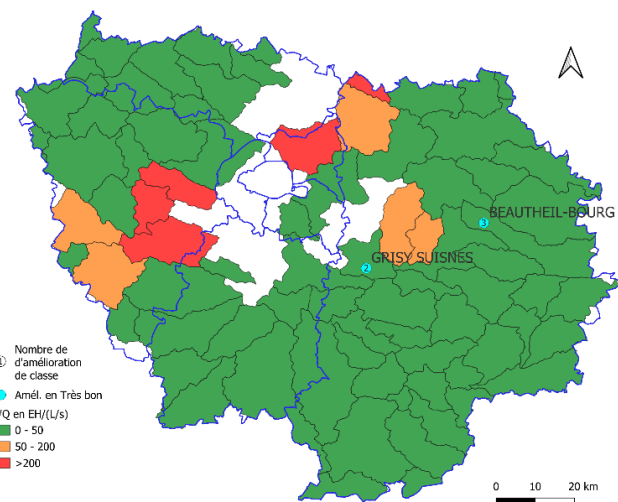


Scénario 3 Révolution des WC

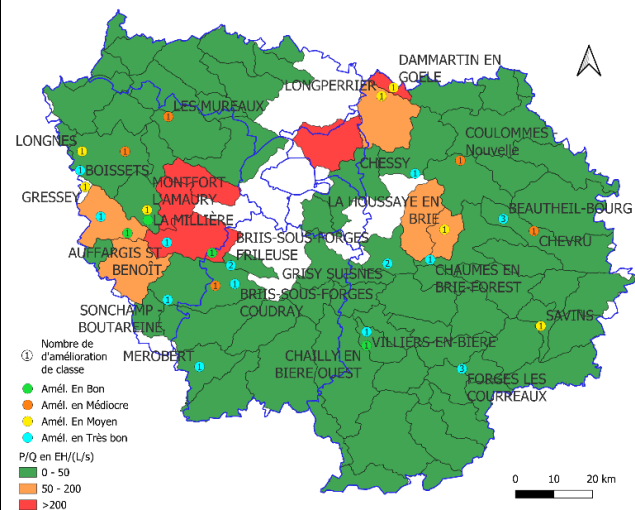
Phosphore



Scénario 1 Bon Etat



Scénario 2 DERU



Scénario 3 Révolution des WC

Figure 32. Amélioration de la qualité équivalente du rejet de STEP dans le milieu naturel pour les stations d'épuration d'Ile de France selon les 3 scénarios et comparé à la situation actuelle.

4.5. Résultats - bilan matière et bilan environnemental

4.5.1. Bilan matière

4.5.1.1. Flux d'azote utile aux champs

Le bilan matière permet de calculer le flux d'azote utile au champ, défini comme le flux restant après les pertes en amont des procédés et les pertes lors de l'épandage. La figure ci-dessous montre que les deux premiers scénarios sont très proches en termes de flux et de type de produits.

Le scénario « Massification » permet de produire 2,5 fois plus de flux d'azote utile en 2045, grâce à la mise en place des WC électroménagers.

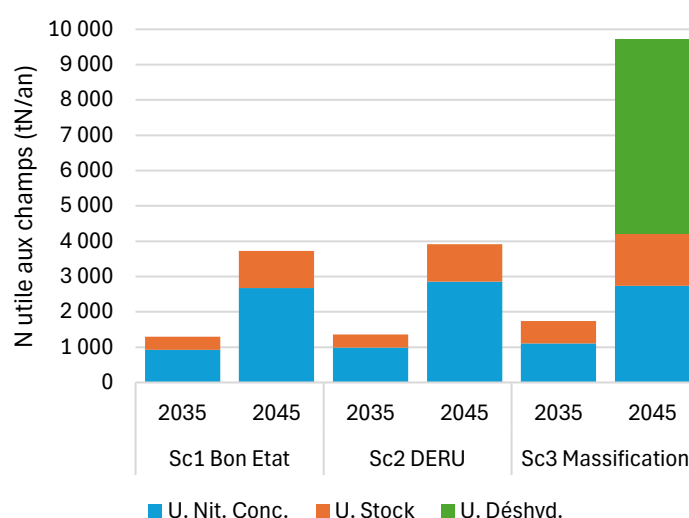


Figure 33. Flux d'azote utile aux champs selon les 3 scénarios et les 2 horizons temporels.

Ces quantités peuvent être mises en regard de l'utilisation d'engrais en agriculture, notamment dans la perspective du scénario de transition agroécologique à horizon 2050 utilisé pour l'évaluation des usages (voir [partie 2.5.5](#)). Pour rappel, ce scénario prospectif de rupture implique une baisse marquée de la consommation d'azote, a fortiori minéral. Il a pour vocation de tester la pertinence technique des scénarios dans un cas limite d'une demande significativement inférieure à la demande actuelle. Dans ce scénario et comme le montre la Figure 33, les urino-fertilisants issus des scénarios couvrent toujours une faible partie des usages en azote minéral en 2035, environ 4%. En revanche, **en 2045**, ils pourraient permettre de couvrir une partie plus significative, **entre 14% et 36% de l'azote minéral consommé en agriculture**, selon le scénario de déploiement considéré. Si la consommation actuelle restait constante à horizon 2045, la séparation à la source pourrait malgré tout permettre de couvrir **entre 6% et 15% de l'azote minéral consommé**.

Ces résultats montrent ainsi non seulement que la potentielle demande agricole n'est pas un frein au déploiement des filières, mais aussi que la séparation à la source pourrait être un pilier important de la souveraineté en engrais azotés si les consommations diminuent de manière marquée, conformément au scénario de transition vers une agriculture plus durable.

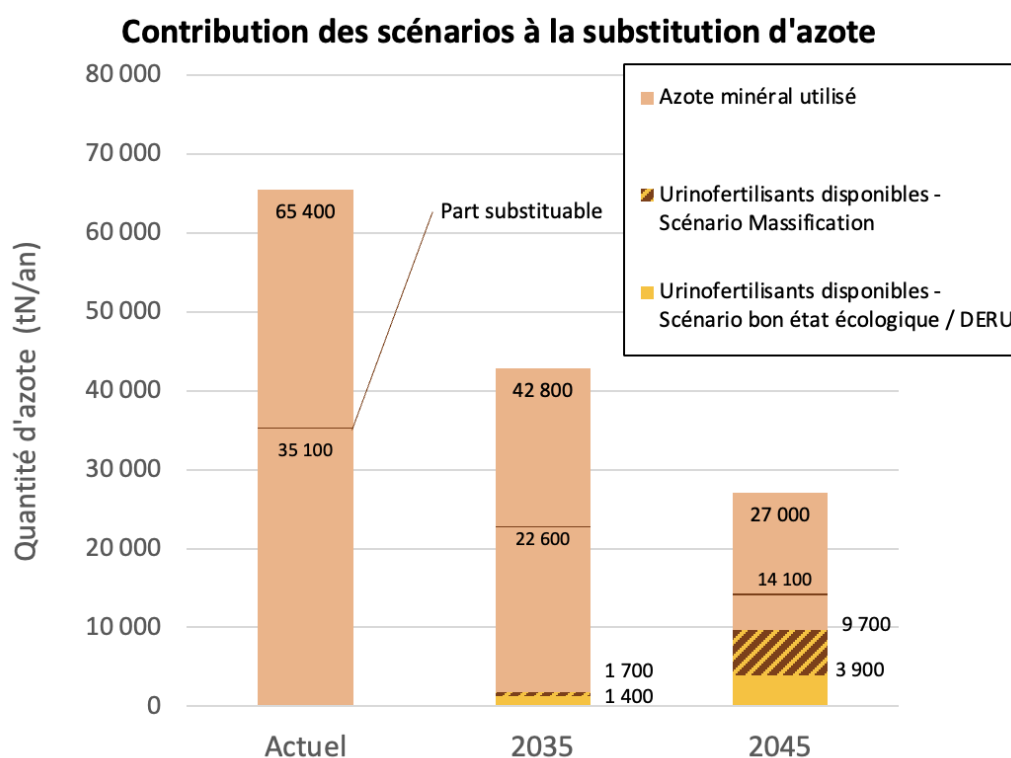


Figure 34. Potentiel de substitution des fertilisants minéraux par les urino-fertilisants dans les différents scénarios.

4.5.1.2. Pertes dans l'atmosphère

Le traitement par déshydratation dans les WC électroménagers émettrait un flux important d'ammoniac, surtout pendant la phase de traitement (10% du flux d'azote). Dans les scénarios 1 et 2, c'est l'urine stockée qui est responsable de la majorité des émissions d'ammoniac (environ 60%).

Les émissions de N_2O ne sont produites que pendant le traitement par nitrification des urines.

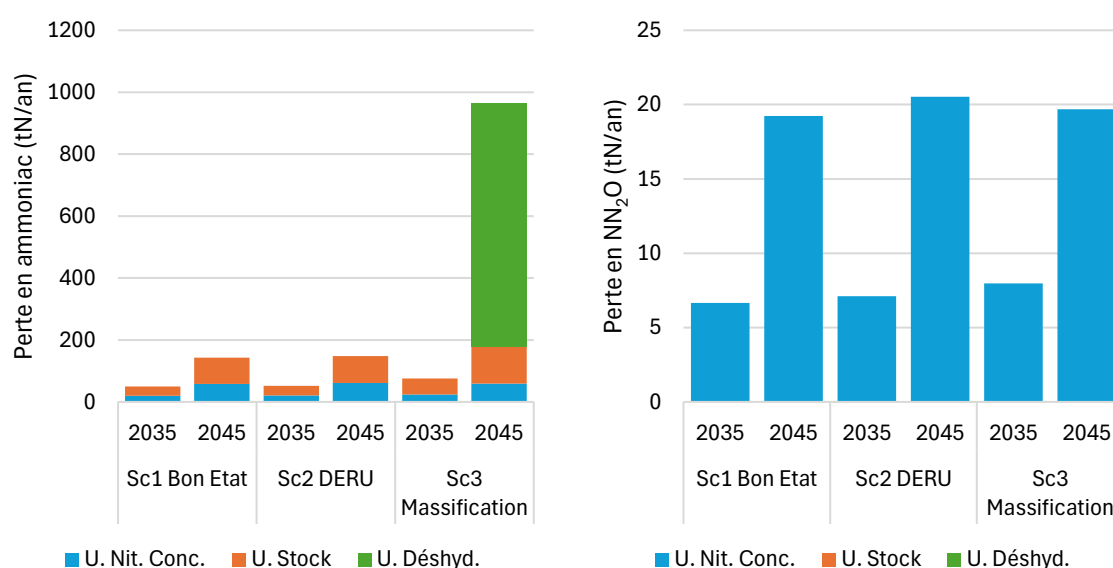


Figure 35. Pertes en ammoniac (gauche) et N_2O (droite) des différents scénarios pour les 2 horizons temporels.

4.5.1.3. Logistique

En termes de logistique, le scénario « Massification » augmente seulement de 35% les flux transportés par rapport aux scénarios 1 et 2, alors que les flux d'azote valorisé sont multipliés par plus de 2,5. Cela s'explique par la forte concentration des urines dans le WC électroménagers.

Le transport par voiture individuelle augmente toutefois significativement avec le scénario « Massification », comme les usagers doivent amener les urines déshydratées en points d'apport volontaire de type déchetterie. En réalité, il est possible que ce déplacement ait lieu indépendamment du transport des urines déshydratées. Dans une approche conservatrice, l'ensemble du trajet a néanmoins été pris en compte dans le calcul du bilan GES.

Tableau 15. Besoin de transport pour les urines brutes et la distribution des produits concentrés dans les trois scénarios.

	Scénario 1 Bon Etat	Scénario 2 DERU	Scénario 3 Massification	Unité
Flux transporté	299 559	311 219	422 875	t/an
Distance transportée par camion (urine brute)	13 227 013	13 852 306	16 662 122	tkm/an
Distance transportée par camion pour la distribution des produits concentrés	5 799 712	6 191 408	7 092 001	tkm/an
Distance transportée en utilitaire	352 243	347 371	77 729	tkm/an
Distance transportée en véhicule individuel	2 003 757	2 044 728	23 627 135	km/an

4.5.2. Bilan environnemental

Un bilan sur les émissions de gaz à effets de serre a été réalisé. On remarque ainsi que les 3 scénarios ont un bilan GES négatif, impliquant des émissions évitées supérieures aux émissions induites par le système. De plus, **les trois scénarios permettent d'éviter environ la même valeur d'équivalent CO₂ : de 23 000 à 25 000 tonnes par an en 2045.** Si les deux premiers scénarios valorisent environ la même quantité d'urine, ce n'est pas le cas du dernier qui en valorise plus du double.

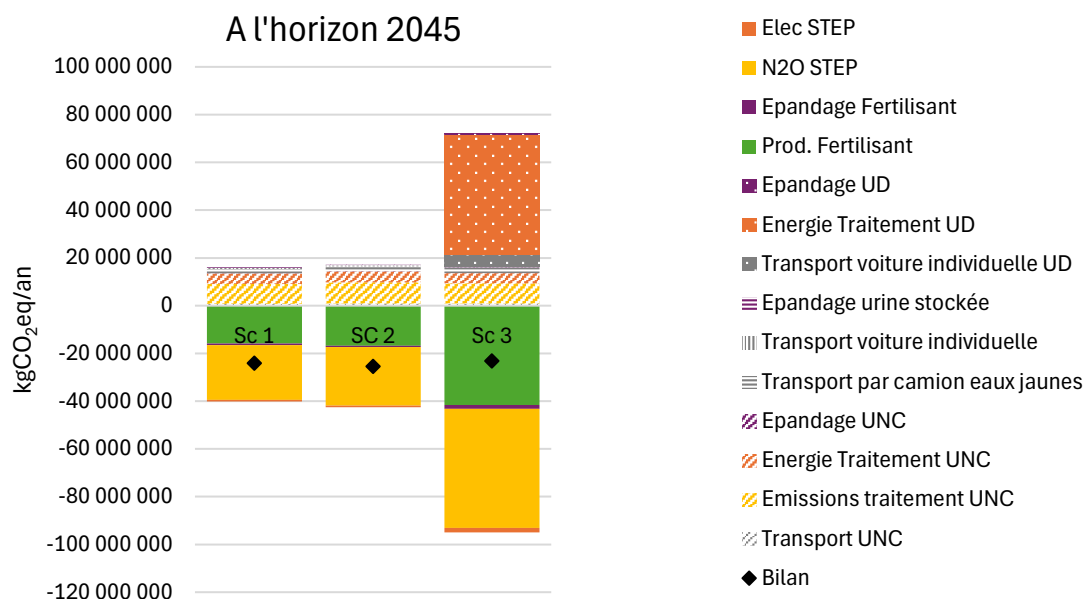


Figure 36. Bilan GES pour les trois scénarios à horizon 2045 (UD : urine déshydratée / UNC : urine nitrifiée concentrée).

La filière F5 « WC électroménager », telle qu'imaginée ici, présente un impact GES très important, notamment dû à la consommation énergétique des toilettes. En réalisant une analyse par filière, il apparaît en effet que la filière F5 émet plus qu'elle n'évite. Le scénario 3 profite ainsi des bénéfices des autres filières pour compenser le surcoût carbone de la F5. A noter toutefois que les hypothèses sur les toilettes électroménagers ne sont pas aussi robustes que pour les autres filières. En effet, ce type de toilettes n'existe encore que sous forme de prototype. Des améliorations en termes de consommation énergétique peuvent donc advenir.

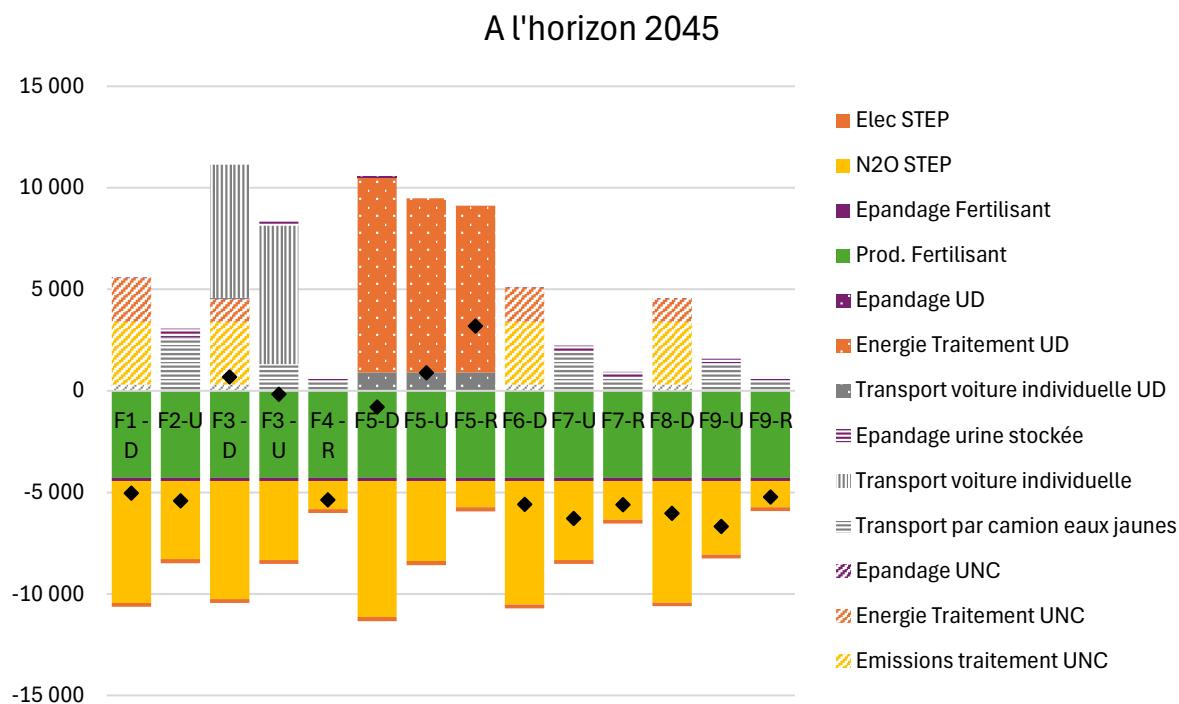


Figure 37. Bilan GES normalisé par le tN utile valorisé en agriculture pour le scénario 3 à l'horizon 2045.

Les deux autres types de traitements des urines (nitrification distillation et stockage des urines) permettent de compenser les émissions liées au transport, au traitement et à l'épandage grâce aux émissions évitées :

- Les émissions liées au traitement par stockage sont déjà compensées uniquement par la production évitée d'engrais conventionnel.
- Pour le traitement par nitrification et concentration, seule la somme des émissions évitées de la production d'engrais conventionnel et les émissions de N_2O évitées en station d'épuration permet de compenser les émissions générées lors du traitement des urines.

On remarque aussi que la typologie de territoire a également un impact, avec une amélioration plus forte du bilan de GES dans les zones denses que les zones rurales. Cela s'explique par les facteurs d'émission de N_2O des stations d'épuration. En zone dense, les eaux usées sont majoritairement traitées par les stations du SIAAP en biofiltre, avec des facteurs d'émissions plus élevés que les boues activées ailleurs sur le territoire.

4.6. Conclusions

Cette partie s'est attachée à évaluer l'impact de la séparation des urines en Ile de France selon 3 scénarios. Trois indicateurs ont été analysés :

- la qualité des cours d'eau au regard du bon état écologique,
- les rendements d'élimination des stations d'épuration,
- les émissions de gaz à effet de serre.

Les résultats montrent que les deux premiers scénarios (Bon Etat et DERU) sont très proches en termes de flux d'urine séparé. Pour ces deux scénarios, la majeure partie de l'azote a été séparée en zone dense et urbaine. Les flux d'urine séparable en zones rurales sont relativement faibles car dépendant surtout des logements où seule la filière toilettes sèches a été considérée. Les zones où les ERP sont nombreux réussissent mieux leur objectif de séparation.

Cependant, même si les objectifs de Bon Etat et de conformité avec la DERU ne sont pas atteints, les scénarios permettent une amélioration notable de la qualité des cours d'eau, notamment sur deux bassins versants identifiés comme à risque (l'Yvette Amont et la Beuvronne).

Les résultats sur les émissions de GES sont encourageants, avec des filières dont les émissions sont compensées par la production évitée de fertilisants de synthèse et les émissions évitées de N_2O dans les stations d'épuration. Cela est particulièrement le cas dans les zones denses et urbaines, où les eaux usées sont traitées par les stations d'épuration du SIAAP dont les facteurs d'émissions de N_2O sont élevés. Le bilan des zones rurales reste positif grâce à la filière de stockage des urines faiblement émettrice de GES.

La filière de toilettes électroménagers (F5) permet d'augmenter significativement les flux séparés. En effet, cette filière permettrait d'augmenter significativement les flux séparés dans les constructions existantes, où il est difficile de mettre en place un réseau interne de collecte des urines. Ces WC électroménagers présentent donc une piste très intéressante de massification. Cependant, le prototype tel qu'imaginé a une consommation énergétique élevée qui rend le bilan GES défavorable à cette solution. A l'horizon 2045, ces émissions nettes additionnelles seront toutefois absorbées par les gains générés dans les autres filières. Il en résulte un bilan net identique aux deux autres scénarios.

Rappel des résultats clés de la scénarisation :

- L'atteinte de l'objectif du « bon état » n'est pas réalisable en ne comptant que sur les hypothèses de déploiement faites. Néanmoins, les flux séparés peuvent être conséquents : le scénario « Vers le bon état sur N et P » permet de séparer un flux **3 883 tN/an à l'horizon 2045**.
- L'objectif fixé dans le scénario « Compatibilité DERU » ne peut pas être atteint en ne comptant que sur le déploiement des filières selon les taux fixés. Toutefois, les flux séparables peuvent être conséquents : ce scénario permettrait de séparer un flux de **4 086 tN/an en 2045**.
- Le scénario « Massification » pourrait permettre de séparer annuellement un flux de **10 720 tN/an en 2045**.

5. Quel modèle économique pour des filières soutenables ?



5.1. Modèles économiques de la séparation à la source : enseignements de 4 initiatives pilotes en Île-de-France

Afin d'envisager les contours d'un futur modèle économique pour la séparation à la source des urines, il convient d'esquisser les grandes masses de coûts que ce nouveau système implique, en regard des bénéfices escomptés.

Le précédent constitué par le déploiement du tri à la source et de la valorisation des biodéchets des ménages est particulièrement éclairant pour imaginer les conditions du déploiement de la séparation à la source des urines. Pour cette filière, l'étude fondatrice a été réalisée en 2017 par l'ADEME (*Etude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets*), et se basait sur les retours d'expérience d'un échantillon de 72 collectivités, parmi les 125 qui avaient alors déployé ce service.

A l'heure actuelle, le nombre encore très limité d'expériences de séparation à la source des urines, et leur caractère prototypal voire démonstratif, ne permet pas de réaliser une étude du même type. Les premiers retours d'expérience sont néanmoins précieux, et permettent de dessiner les principaux constats, risques et leviers d'action économiques pour la filière.

Sont présentés ci-après les premiers retours d'expérience franciliens, à savoir :

- Le siège de l'Agence spatiale européenne (ESA) à Paris,
- La Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) Saint-Vincent-de-Paul à Paris,
- Les ZAC portées par l'Etablissement Public d'Aménagement Paris Saclay,
- Un bâtiment du village des Athlètes Paris 2024, à Saint-Ouen-sur-Seine.

5.1.1. Siège de l'Agence spatiale européenne (ESA)

Cette étude de cas a été réalisée sur la base d'un entretien mené avec un représentant du siège de l'ESA à Paris.

5.1.1.1. Contexte

En juin 2017, il a été décidé de rénover et d'agrandir le siège de l'Agence spatiale européenne (ESA), situé dans le 15^e arrondissement de Paris. Utilisé depuis 1975, le bâtiment était devenu obsolète après plus de 40 ans d'existence et l'expansion de l'ESA liée à l'élargissement de l'Union européenne. La structure a été presque entièrement démolie pour être reconstruite intégralement.

Dès les premières étapes de conception, l'objectif était de créer un bâtiment exemplaire, à la pointe de la modernité et au service de la transition écologique. Aujourd'hui, il bénéficie de quatre certifications environnementales (dont HQE Excellent, et BREEAM Good). Par ailleurs, le projet visait à faire de ce siège une véritable vitrine des activités de l'ESA, en intégrant des transferts de technologies spatiales au sein de ses infrastructures.

L'intégration de technologies développées dans le cadre de l'initiative MELiSSA (*Micro-Ecological Life Support System Alternative*), portée par l'ESA, s'inscrit notamment dans cette démarche. Cette initiative se consacre au développement de systèmes circulaires et régénératifs, visant à produire de l'oxygène, de l'eau, de la nourriture et des matériaux à partir des déchets générés lors des missions spatiales, afin d'atteindre le plus haut degré d'autonomie dans l'espace. Parmi les innovations développées dans ce cadre figurent la récupération et le traitement des eaux jaunes (urines), identifiés comme un domaine clé de recherche pour soutenir l'exploration spatiale habitée.

Cette technologie a ainsi été appliquée au bâtiment du siège. Dès sa construction, des systèmes de séparation à la source et de traitement des urines sur site ont été intégrés. Ces dispositifs permettent de produire un concentré de nutriments utilisable comme fertilisant agricole, ainsi que de l'eau distillée potentiellement réutilisable (par exemple pour l'arrosage ou les chasses d'eau).

L'objectif de cette expérimentation est de démontrer que de telles solutions peuvent être viables d'un point de vue technologique et économique. Ce projet a pour but de permettre un développement de la technologie, mais n'a pas de visée lucrative.

5.1.1.2. Filière déployée



Chaîne de valeur	Solution retenue	Chiffres clés
Interface utilisateur	Toilettes séparatives à eau (SAVE! de la marque Laufen), urinoirs secs pour les hommes	57 toilettes séparatives et 21 urinoirs secs pour hommes 450 L d'urines collectées / jour
Collecte / transport	Réseau gravitaire	
Stockage (court)	Cuves de stockage dans le local de traitement	2 cuves de 1 m³ - Stockage possible pour 4 jours
Lieu de traitement	Local de traitement sur site en sous-sol du siège de l'ESA (Paris)	Une centrale de traitement avec 3 équipements : 1 réacteur pour la nitrification 1 cuve pour la filtration 1 cuve pour la distillation
Procédé de traitement	Procédé de nitrification-distillation (technologie de l'entreprise suisse VunaNexus AG)	
Produit fini	Urine nitrifiée concentrée <i>Aurin</i>	
Valorisation	Mise en bouteille et vente dans le musée de l'ESA, et vente en volume à des utilisateurs pour fertilisation agricole	

Cette filière correspond à la filière « **F6** » telle que labelisée dans cette étude.

5.1.1.3. Porteurs du projet

L'ESA, maître d'ouvrage du projet, a confié sa réalisation au promoteur immobilier Sogelym. Accompagné par l'agence d'architectes Atelier du Pont, le promoteur est chargé d'installer les infrastructures nécessaires, telles que la double plomberie et les cuvettes adaptées.

L'exploitation des systèmes sera assurée sur le long terme par l'entreprise VunaNexus, responsable de la gestion de la centrale de traitement, de la récupération du produit final et de sa commercialisation. Ce modèle repose ainsi sur un partenariat public-privé.

5.1.1.4. Modèle économique

À ce jour, aucun bilan financier complet n'a encore été communiqué, bien que des premières estimations soient en cours ou aient déjà été menées. Quelques éclairages peuvent toutefois être dégagés dès à présent :

- **Surcoûts à l'investissement** : les installations nécessaires pour la collecte des urines engendrent un surcoût relativement limité. Celui-ci se traduit par l'ajout d'un tuyau en PVC pour la double plomberie et par l'utilisation de cuvettes spécifiques, légèrement

plus coûteuses que des toilettes classiques. Au total, ces ajustements représentent un surcoût d'environ 1 000 euros par toilette.

- **Financement des investissements** : le projet est financé dans le cadre d'un programme de recherche interne à l'ESA. En tant qu'institution internationale, l'ESA ne bénéficie d'aucune subvention publique pour la mise en œuvre de ce dispositif.
- **Coûts d'exploitation** : il est prévu d'effectuer deux entretiens annuels des machines de traitement, et de remplacer le charbon actif pour la filtration tous les six mois. Afin de réduire les coûts d'exploitation, une optimisation énergétique est envisagée en faisant fonctionner le distillateur, particulièrement énergivore, durant les heures creuses, lorsque les tarifs d'électricité sont les plus faibles.
- **Recettes** : sur le plan des revenus potentiels, les premières analyses suggèrent qu'un équilibre économique pourrait être atteint en vendant le produit fini au prix du marché.

5.1.1.5. Réussites et pièges à éviter

Le responsable de l'ESA interrogé tire déjà plusieurs enseignements de cette expérimentation, qui pourraient guider la réussite de futurs projets similaires.

D'un point de vue technique, l'installation de tels dispositifs ne présente pas de défis majeurs : il s'agit essentiellement d'une adaptation de la plomberie, à prévoir dès la conception des plans, sans nécessiter de compétences spécialisées complexes. Cependant, ces demandes inhabituelles peuvent parfois déstabiliser les maîtres d'œuvre. Ceux-ci pourraient être tentés de simplifier le projet en s'orientant vers des méthodes de construction traditionnelles, plus rapides et conformes à leurs habitudes. Pour garantir la mise en œuvre de ces innovations, il est essentiel que le commanditaire joue un rôle actif et ferme, en restant impliqué auprès des constructeurs afin d'assurer le respect scrupuleux du cahier des charges.

Concernant les meilleures stratégies pour un passage à l'échelle, le représentant de l'ESA exprime **des réserves quant à la collecte d'urine diluée par camion**, en raison des volumes considérables à transporter, composés majoritairement d'eau. Selon lui, ce mode de transport ne serait pertinent que dans des cas spécifiques – lorsque le site de traitement est proche et/ou pour des volumes importants à gérer de manière ponctuelle, comme lors de grands événements accueillant un public éphémère. Il privilégie plutôt un traitement sur place, qu'il juge plus efficace et pertinent dans une perspective à long terme.

L'interlocuteur souligne aussi des **contraintes liées à la réutilisation de l'eau distillée obtenue lors du processus de transformation des urines**. La réglementation actuelle interdit la réutilisation de cette eau distillée. Celle-ci doit être évacuée vers les réseaux d'eaux usées traditionnels. Cependant, un décret en cours de rédaction concernant la réutilisation des eaux grises pourrait prochainement changer la donne, ouvrant la voie à de nouvelles opportunités d'usage.

Enfin, le représentant de l'ESA observe un **fort intérêt de nombreux acteurs pour cette expérimentation**, comme en témoignent les nombreuses demandes de visites et de présentations. Cette curiosité laisse entrevoir une potentielle demande accrue pour le déploiement de dispositifs similaires, tant en France qu'à l'international.

5.1.2. Saint-Vincent-de-Paul

Cette étude de cas a été réalisée sur la base d'une analyse bibliographique, et s'appuie en grande partie sur les conclusions du rapport d'étude ANR DESIGN – OCAPI/LEESU DESIGN

sur « Le projet de gestion séparative des urines à Saint-Vincent-de-Paul (Paris 14e) et la dynamique francilienne autour de la séparation à la source ». En complément, deux entretiens ont également été conduits avec des représentants de la Ville de Paris.

5.1.2.1. Contexte

La Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) Saint-Vincent-de-Paul, créée en 2016 dans le 14^e arrondissement de Paris, vise à transformer un site de 3,4 hectares en un quartier exemplaire des politiques urbaines favorisant la transition écologique. Cette opération d'aménagement vise l'excellence environnementale, avec une triple ambition « zéro carbone, zéro déchet, zéro rejet ». La ZAC comprend 10 lots totalisant 59 000 m² de surfaces construites, dont 40 200 m² dédiés au résidentiel (600 logements pour 1 200 habitants). Le reste des espaces sera consacré à des équipements publics et culturels, des équipements privés, et des commerces.

L'intégration de la séparation à la source des urines dans le projet a été proposée en 2018 et validée fin 2020. Les travaux de construction ont débuté en 2021, avec une réception des premiers bâtiments prévue pour mi-2026 et un démarrage du traitement des urines envisagé à partir de 2027. Ce projet a pour ambition de servir de démonstrateur afin d'encourager la généralisation de la séparation à la source des urines dans des contextes urbains denses. Si le projet est un succès, il pourrait en effet inspirer d'autres initiatives, publiques ou privées. Toutefois, des retours d'expérience complets ne seront probablement disponibles qu'à l'horizon 2029-2030, après quelques années d'expérimentation en conditions réelles.

5.1.2.2. Filière déployée

À l'issue des études de faisabilité, le scénario retenu prévoit la collecte des urines à l'échelle de l'ensemble de la ZAC, incluant tous les bâtiments, qu'ils soient publics ou privés, selon le modèle opérationnel suivant :

Chaîne de valeur	Solution retenue	Chiffres clés
Interface utilisateur	Toilettes séparatives à eau pour les logements (sans modèle imposé, le choix du modèle et de la marque restant à la discrétion du propriétaire du bâtiment) ; urinoirs secs pour les équipements publics	1 050 toilettes séparatives et 30 urinoirs 1,9 m³ d'urine par jour (soit 1 900 litres par jour)
Collecte / transport	Réseau gravitaire	640 mètres de réseau gravitaire
Stockage (court) et transport	Cuve de stockage située au niveau du point bas, puis renvoi vers la cuve de stockage dans la centrale de traitement via un réseau de refoulement sous pression	1 cuve de 10 m³ et 1 pompe de relevage 60 mètres de réseau sous pression
Lieu de traitement	Local situé dans un bâtiment du quartier, détenu par Paris Habitat (bailleur social de la Ville de Paris)	Une centrale de traitement avec 1 cuve de 6 m ³ et 1 pompe
Procédé de traitement	Procédé de nitrification-distillation (appel d'offre à venir pour retenir une solution existante sur le marché)	14 litres d'urine permettraient de produire 1 litre d'engrais liquide
Produit fini	Urine nitrifiée concentrée (engrais azoté liquide)	47 000 litres par an
Valorisation	Espaces verts de la Ville (dans un premier temps, en attente d'une AMM éventuelle)	Consommation des sites de la Direction des espaces verts et de l'environnement de l'ordre de 150 000 à plus de 200 000 litres/an

Cette filière correspond à la filière « **F1** » telle que labellisée dans cette étude.

5.1.2.3. Porteurs du projet

La réalisation de ce projet, de sa conception à sa mise en œuvre, repose sur l'implication de plusieurs acteurs clés à chaque étape.

Peuvent être identifiés comme **porteurs de la conception et la construction du projet** :

- **La Ville de Paris** (portage politique par des élus, rôle de pilote et d'ensemblier de la mission Résilience lors de la conception) ;
- **L'aménageur public** Paris & Métropole Aménagement (P&MA) ;
- **Le groupement d'AMO** chargé d'assister P&MA dans la définition d'une stratégie de gestion séparative des urines.

Le responsable de l'exploitation est la Ville de Paris, ayant décidé d'exploiter en régie l'ensemble du dispositif, de la collecte à la valorisation. Plusieurs directions seront responsables à différents niveaux :

- La **Direction de la Propreté et de l'Eau** (DPE), et en son sein le Service technique de l'eau et de l'assainissement (STEA) sera l'exploitant du réseau de collecte, et pourrait également gérer l'usine de traitement des urines.
- La **Direction des Espaces Verts et de l'Environnement** (DEVE) achètera l'urino-fertilisant auprès de la DPE au même tarif que celui des engrais liquides actuellement utilisés et l'emploiera comme fertilisant pour les espaces verts de la Ville de Paris.
- La possibilité de recourir à des acteurs privés pour certaines missions, notamment pour l'exploitation de l'usine de traitement des urines, n'est pas exclue. Le cas échéant, des **marchés publics pourraient être passés**.

5.1.2.4. Modèle économique

Les **coûts d'investissement** globaux sont estimés à environ **1 million d'euros**, et répartis approximativement selon le graphique ci-dessous.

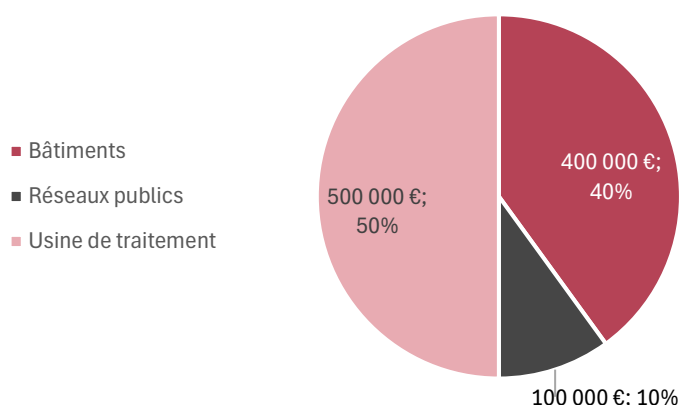


Figure 38. Coûts d'investissement estimés pour le projet Saint-Vincent-de-Paul.

Les investissements seront portés par divers acteurs. Les équipements à l'intérieur des bâtiments (toilettes séparatives et réseaux) sont à la charge des opérateurs privés ou publics (promoteurs et bailleurs) propriétaires des bâtiments. Le réseau public de transport des urines sera de son côté financé par la Ville de Paris, de même que l'usine de traitement.

L'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) prévoit d'allouer des subventions dans le cadre de son 11^e programme « Eau & Climat » (2019-2024) pour soutenir les coûts d'investissement liés à ce projet. Ainsi, les investissements seront subventionnés à hauteur de 80% pour les réseaux publics, 80% pour les équipements à l'intérieur de bâtiments publics, et 40% pour les équipements à l'intérieur de bâtiments privés. Si l'usine de traitement des urines est exploitée en régie par la Ville de Paris, elle pourrait également bénéficier de subventions de l'AESN. Même en cas d'absence de subventions pour l'usine, **environ 60% des investissements nécessaires seront ainsi couverts grâce aux aides de l'AESN.**

Les **coûts d'exploitation** annuels sont estimés à **90 000 euros par an**, répartis entre différents postes, tels que présentés dans le graphique ci-dessous.

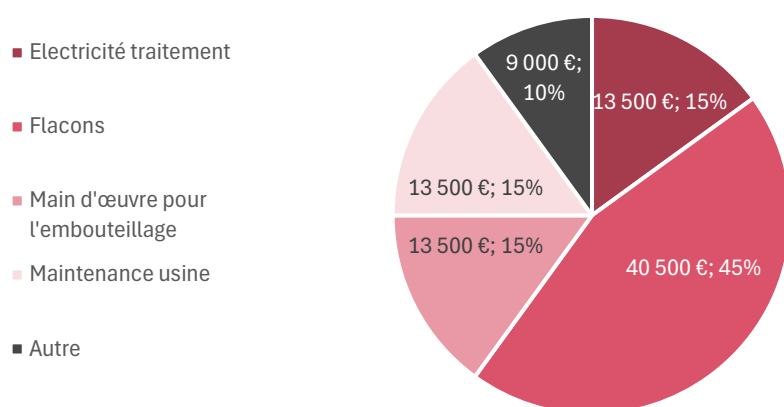


Figure 39. Coûts d'exploitation annuels estimés pour le projet Saint-Vincent-de-Paul.

Une large majorité des coûts d'exploitation (90%) est liée au fonctionnement de l'usine de traitement des urines. Les 10% restants (« Autre » sur le graphique) englobent les coûts associés à la collecte des urines au niveau des bâtiments (achat d'acide citrique pour l'entretien des canalisations, renouvellement des pompes, consommation électrique des pompes), ainsi que les coûts de transport des urines jusqu'à l'usine de traitement (entretien du réseau).

A noter que le poste de coût le plus élevé est lié à l'achat des flacons pour l'embouteillage de l'engrais. L'estimation repose sur l'hypothèse de l'utilisation de flacons de 500 mL destinés à un usage par des particuliers. Une réduction significative de ces coûts pourrait être envisagée en optant pour des contenants de plus grande capacité, tels que des bidons de 20 L destinés aux professionnels, qui permettraient de réaliser des économies d'échelle sur le coût unitaire des contenants, mais aussi sur les besoins en main-d'œuvre pour l'embouteillage.

Les premières estimations indiquent que les coûts d'exploitation pourraient être couverts par les recettes potentielles issues de la valorisation des urino-fertilisants. Actuellement, la DEVE achète de l'engrais liquide conditionné en bidons de 20 litres au prix de 40 € par bidon, soit 2 € par litre. Si la production annuelle estimée de 47 000 litres d'urino-fertilisants est vendue au même prix, cela générerait un chiffre d'affaires de 94 000 €, dépassant ainsi les coûts d'exploitation estimés (90 000 €).

NB : le projet n'étant pas encore construit et mis en œuvre, ces estimations théoriques sont à considérer avec prudence, et pourraient ne pas refléter la réalité opérationnelle.

5.1.2.5. Réussites et pièges à éviter

Dans la perspective de favoriser la réussite de futurs projets de séparation à la source des urines dans des bâtiments, plusieurs enseignements peuvent déjà être tirés de l'expérience de Saint-Vincent-de-Paul.

Une des clés essentielles pour réussir un projet de séparation à la source des urines réside dans la démarche de co-construction pour garantir un alignement entre toutes les parties prenantes. Dès les premières phases, il est crucial d'impliquer les habitants et futurs utilisateurs, lorsque toutes les options sont encore ouvertes. Cette inclusion précoce favorise leur adhésion au projet. La co-construction est également indispensable pour harmoniser les positions de la diversité d'acteurs publics et privés qui jouent chacun un rôle clé dans le projet. Face à des appréhensions initiales et une méfiance naturelle envers un projet innovant qui remet en question les modèles traditionnels d'assainissement, un dialogue constructif entre les parties prenantes devient un levier central pour surmonter ces réticences. Enfin, lors des phases de construction et d'exploitation, l'accompagnement des différents acteurs reste un facteur clé de succès. Qu'il s'agisse des entreprises de travaux, des usagers des toilettes (habitants, salariés, visiteurs) ou des agents d'entretien, tous doivent être guidés et formés pour adopter les nouvelles pratiques nécessaires au bon fonctionnement du dispositif.

Certaines pistes peuvent également être retenues pour dé-risquer le projet et rassurer les parties prenantes. D'un point de vue technique, il est utile de concevoir le dispositif avec des solutions de secours en cas de dysfonctionnement (principe de redondance) ou de prévoir la possibilité de revenir à un système classique en réinstallant des toilettes conventionnelles reliées au réseau d'assainissement traditionnel (principe de réversibilité). D'un point de vue organisationnel, la conception du projet de gestion séparative des urines à SVDP a été facilitée par le fait de disposer d'un gestionnaire unifié du dispositif à venir (la Ville de Paris), identifié dès la phase de conception. Cette organisation simplifie la prise de décisions pendant le développement, facilite la transmission des modalités de fonctionnement du concepteur à l'exploitant, et garantit la bonne exploitation des dispositifs.

L'expérience de Saint-Vincent-de-Paul souligne par ailleurs une plus grande difficulté pour les acteurs privés à porter ce type de projet, par rapport aux acteurs publics. Ces difficultés s'expliquent notamment par des investissements initiaux perçus comme élevés et moins subventionnés par l'AESN dans le cadre d'un portage privé. Les risques sont également exacerbés par l'absence d'un modèle économique mature pour la valorisation des urines (volumes limités, débouchés incertains, absence d'autorisation de mise sur le marché des urino-fertilisants). En outre, les acteurs privés de l'immobilier n'ont pas vocation à exploiter eux-mêmes les systèmes de transport, traitement et valorisation des urines. La difficulté à identifier des prestataires disposés à assurer ces services constitue un frein supplémentaire. Ainsi, le rapport ANR DESIGN identifie en priorité **les opérations publiques d'aménagement portées par des collectivités affichant de fortes ambitions écologiques comme un terreau favorable au déploiement de telles initiatives.** Ceci s'explique aussi par la nécessité d'un portage politique affirmé, qui, comme l'a démontré le cas de Saint-Vincent-de-Paul, est un facteur clé pour garantir l'aboutissement de tels projets innovants.

5.1.3. Plateau de Saclay

Cette étude de cas a été réalisée sur la base de deux entretiens conduits avec un représentant de l'EPAPS, complétés par une analyse bibliographique. L'analyse financière s'appuie en particulier sur une étude de faisabilité menée par l'EPA Paris-Saclay, en réponse à une

sollicitation des agriculteurs et de l'association Terre et Cité sur le territoire. Cette étude examine différents scénarios de déploiement.

5.1.3.1. Contexte

Lancée en 2009, l'Opération d'Intérêt National (OIN) Paris-Saclay vise à positionner la région parisienne et la France comme un pôle scientifique et technologique de premier plan à l'échelle mondiale. En 2010, la loi sur le Grand Paris crée l'Etablissement Public d'Aménagement Paris Saclay, chargé de mettre en œuvre ce cluster.

Ce projet intègre un volet dédié à la création de quartiers attractifs et agréables à vivre, mêlant des usages économiques, résidentiels et académiques. Ces futurs quartiers ont vocation à devenir des modèles de la transition écologique, avec pour objectif de concevoir une « ville post-carbone et résiliente ». Les initiatives de transformation écologique prévues dans ce cadre représentent des investissements estimés à 13,5 millions d'euros, soutenus à hauteur de 5,4 millions d'euros par la Banque des Territoires via le programme « Démonstrateurs de la ville durable » de France 2030, dont l'EPA Paris-Saclay est lauréat. Parmi les opérations prévues figure la valorisation agricole des urines humaines. Avec la construction de nombreux bâtiments neufs à proximité de zones agricoles, l'OIN offre en effet un cadre propice à l'expérimentation de la séparation à la source des urines.

A ce jour, l'OIN Paris-Saclay comporte quatre Zones d'aménagement concerté (ZAC) : le **quartier de Moulon**, le **quartier de l'École polytechnique**, le **quartier de Satory Ouest**, et le **quartier de Corbeville**. Une cinquième fait actuellement l'objet d'une concertation préalable (quartier Guyancourt). La séparation à la source des urines sera installée dans les quartiers qui restent à construire et où les réseaux ne sont pas encore mis en place, à commencer par l'ensemble du quartier de Corbeville à Orsay, et une partie du quartier de Moulon. Une réflexion est également en cours concernant le quartier de Guyancourt, qui pourrait à long terme également intégrer de tels dispositifs, en fonction des enseignements tirés des premières expérimentations menées à Corbeville et Moulon. Un premier bâtiment dont l'EPAPS a la maîtrise d'ouvrage et intégrant la séparation des urines a été livré sur la ZAC de Corbeville en 2023 (bâtiment C1.5B), permettant de lancer les premiers tests agricoles et agronomiques. L'objectif est de livrer la majorité des bâtiments à horizon 2035.

Ainsi, l'EPA prévoit d'organiser la collecte séparée des urines de plus de 20 000 habitants et usagers pour les transformer en engrais agricole. Il s'agit de la plus grande expérimentation à l'échelle d'un quartier entier en France. Ce projet pilote est perçu par beaucoup comme un démonstrateur destiné à évaluer la faisabilité et l'efficacité du système, en vue d'une éventuelle généralisation et d'un changement d'échelle de la filière.

5.1.3.2. Filière déployée

L'étude de faisabilité menée par l'EPA Paris-Saclay examine trois scénarios de déploiement. Les deux premiers scénarios prévoient une collecte des urines par réseau gravitaire jusqu'au site de traitement, tandis que le troisième envisage une collecte et un transport des urines par camion jusqu'au site de traitement.

Le scénario a priori retenu par l'EPAPS est le premier, selon lequel le transport des urines s'effectuera par réseau gravitaire à l'échelle des bâtiments pour lesquels les travaux de voirie et réseaux divers (VRD) n'ont pas encore été réalisés dans les quartiers concernés. Selon ce scénario, la filière fonctionnera selon le modèle opérationnel suivant :



Chaîne de valeur	Solution retenue	Chiffres clés
Interface utilisateur	- Dans le tertiaire, maximiser les urinoirs y compris féminins - Dans les logements, toilettes séparatives à eau	103 lots raccordés au réseau 414 298 m² de lots connectés - Volume d'urines diluées collecté dans les réseaux : 19 m³/jour
Collecte / transport	Réseau gravitaire et réseau sous pression	2,1 km de réseaux gravitaires et 2,6 km de réseaux sous pression 3 postes de refoulement des urines
Lieu de traitement	Une unité de traitement situé dans l'ouest du quartier de Corbeville à Orsay	Une usine de traitement de 670 m ²
Procédé de traitement	Procédé de nitrification-distillation (solution VUNA pressentie)	Volume d'urines diluées à traiter : 19 m ³ par jour
Produit fini	Urine nitrifiée concentrée <i>Aurin</i> (engrais azoté liquide)	Volume d'engrais produit : 1,4 m ³ par jour, soit 25 tonnes d'azote par an (Concentration d'azote par litre d'engrais VUNA : 50g/l)
Valorisation	Agriculteurs de proximité	Superficie annuelle fertilisable pour la culture de blé : 140 hectares

Cette filière correspond à la filière « **F1** » telle que labellisée dans cette étude.

Pour certains bâtiments tertiaires (laboratoires et bureaux) non raccordés par urinoducs, il était envisagé de compléter la collecte d'urine par un transport via camions vers l'usine de traitement. Cette solution pourrait permettre de traiter un volume additionnel d'environ 6 m³ par jour. Si mise en œuvre, les bâtiments concernés devraient être équipés de cuves en pied d'immeuble. Cependant, cette option engendrerait des coûts d'exploitation supplémentaires et nécessiterait une coordination étroite avec chaque propriétaire de bâtiment, c'est pourquoi elle semble avoir été écartée à ce stade.

Concernant le traitement des urines, bien que le procédé VUNA soit actuellement considéré comme le plus mature et adapté à une industrialisation rapide, d'autres options restent à l'étude (notamment, le procédé TMCS développé par le Toulouse Biotechnology Institute). Étant donné que la construction de l'unité de traitement est prévue à l'horizon 2027-2028, il reste du temps pour évaluer les différentes technologies et choisir la solution la plus performante et adaptée aux besoins du projet.

5.1.3.3. *Porteurs du projet*

L'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay est propriétaire du foncier et ensemblier de l'aménagement du territoire de l'OIN. A ce titre, il vend des parcelles aux opérateurs publics et privés. Ces transactions s'accompagnent de cahiers des charges complets et détaillés, intégrant des prescriptions environnementales spécifiques. Parmi celles-ci figurent les exigences nécessaires à la mise en place de dispositifs de séparation des urines, comme l'installation de toilettes séparatives et, si besoin, de cuves de stockage.

L'EPAPS envisage d'assurer l'exploitation initiale du dispositif, couvrant les étapes de collecte, transformation et distribution, probablement via un système de prestation ou de délégation de service. Cette phase transitoire permettrait d'optimiser le fonctionnement avant de transférer la gestion aux collectivités locales ou à d'autres gestionnaires publics ou privés.

Le choix du futur gestionnaire reste ouvert. Une étude juridique en cours vise à définir le statut du dispositif, notamment s'il relèvera d'un service public ou pourra être confié partiellement ou entièrement à un acteur privé. En ce qui concerne le traitement des urines, par exemple, il s'agit de déterminer si ce volet sera géré directement sur l'espace public, ou si le traitement

sera prescrit dans le cadre des lots vendus aux opérateurs. L'agglomération Paris-Saclay, disposant de la compétence assainissement, pourrait être pressentie pour assurer la mission de traitement, mais des réserves sont encore émises quant à sa capacité à gérer seule ce projet d'envergure. Plusieurs scénarios sont donc examinés pour permettre une prise de décision collective éclairée.

5.1.3.4. *Modèle économique*

Le modèle économique n'est pas finalisé à ce jour, les filières mises en œuvre n'étant pas encore arrêtées. Toutefois, des estimations financières ont déjà été réalisées, s'appuyant sur un scénario de collecte des urines par réseaux et d'un traitement par nitrification distillation (procédé VUNA).

Dans le scénario retenu, les **coûts d'investissement** globaux sont estimés à environ **7,34 millions d'euros**, et répartis approximativement selon le graphique ci-dessous.

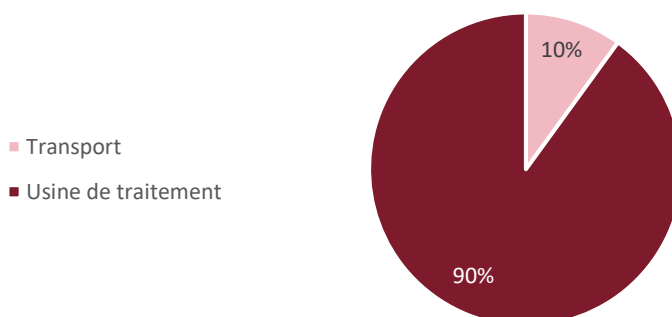


Figure 40. Coûts d'investissement estimés pour le projet Paris-Saclay.

Les surcoûts liés à l'installation des toilettes à séparation ne sont pas inclus dans les coûts d'investissement présentés ici. En effet, ces équipements seront imposés dans les cahiers des charges des programmes immobiliers, et leur prise en charge incombera donc aux opérateurs immobiliers de chaque bâtiment plutôt qu'à l'EPAPS. À l'échelle d'une opération immobilière, ces surcoûts restent marginaux, d'autant plus qu'ils peuvent bénéficier de subventions de l'AESN, couvrant jusqu'à 80% des dépenses pour les maîtres d'ouvrage publics.

Les investissements assumés par l'EPAPS pour les réseaux et la station de traitement, illustrés dans le graphique ci-dessus, seront financés à 40% par la Banque des Territoires dans le cadre du programme "Démonstrateurs de la ville durable" de France 2030. Par ailleurs, un dossier sera prochainement soumis à l'AESN pour solliciter des aides couvrant également 40% des coûts d'investissement, permettant ainsi de bénéficier du maximum de 80% de subventions autorisées pour de tels dispositifs.

Les **coûts d'exploitation** annuels sont estimés à **208 000 euros par an**, répartis entre différents postes, tels que présentés dans le graphique ci-dessous.

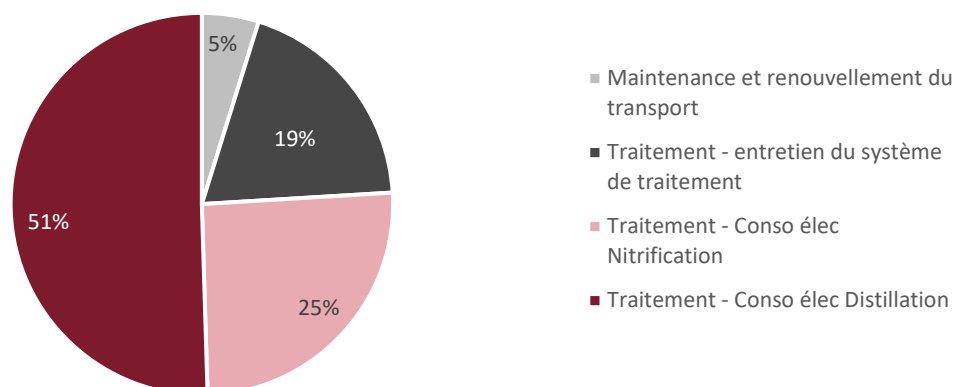


Figure 41. Coûts d'exploitation annuels estimés pour le projet Paris-Saclay.

Une large majorité des coûts d'exploitation (95%) est liée au fonctionnement de l'usine de traitement des urines. Les 5% restants englobent les coûts associés aux réseaux (lissés sur une période de 50 ans).

Quant aux recettes, elles sont estimées à **31 000 euros par an**, pour une production annuelle de 25 tonnes d'azote par an (partant d'une hypothèse de vente de l'engrais à 1,25 euros le kg d'azote aux agriculteurs). Ce chiffre d'affaires ne couvrirait qu'environ 15% des coûts d'exploitation. Cependant, cette estimation repose sur un scénario pessimiste, avec des prix d'engrais alignés sur les tarifs agricoles actuels. Les revenus pourraient augmenter si les prix des engrais venaient à s'élever ou si de nouveaux débouchés étaient identifiés. Par exemple, un golf situé à proximité des quartiers concernés pourrait constituer un client potentiel, disposé à payer un prix supérieur par rapport aux agriculteurs.

Pour équilibrer le modèle économique, plusieurs pistes de financement complémentaires sont suggérées par le représentant de l'EPAPS interrogé :

- **Valorisation de l'eau distillée dans le processus** : son utilisation pourrait s'étendre à des secteurs comme la chimie fine, la pharmacie, ou encore la réutilisation dans les chasses d'eau.
- **Aides financières ciblées** :
 - **Par le SIAAP**, en raison de la réduction des flux de nutriments des eaux usées acheminés vers les stations d'épuration, ce qui permettrait d'éviter certains investissements liés à leur mise aux normes. Une subvention pourrait être envisagée pour chaque tonne d'azote évitée.
 - **Par l'État**, via des fonds dédiés à la réduction des émissions carbone. Les subventions actuelles à la production d'engrais bas carbone pourraient être adaptées aux urinofertilisants, qui permettent dans le même temps de répondre aux besoins de stabilisation des prix dans le secteur agricole.
- **Label Bas Carbone** : ces dispositifs permettent d'éviter les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre, notamment en limitant l'usage d'intrants chimiques. Une méthode existante, Sobac'Eco-TMM, pourrait servir à quantifier ces réductions et à générer des crédits carbone, dont la vente contribuerait au financement de l'exploitation du projet.

5.1.3.5. Réussites et pièges à éviter

L'expérience de l'EPAPS met en lumière plusieurs pistes qui ont favorisé l'émergence et la concrétisation de son projet de séparation à la source des urines dans les bâtiments des quartiers en construction dans le cadre de l'OIN. Ces bonnes pratiques peuvent inspirer des projets similaires.

Pour rassurer les collectivités et promoteurs immobiliers, il est judicieux d'intégrer une période de rodage accompagnée d'une montée en compétence progressive sur la séparation à la source. Par exemple, le déploiement peut se faire de manière échelonnée, bâtiment par bâtiment, afin de tester et affiner le dispositif par un processus d'innovation itératif. De plus, une première période sous exploitation directe de l'aménageur Paris-Saclay constitue un gage de sécurité pour les collectivités. L'EPAPS peut ainsi démontrer la faisabilité et la robustesse du système avant de transmettre la gestion à un opérateur tiers. Par ailleurs, les solutions techniques intégrant des alternatives, comme la possibilité de se raccorder au réseau d'assainissement classique en cas de difficulté, renforcent aussi la confiance des promoteurs. Ces derniers, rassurés par la maîtrise des risques, se montrent alors plus disposés à adopter le dispositif, surtout lorsque le léger surcoût peut être couvert par des subventions, telles que celles de l'AESN.

Une autre clé essentielle pour la réussite de ce type de projet réside dans la co-construction de la filière avec les acteurs du territoire. Concevoir la filière en collaboration avec les usagers permet d'intégrer les obstacles et opportunités identifiés, augmentant ainsi les chances de succès. Cette démarche participative doit s'étendre tout au long du projet, y compris pendant la phase d'exploitation, pour maintenir l'adhésion des parties prenantes. L'EPAPS prévoit ainsi d'accompagner l'adoption de ces nouveaux usages en engageant des actions de sensibilisation et des dispositifs de communication de proximité. Cet accompagnement sera soutenu par une assistance à maîtrise d'usage cofinancée à 40% par France 2030.

Concernant les filières à déployer, **l'EPAPS recommande un traitement systématique des urines plutôt qu'un épandage direct.** Cela répond à plusieurs enjeux. Tout d'abord, les volumes importants à manipuler (9 400 m³ par an, dont une majorité composée d'eau) impliquent des contraintes de stockage associées. En outre, les agriculteurs sont peu enclins à payer pour de l'urine brute. Ils préfèrent des produits concentrés, plus compatibles avec leurs pratiques actuelles. Par ailleurs, la distillation permet d'assurer une hygiénisation du produit, laquelle est cruciale pour rassurer les collectivités et les autorités sanitaires sur la sécurité sanitaire de cette innovation.

À ce jour, l'EPAPS identifie toutefois un risque lié à la **taille limitée du marché des dispositifs de séparation à la source**, notamment pour les WC à séparation ou le traitement par nitrification-distillation, qui restent des marchés de niche. Le risque réside dans la possibilité qu'un acteur public devienne dépendant d'un acteur privé si ce dernier est le seul fournisseur de solutions pour les dispositifs déployés. Cependant, l'EPAPS est convaincu que ce risque sera maîtrisé dès lors que la filière sera sécurisée et que des concurrents se positionneront sur ce marché.

L'EPAPS identifie enfin un risque majeur lié à la soutenabilité des coûts d'exploitation, qui dépasseraient largement les recettes potentielles. Une telle situation, sans équilibre financier, pourrait dissuader les collectivités, sauf si celles-ci acceptent de considérer le dispositif comme un service public déficitaire. Pour améliorer la viabilité économique du projet,

l'opérateur propose plusieurs pistes, nécessitant l'implication de diverses parties prenantes – notamment l'Etat et le SIAAP (cf. section précédente sur le modèle économique).

5.1.4. Village des athlètes (Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024)

Cette étude de cas a été réalisée sur la base d'un entretien mené avec un représentant du bureau d'étude environnemental Oasiis, complété par une analyse bibliographique.

5.1.4.1. Contexte

À l'occasion des Jeux Olympiques et Paralympiques (JOP) de Paris 2024, de nouveaux quartiers ont été aménagés pour constituer le Village des athlètes, réparti sur trois communes (Saint-Denis, Saint-Ouen-sur-Seine, et L'Île-Saint-Denis). Ces constructions visant l'exemplarité environnementale ont permis de mener plusieurs expérimentations. Notamment, l'immeuble « Cycle », situé dans le secteur des Quinconces à Saint-Ouen-sur-Seine, est un bâtiment pilote en matière de circularité pour l'ensemble des eaux usées. Ainsi, des équipements sont prévus pour récupérer et valoriser quatre flux : eaux grises, biodéchets, urines, et matières fécales. Les eaux grises et une partie des eaux noires seront traitées sur place pour produire une eau propre destinée aux chasses d'eau, à l'arrosage, au nettoyage, ou encore au lave-linge. Les urines, quant à elles, seront transformées en amendements agricoles. Enfin, l'énergie issue du traitement des eaux sera récupérée via une pompe à chaleur, couvrant 90% des besoins thermiques du bâtiment. Ce projet, soutenu par France Expérimentation, bénéficie d'une subvention de 1,555 million d'euros.

Bien que l'immeuble « Cycle » ait été utilisé durant les Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024, ses équipements, déjà installés, ne seront mis en service qu'en phase « Héritage ». Après les JOP, le bâtiment est réhabilité pour accueillir 26 logements locatifs à partir de fin 2025, moment où débutera également l'expérimentation. À ce jour, les porteurs de projet poursuivent leurs discussions avec l'État pour obtenir les autorisations sanitaires nécessaires, notamment concernant la réutilisation des eaux grises.

Avec l'immeuble pionnier « Cycle », l'objectif est de démontrer la faisabilité d'une chaîne complète de valorisation des eaux usées, depuis leur collecte jusqu'à leur valorisation, tout en proposant un nouveau service urbain pour une gestion plus durable de la ressource en eau. Un enjeu sera également de déterminer l'échelle optimale pour ce type d'installation, probablement en l'étendant à l'échelle d'un îlot ou d'un quartier.

5.1.4.2. Filière déployée

S'agissant de la récupération des urines, le modèle opérationnel suivant est retenu à l'échelle des 26 logements du bâtiment « Cycle » :

Chaîne de valeur	Solution retenue	Chiffres clés
Interface utilisateur	Toilettes séparatives à eau SAVE ! de Laufen	
Collecte	Réseau gravitaire	
Stockage	Cuve de stockage dans un local technique situé au premier sous-sol du bâtiment (cuve classique en polyéthylène, pas spécialement conçue pour les urines, pouvant s'apparenter aux cuves de stockage des eaux pluviales)	1 cuve de stockage
Transport	Pompage des urines dans la cuve par un camion hydrocureur d'un transporteur agréé	Vidange de la cuve environ une fois tous les 2 mois
Lieu de traitement	Usines de valorisation de Toopi Organics	
Procédé de traitement	Filtration et fermentation (technologie Toopi Organics)	



Produit fini	Lactopi Start (produit de TOOPI Organics ayant obtenu une AMM)	
Valorisation	Biostimulant agronomique Distribution assumée par Toopi Organics	

Cette filière ne correspond à aucune filière telles que catégorisées dans cette étude, puisque la transformation des urines en biostimulant n'est pas considérée ici. Néanmoins, en se limitant au début de la chaîne de valeur (jusqu'à l'étape du transport inclus), elle pourrait être rapprochée de la filière « F2 » définie dans ce rapport.

Il convient toutefois de noter que cette filière n'est pas encore totalement stabilisée, le choix de Toopi Organics comme opérateur principal et unique n'étant pas encore certain.

5.1.4.3. *Porteurs du projet*

Ce projet pilote mobilise de nombreux acteurs, parmi lesquels la **Société de Livraison des Ouvrages Olympiques (SOLIDEO)**, qui en est le maître d'ouvrage et le commanditaire. Dans son cahier des charges, la SOLIDEO exigeait des candidats qu'ils proposent des bâtiments innovants, avec la possibilité à la clef de bénéficier d'un fonds innovation.

Le groupement qui a été retenu pour réaliser la construction du Lot D du village des Athlètes, auquel appartient le bâtiment « Cycle », est composé d'**Icade Promotion**, du bailleur CDC Habitat et de la Caisse des dépôts et consignations (Banque des territoires), avec comme entreprise générale GCC. En tant que promoteur immobilier, Icade a réuni des experts, notamment le bureau d'études environnemental **Oasiis** pour prévoir les dispositifs de séparation à la source des urines.

En tant qu'acqureur et propriétaire de l'immeuble, la **Caisse des dépôts** assurera le rôle de gestionnaire et de suivi de l'expérimentation pendant plusieurs années. L'opérateur responsable d'assurer le fonctionnement au quotidien du dispositif (du transport à la valorisation des urines) n'est pas encore arrêté, même si **Toopi Organics** est pressenti.

5.1.4.4. *Modèle économique*

À ce stade, aucun bilan financier complet et précis n'est établi. La séparation à la source des urines n'est qu'un volet parmi les nombreuses expérimentations menées dans l'immeuble « Cycle », lesquelles ont été chiffrées de manière globale. De plus, l'expérimentation est encore à un stade préliminaire. Une estimation détaillée des coûts ne pourra être réalisée qu'après les premières années d'exploitation du démonstrateur.

Quelques éclairages peuvent toutefois être dégagés dès à présent :

- **Surcoûts à l'investissement** : bien que non négligeables, ces surcoûts restent maîtrisables. Si le coût de la cuve de stockage est relativement modeste, l'installation des toilettes et du réseau implique une multiplication par deux du coût (en raison du double réseau). Ces surcoûts, bien qu'importants pour un promoteur immobilier, peuvent être significativement atténués grâce aux subventions de l'Agence de l'eau, pouvant atteindre jusqu'à 80% pour l'installation de tels systèmes (auxquels la Solideo n'a pas eu recours dans ce projet précis).
- **Surcoûts d'exploitation** : ils sont difficiles à quantifier à ce stade. Par exemple, un des risques identifiés est la cristallisation des urines, susceptible de boucher les canalisations. La prévention de ce phénomène nécessite un entretien régulier à l'aide

d'acide citrique, mais la fréquence et la quantité requises restent encore à déterminer. Ces coûts seront précisés après les premières phases de tests opérationnels.

- **Coûts spécifiques au démonstrateur** : dans le cadre d'un projet pilote tel que celui-ci, les coûts d'exploitation seront vraisemblablement plus élevés que ceux d'un dispositif qui serait intégré à un service urbain global. Par exemple, le transport des urines par camions hydrocureurs représentera ici un poste de dépense indépendant. À l'avenir, ces coûts pourraient être optimisés en les intégrant à de nouveaux services urbains.

5.1.4.5. Enseignements et réflexions sur les freins et leviers d'action pour le passage à l'échelle des filières

Selon l'interlocuteur interrogé, le principal obstacle à l'installation des équipements dans les bâtiments n'est pas technique, ni lié aux surcoûts d'installation – qui peuvent être largement couverts par les subventions de l'Agence de l'eau. **La difficulté majeure réside dans la recherche d'un gestionnaire pour assurer l'exploitation des systèmes sur le long terme.** Or, l'absence d'une gestion garantie des dispositifs constitue un frein à l'intégration des systèmes de séparation à la source dès la conception d'un bâtiment. L'intégration d'une option de repli vers le réseau d'assainissement classique, en cas d'absence d'exploitant, constitue une solution qu'il convient de souligner auprès des promoteurs afin de les rassurer.

Selon le représentant d'Oasiis, **cette absence de marché d'exploitants potentiels s'explique en partie par le manque de consensus sur les méthodes de collecte et de traitement des urines.** Plusieurs approches sont à l'étude, mais aucune ne s'impose pour le moment, freinant ainsi la création d'un service urbain stable et pérenne. Un modèle économique viable reste à développer, de la collecte jusqu'à la valorisation des urines, pour permettre au service urbain de trouver son équilibre financier.

L'interlocuteur interrogé souligne que l'Agence de l'eau pourrait jouer un rôle clé en tant qu'autorité organisatrice, notamment en ajustant la fiscalité et la répartition des coûts dans une logique de service public. Par exemple, une part de la taxe d'assainissement pourrait être allouée aux opérateurs récupérant et traitant les urines, comme cela se fait aujourd'hui pour le traitement des eaux usées par des acteurs comme Veolia ou Suez. Ce mécanisme permettrait aux exploitants de pérenniser leur modèle économique tout en réduisant les coûts pour les producteurs d'urines. Les économies réalisées grâce à la réduction des flux en station d'épuration pourraient également contribuer à financer ce service urbain – le cas échéant, ces économies devraient être quantifiées. Enfin, les revenus générés par la vente des produits transformés valorisés en agriculture pourraient constituer une source de financement complémentaire. Ce marché, selon le représentant d'Oasiis, devrait être structuré par les autorités publiques, en collaboration avec les agriculteurs utilisateurs. En somme, **ce service urbain devrait s'insérer dans le cadre existant pour assurer sa viabilité.**

Un second obstacle rencontré dans ce projet spécifique réside dans les contraintes réglementaires entourant l'autorisation des dispositifs prévus dans ce démonstrateur. Les difficultés concernent principalement le traitement et la **réutilisation des eaux grises et noires, encore limitée par des réglementations interdisant certains usages.** Bien que la récupération des urines ne soit pas à l'origine des blocages, les restrictions retardant la mise en œuvre de certains systèmes du bâtiment pourraient freiner l'ensemble des expérimentations, y compris la collecte des urines.

Enfin, **ce projet met également l'accent sur l'adhésion des usagers, essentielle au succès du système**. Le choix des toilettes SAVE! de Laufen s'explique par leur design familier, facilitant leur acceptation. Bien qu'elles consomment de l'eau et génèrent un volume supplémentaire à traiter, elles sont plus intuitives et faciles à entretenir, limitant ainsi les changements de pratiques et minimisant les risques liés à un mauvais entretien.

5.2. Valorisation des urino-fertilisants : une alternative dans un marché des engrais appelé à se transformer

Cette étude de marché synthétise les enseignements tirés de l'étude menée par Xerfi sur le marché français des engrais et produits azotés³¹, enrichis d'une analyse bibliographique complémentaire. Sauf indication contraire en note de bas de page, l'ensemble des analyses présentées dans cette section découle donc directement de l'étude Xerfi.

5.2.1. Panorama des engrais et produits associés

Les engrais sont des produits fertilisants dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments nutritifs utiles à leur développement. Les engrais peuvent être classifiés en trois sous-catégories, selon leur origine :

- **Les engrais minéraux**, dont les éléments nutritifs sont produits artificiellement par l'industrie chimique ou tirés de l'extraction minière de substances minérales extraites de l'air (pour l'azote) et du sol (pour le phosphate et la potasse) – ils représentent la grande majorité des volumes de fertilisants commercialisés en France ;
- **Les engrais organiques**, dont les éléments nutritifs sont tirés de la décomposition naturelle de produits d'origine animale (comme le fumier) ou végétale (tel le compost), ou de sous-produits industriels (par ex. poudres de cuir, de cornes, etc.) ;
- **Les engrais organo-minéraux**, dont les éléments nutritifs sont tirés de produits d'origine minérale et au moins 1% d'origine organique.

Les engrais se distinguent aussi selon leur composition :

- **Les engrais azotés**, qui se différencient eux-mêmes en plusieurs produits selon leur composition chimique (urée, nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium) ;
- **Les engrais phosphatés** ;
- **Les engrais potassiques**.

Les engrais peuvent être **simples** et ne contenir qu'une seule substance active, ou **composés** et fournir une combinaison équilibrée de nutriments essentiels à la croissance des plantes (azote, potassium et phosphore).

Enfin, bien qu'ils soient majoritairement disponibles sous forme solide, les engrais peuvent aussi être trouvés sous forme liquide ou gazeuse.

La fabrication d'engrais azotés implique aussi la production de **produits azotés** tels que l'acide nitrique, l'ammoniac, les chlorures et carbonates d'ammonium, ainsi que les nitrates et nitrites de potassium. Ces substances servent d'intermédiaires dans la production d'engrais et autres biens industriels.

En complément des engrais, il convient de mentionner d'autres catégories de produits liés à la fertilisation.

Les amendements, tout d'abord, sont des matières visant à améliorer les propriétés physiques, chimiques ou biologiques des sols. Ils sont essentiellement d'origine organique

³¹ BONNET Pierre, LEMESLE Olivier. La fabrication d'engrais et de produits azotés, Conjoncture et prévisions 2024, Analyse de la concurrence et des nouveaux équilibres. Xerfi Intelligence Stratégique. Mars 2024

(afin notamment d'augmenter la teneur des sols en matière organique), bien qu'une partie des nutriments qu'ils contiennent puisse se trouver sous forme minérale. Contrairement aux fertilisants utilisés annuellement, les amendements sont apportés plus ponctuellement pour maintenir une fertilité de fond (c'est-à-dire, maintenir ou augmenter la disponibilité des nutriments dans le sol).

Les **biostimulants**, composés de substances ou de microorganismes, servent à stimuler les processus naturels des plantes, favorisant ainsi leur croissance et leur résistance. Ces produits, n'apportent pas de nutriments à proprement parler, mais complètent l'usage d'engrais dans certains itinéraires techniques. Certains permettent notamment de réduire, en théorie, les doses d'engrais utilisés.

5.2.2. Le marché français des engrais : consommation et dépenses

En 2023, le marché français des engrais représentait **plus de 5 milliards d'euros**. Parmi les engrais (hors amendements) commercialisés en France, **environ 81% sont des engrais minéraux**, contre 19% pour les engrais organiques (2021). Les engrais minéraux dominent donc largement le marché français et, au sein de cette catégorie, l'azote est l'élément le plus vendu, avec 70% des volumes livrés en 2023. En termes d'engrais azotés, le marché français et européen se distingue par une utilisation importante de nitrate d'ammonitrates, tandis que l'urée est l'engrais privilégié au niveau mondial.

Les principaux débouchés du marché des engrais et produits azotés sont les suivants :

1. **Agriculture** : ce secteur représente une part écrasante du marché (4,85 milliards d'euros en 2022). Les agriculteurs utilisent ces produits pour augmenter les rendements de leurs cultures et améliorer la qualité des sols.
2. **Industrie manufacturière** : les produits azotés trouvent de multiples applications dans des secteurs tels que la chimie, la métallurgie, l'agroalimentaire, les explosifs, l'électronique ou encore l'automobile.
3. **Grand public** : le marché des engrais pour le jardinage reste un segment restreint, (environ 100 millions d'euros en 2021).

La demande agricole en engrais est cependant en recul en France, avec une baisse notable des volumes consommés ces dernières années (-23,2% de livraisons d'engrais minéraux en 2023 par rapport à 2022; -14,9% pour l'engrais minéral azoté plus spécifiquement). Cette baisse tendancielle, qui s'observe depuis 2019, s'est accélérée depuis 2020. Plusieurs facteurs expliquent cette tendance :

- **Réduction de la surface agricole utilisée (SAU)** : en baisse régulière depuis 2018 (- 0,2% par an), la SAU atteignait 26,7 millions d'hectares en 2023. Bien que ce déclin contribue à la diminution de la demande, il n'en est pas la seule cause.
- **Augmentation des prix des engrais depuis 2021** : la flambée des coûts a poussé de nombreux agriculteurs à limiter leurs achats, à différer l'utilisation d'engrais ou à les concentrer sur des cultures à forte valeur ajoutée (par ex. colza).
- **Substitution par des alternatives organiques** : les agriculteurs se tournent vers des solutions moins coûteuses et/ou moins dépendantes des cours du gaz naturel.

Malgré une croissance relative de la part de marché des engrais organiques, leurs volumes vendus sont également en déclin (-10% entre 2021 et 2023, atteignant 1,86 million de tonnes). Ce phénomène s'explique par plusieurs facteurs :

- **Autoproduction de fertilisants organiques** : les exploitants privilégient les coproduits de leurs exploitations (par ex. lisier, digestat issu de la méthanisation), limitant ainsi leurs dépenses en engrais industriels. Cette tendance pourrait s'amplifier avec la progression du compostage collectif et l'obligation de tri des biodéchets, contribuant ainsi à augmenter les ressources pour la fabrication de fertilisants organiques autoproduits par les agriculteurs.
- **Repli de l'agriculture biologique** : après un essor important, les surfaces cultivées en bio ont reculé de 2% en 2023. Certains agriculteurs, confrontés à des difficultés économiques, ont opté pour la déconversion, réduisant ainsi la demande en fertilisants organiques.
- **Problèmes d'offre** : des épisodes de grippe aviaire ont impacté la production française d'engrais organiques en 2022 et 2023.

Les engrais azotés, en particulier, ont été fortement sujet à cette réduction de consommation, avec des livraisons tombées à un niveau historiquement bas (1 562,3 Mt en 2023). Parmi les trois principaux types d'engrais azotés, deux ont enregistré des baisses marquées : les ammonitrates (-23,8%) et les solutions azotées (-20,3%). À l'inverse, les volumes vendus d'urée ont progressé (+5,8 %), bénéficiant de leur coût inférieur par rapport à d'autres engrais. Bien qu'un rebond de la demande soit attendu en 2024, il devrait rester limité, les agriculteurs conservant leurs pratiques d'économie adoptées durant la crise inflationniste.

En parallèle, il est intéressant de noter les tendances sur le marché français des biostimulants, qui connaît une expansion rapide depuis 2020, affichant des taux de croissance annuels à deux chiffres. Ce dynamisme est largement porté par le secteur des grandes cultures, notamment les céréales et la viticulture. L'essor des biostimulants s'explique par leur inclusion dans la classification européenne des fertilisants, ce qui simplifie leur mise sur le marché, ainsi que par des réglementations de plus en plus strictes sur l'utilisation des engrais minéraux. Malgré ces conditions favorables, les biostimulants représentent encore une part modeste du marché global des engrais (57,5 millions d'euros en 2023).

Ainsi, le marché français des engrais est en mutation, marqué par une part de marché des solutions de fertilisations organiques et des biostimulants qui se renforce ces dernières années, au détriment des engrais minéraux.

5.2.3. La fabrication d'engrais en France

En tant que première puissance agricole de l'Union européenne, la France occupe une place majeure dans la production d'engrais et de produits azotés. En 2022, le pays comptait 117 établissements employeurs dans ce secteur, un chiffre en hausse depuis 2019. Cependant, la **fabrication d'engrais reste fortement concentrée autour de quelques acteurs clés**. Le marché français est dominé par le norvégien Yara et le tchèque Agrofert (ayant acquis les activités de fabrication d'engrais de Borealis), ainsi que les groupes français Roullier et De Sangosse. Ces grandes entreprises européennes se partagent ainsi le marché. D'après une étude Xerfi, les quatre premiers acteurs du panel constitué représentaient plus de 86% du

chiffre d'affaires du panel en 2022, tandis que les entreprises de plus de 250 salariés, bien qu'elles ne constituent que 3% du panel, génèrent 58% des revenus en 2021.

Cette concentration s'explique par l'existence de fortes barrières à l'entrée. La production de fertilisants exige d'importants investissements en recherche et développement, ainsi que des processus d'homologation longs et coûteux pour répondre à des réglementations strictes (normes Seveso, composition, dosage). De plus, seules les grandes entreprises peuvent produire en masse, réalisant ainsi des économies d'échelle nécessaires pour rester compétitives.

Les engrais minéraux représentent deux tiers de la production française d'engrais en valeur (hors produits azotés), dominée par les engrais minéraux simples (583,9 M€ en 2020) et les engrais minéraux composés (362,4 M€ en 2022). Viennent ensuite les engrais organiques (392,3 M€ en 2022), dont la France est le premier producteur européen. Les industriels français sont bien positionnés sur ce segment et gagnent des parts de marché. Parmi les acteurs français spécialisés dans la fabrication d'engrais organiques et organo-minéraux se trouvent des groupes tels que Frayssinet, Terrial (Avril) ou Angibaud (Veolia). Selon l'UNIFA, les engrais organiques produits par les industriels français sont élaborés à partir de trois grandes catégories de matières premières, d'origine animale ou végétale, issues de sites d'approvisionnement locaux³² :

- **Matières premières animales :**
 1. **Effluents d'élevage** : fumiers et lisiers provenant de différentes espèces (bovins, ovins, caprins, équins, volailles).
 2. **Co-produits d'animaux riches en protéines** : farines de viande et d'os, farines de sang, plumes et duvets, onglons et cornes, peaux, etc.
- **Matières premières végétales :**
 3. **Co-produits des industries agricoles et agroalimentaires** : pulpes de fruits, marc de café, tourteaux végétaux (colza, soja, ricin), et autres résidus végétaux valorisables.

Toutefois, **la production française d'engrais et de produits azotés est en déclin depuis 2019**, enregistrant une chute de 23,4% en 2023 par rapport à 2022, avec un rebond limité prévu en 2024 (+5 % en volumes). Parallèlement, le chiffre d'affaires des fabricants français a fortement diminué en 2023 (-41,8 % en valeur) et devrait continuer à baisser en 2024, après deux années de croissance exceptionnelle dues à l'envolée des prix du gaz naturel. Plusieurs usines ferment en France, entraînant des licenciements. Cette érosion de la position de la France s'explique par la contraction structurelle du marché domestique, la concurrence étrangère croissante et une réglementation de plus en plus stricte concernant les engrais minéraux (composition, dosage, normes Seveso, réglementations environnementales, etc.).

5.2.4. Concurrence internationale et fournisseurs du marché français

5.2.4.1. *Les fournisseurs d'engrais en France*

La France est productrice d'engrais azotés, mais ne couvre qu'un tiers de ses consommations, ce qui l'oblige à importer massivement des engrais minéraux pour répondre aux fortes demandes des cultures agricoles. Par ailleurs, **la fabrication d'engrais azotés sur**

³² Union des Industries de la Fertilisation (UNIFA). Les engrais organiques et organo-minéraux, Le territoire en héritage [en ligne]. Décembre 2022

le territoire demeure, à ce jour, fortement tributaire des importations de gaz naturel, accentuant la dépendance aux marchés internationaux.

En 2023, les principaux fournisseurs de la France sont la Belgique, les Pays-Bas et l'Allemagne, en raison de leurs infrastructures portuaires développées. La Russie demeure également un fournisseur clé, les engrais n'étant pas soumis aux sanctions européennes. Les pays d'Afrique du Nord, tels que l'Égypte (urée), l'Algérie (urée et ammoniac anhydre) et le Maroc (phosphore), figurent également parmi les partenaires privilégiés de la France. De plus, la suspension par la Commission européenne de la taxe *antidumping* sur les solutions azotées a entraîné une forte reprise des importations en provenance des États-Unis et de Trinité-et-Tobago en 2022-2023.

Ces pays parviennent à se positionner sur le marché français en raison de leur accès privilégié au gaz naturel, ce qui leur permet de produire des engrais à moindre coût. Ainsi, les prix compétitifs des engrais importés ont entraîné une augmentation des importations, particulièrement depuis la crise inflationniste.

5.2.4.2. Le solde commercial de la France en engrais et produits azotés

Le solde commercial de la France en engrais et produits azotés est structurellement déficitaire, avec un déficit de 2 milliards d'euros depuis 2013, passant à -4,1 milliards en 2022, puis remontant à -2,3 milliards en 2023. Cette situation résulte du faible taux d'exportation des fabricants français (inférieur à 20 %), ces derniers privilégiant le marché domestique. En effet, plus de 80% de la production des usines nationales est destinée au marché intérieur.

Plus spécifiquement, le solde commercial en engrais azotés s'élève à -37 millions d'euros en 2023, tandis que celui des engrais organiques et organo-minéraux atteint -1,3 milliard d'euros. Si la France est un exportateur net d'ammonitrates, elle demeure dépendante de ses partenaires internationaux pour répondre à ses consommations en solutions azotées et en urée.

5.2.5. Prix et volatilité

5.2.5.1. Le prix des engrais minéraux est fortement dépendant des cours du gaz naturel

Le gaz naturel représente entre 50% et 90% des coûts de production des engrais minéraux (plus de 50% pour les engrais azotés et jusqu'à 90% pour l'ammoniac). La volatilité des prix du gaz a donc un impact direct sur les tarifs pratiqués par les fabricants et, par conséquent, sur les prix payés par les consommateurs. Ces tarifs sont également influencés par l'équilibre entre l'offre et la demande, le cours des céréales et les pressions concurrentielles au sein du secteur.

5.2.5.2. Historique de volatilité

La volatilité du prix du gaz naturel a été un facteur déterminant dans l'évolution des prix des engrais ces dernières années. La pandémie de Covid-19, suivie de la crise énergétique engendrée par la guerre en Ukraine, a provoqué **depuis 2021 une hausse record des prix des engrais.**



Figure 42. Cours du gaz naturel sur 10 ans (2015-2025)³³

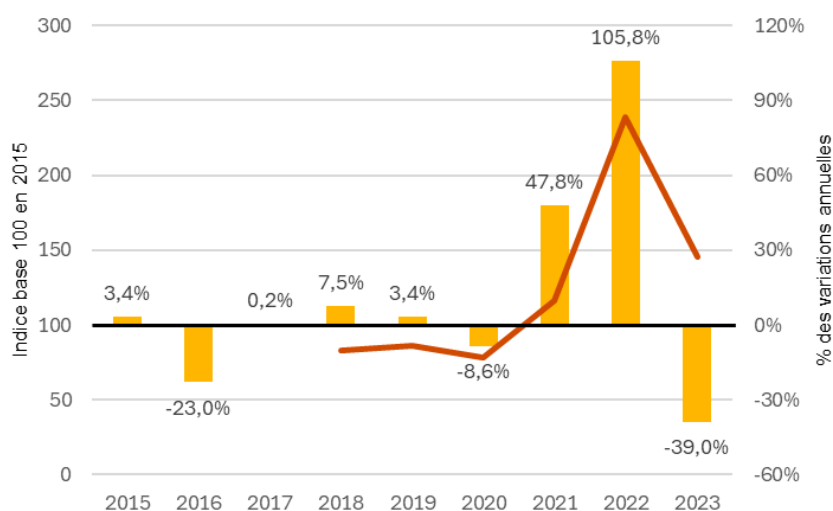


Figure 43. Coût de production des engrais et composés azotés (ensemble des marchés), 2015-2023

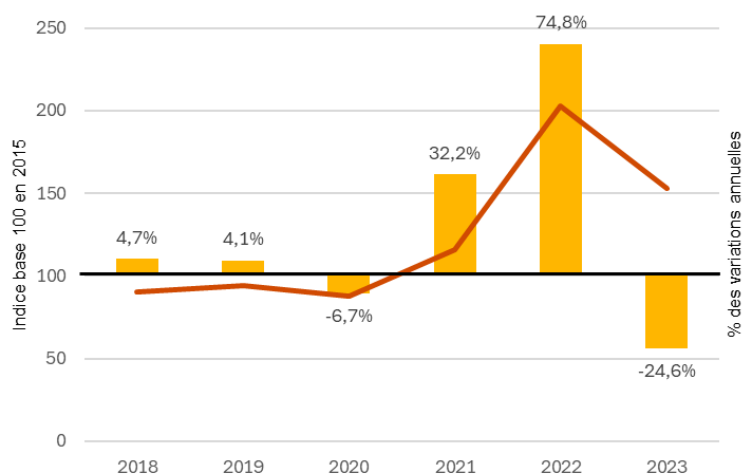


Figure 44. Prix d'achat agricole des engrais et amendements en France, 2018-2023

³³ Cours du gaz naturel sur 10 ans, Boursorama. Consulté en ligne le 17/01/2025 : https://www.boursorama.com/bourse/matieres-premieres/cours/_NG/

En 2023, bien que le marché du gaz ait connu un retournement baissier, cela n'a entraîné qu'une baisse partielle des prix des intrants agricoles (-24,6%) par rapport aux hausses significatives observées en 2021 et 2022. Les tensions géopolitiques impliquant des grands producteurs d'engrais (Russie, Biélorussie, Israël, Égypte, Chine) ont maintenu le marché sous pression. De plus, la réorganisation des flux logistiques en Europe, résultant de la réduction drastique des importations de gaz russe, a entraîné une augmentation des coûts de production des fabricants d'engrais, dont une partie a été répercutée sur les prix d'achat des agriculteurs.

Au 10 janvier 2025, les cotations de divers types d'engrais étaient les suivantes³⁴ :

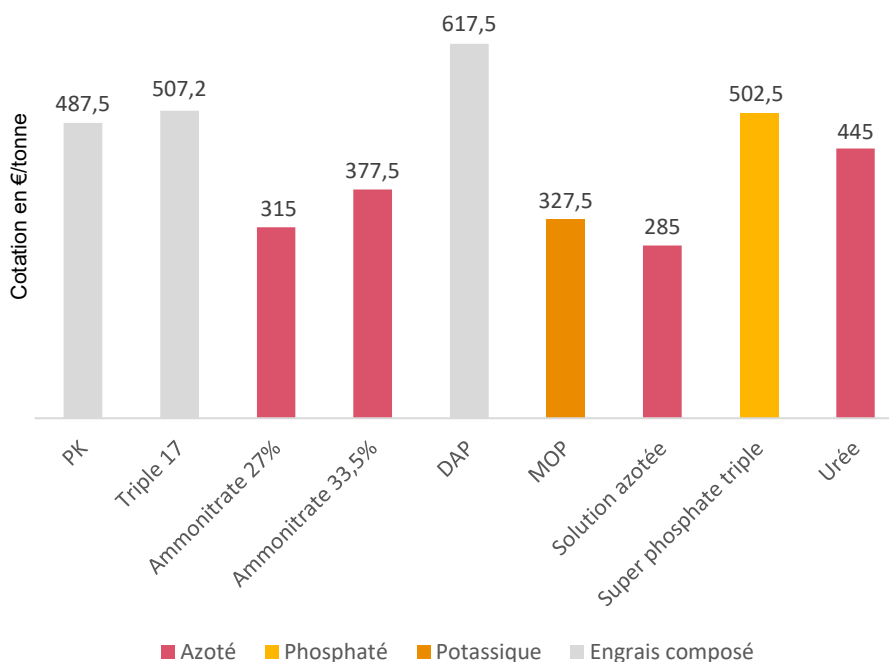


Figure 45. Cotations de l'engrais au 10 janvier 2025 ³⁵

Des hausses de prix sont attendues à court ou moyen terme, en raison des incertitudes persistantes sur les cours du gaz naturel.

La forte hausse puis la persistance à des niveaux élevés des prix des engrais ont durablement affecté les agriculteurs. En conséquence, ces derniers sont de plus en plus enclins à accélérer leur transition vers des fertilisants organiques, qui peuvent être autoproduits ou issus du compostage des ménages, au détriment des alternatives minérales (étude Xerfi).

5.2.5.3. Calcul du prix rapporté à l'unité d'azote

À partir des cotations des engrais azotés liquides et solides en date du 10 janvier 2025, il est possible d'estimer le coût par kilogramme d'azote contenu dans chaque produit. Par exemple, l'ammonitrate 27% contient 27% d'azote, soit 270 kg d'azote par tonne d'engrais. En supposant que le prix de l'engrais reflète majoritairement le coût de l'azote, on divise le prix

³⁴ Cotations de l'engrais du 10/01/2025, Web Agri. Consulté en ligne le 17/01/2025 : <https://www.web-agri.fr/marches-agricoles/engrais>

³⁵ **Note** : les cotations des engrais varient selon le type de produit et la méthodologie d'évaluation utilisée : cotations à silo rendu pour le PK et le Triple 17 ; depuis l'usine de départ pour l'ammonitrate ; au port de départ pour le DAP, le superphosphate triple et l'urée ; au départ de Rouen pour la solution azotée, et au port rendu pour le MOP.

d'une tonne d'ammonitrate 27% (315 euros) par la quantité d'azote qu'elle contient (270 kg), ce qui donne un coût de **1,17 € par kilogramme d'azote**.

En appliquant cette méthode aux autres engrais azotés, les résultats sont les suivants :

- **Ammonitrate 33,5% : 1,13 €/kg** d'azote (335 kg d'azote par tonne).
- **Solution azotée (39%) : 0,73 €/kg** d'azote (390 kg d'azote par tonne).
- **Urée (46%) : 0,97 €/kg** d'azote (460 kg d'azote par tonne).

Ainsi, au 10 janvier 2025, le coût moyen d'un kilogramme d'azote s'établit à environ **1 euro**, bien qu'il puisse fluctuer significativement en fonction des futures variations de prix des engrais.

5.2.6. Les politiques publiques et tendances du secteur

5.2.6.1. *Les orientations des politiques publiques*

Dès 1991, l'Union européenne adopte la **directive « Nitrates »**³⁶, qui vise à prévenir et réduire la pollution des eaux causée par les nitrates d'origine agricole. Naturellement présents en faible quantité dans les eaux superficielles et souterraines, les nitrates voient leur concentration augmenter sous l'effet des activités humaines, notamment par l'accumulation d'azote d'origine agricole dans les sols. Pour limiter cet impact, la directive impose notamment aux États membres de désigner des zones vulnérables menacées par la pollution aux nitrates agricoles et d'élaborer des programmes d'actions obligatoires pour les agriculteurs exerçant dans ces zones. Les orientations de cette directive sont reprises dans la **directive cadre sur l'eau (DCE) de 2000**, qui fixe l'objectif d'atteindre le bon état de toutes les formes d'eaux (de surface, souterraines, intérieures et de transition) entre 2015 et 2027, y compris pour le paramètre « nitrates ».

Plus récemment, les pouvoirs publics français affirment leur volonté de réduire l'usage des engrais de synthèse afin de limiter les pollutions associées. La **Stratégie nationale bas carbone** (SNBC), adoptée en 2020, fixe pour objectif de « réduire les émissions directes et indirectes de N₂O et CH₄ en s'appuyant sur l'agroécologie et l'agriculture de précision ». Cette démarche repose sur l'**optimisation du cycle de l'azote afin de limiter les excédents azotés**, notamment en améliorant l'usage des effluents d'élevage et autres fertilisants organiques, en réduisant les besoins des cultures en engrais minéraux, et en privilégiant les produits les moins émissifs³⁷. Les projections établies dans le scénario SNBC à l'horizon 2050 anticipent une transformation majeure des pratiques agricoles en France par rapport à 2015, avec une réduction de 82% du surplus azoté, et une couverture maximale des sols conformément aux principes de l'agroécologie. Les pouvoirs publics encouragent donc par exemple une meilleure mobilisation des gisements de matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR)³⁸, auxquels les urinofertilisants pourraient être rattachés.

Par ailleurs, la loi Climat et Résilience du 22 août 2021 a introduit l'article L. 255-13-1 dans le Code rural et de la pêche maritime, qui prévoit l'**interdiction de l'utilisation des engrais de**

³⁶ Directive 91/676/CEE du Conseil, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles

³⁷ Stratégie nationale bas carbone, La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone [en ligne]. Ministère de la transition écologique et solidaire. Mars 2020

³⁸ Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. Fiche préparatoire à la concertation pour le pacte et la loi d'orientation et d'avenir agricole. Tendances facteurs de production : Engrais azotés. Décembre 2022

synthèse pour l'entretien des espaces verts des domaines publics ou privés, à l'exception des terrains à vocation agricole, des monuments historiques et des équipements sportifs. Cette interdiction s'applique également aux usages non professionnels, notamment par les particuliers, et sera effective **au plus tard le 1er janvier 2027**. S'agissant des équipements sportifs, une feuille de route est en cours d'élaboration afin de définir une trajectoire de réduction progressive des engrais de synthèse, avec des objectifs chiffrés et des échéances précises. A priori, cette loi aurait donc un impact plus significatif sur les usages de niche, dont les volumes restent faibles par rapport à ceux de l'agriculture. Par ailleurs, **le statut juridique des urino-fertilisants demeure incertain dans ce cadre législatif**. En raison de leur composition majoritairement minérale, ils pourraient potentiellement être concernés par l'interdiction, bien que ce point reste à clarifier.

La loi Climat et Résilience fixe également des **objectifs de réduction des émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote** : respectivement -13% en 2030 par rapport à 2005, et -15% en 2030 par rapport à 2015. Elle prévoit également la mise en place d'un « Plan d'action national pour la réduction des émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote issues des engrais azotés minéraux » pour atteindre ces objectifs.

5.2.6.2. Les aides publiques

Plusieurs dispositifs publics existent pour soutenir les cultures et pratiques plus économes en azote, promouvoir les matières fertilisantes organiques (notamment les effluents d'élevage) en complément voire substitution des engrais azotés de synthèse, et réduire les fuites d'azote³⁹.

Dans le cadre de **France 2030**, le Gouvernement a par exemple lancé en 2022 la première vague d'un **dispositif de soutien à la réduction des intrants phytopharmaceutiques et des engrais de synthèse**. Ce programme, doté d'une enveloppe de 20 millions d'euros, vise à financer l'acquisition d'agroéquipements innovants, intégrant les dernières technologies pour favoriser l'agriculture de précision, réduire l'utilisation d'intrants et promouvoir des alternatives aux produits phytosanitaires traditionnels. Parmi les équipements éligibles figurent notamment des dispositifs de traitement des effluents d'élevage pour produire des engrais ou des amendements organiques (compost, déchets verts, etc.). La date limite de dépôt des dossiers était fixée au 31 décembre 2023⁴⁰.

Par ailleurs, de nombreuses mesures ont été mises en place pour soutenir la filière Agriculture Biologique. Créé en 2008, le **Fonds Avenir Bio** vise à accompagner le développement et la structuration des filières biologiques françaises⁴¹. À travers des **appels à projets**, il finance des initiatives collectives réunissant différents acteurs de la filière (producteurs, transformateurs, distributeurs) sur des projets engagés sur 2 à 3 ans. **Doté de 18 millions d'euros en 2024**, ce fonds est accessible à tout opérateur économique impliqué dans l'agriculture biologique (entreprise, coopérative, association, groupement d'opérateurs). En outre, **plusieurs aides spécifiques soutiennent directement les agriculteurs biologiques**⁴² : aide à la conversion en bio, aide au maintien en bio (variable selon les régions), crédit d'impôt bio, prime bio qui augmente certaines aides agricoles (par ex. aide à l'installation). D'autres dispositifs sont mis en place par les collectivités et agences locales,

³⁹ REMONGIN Xavier. Dispositifs publics en faveur d'une gestion durable de l'azote, Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire [en ligne]. 2 décembre 2022

⁴⁰ France 2030 | Lancement de la première vague du dispositif d'aide "Réduction des intrants phytopharmaceutiques et des engrais de synthèse", Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) [en ligne]. 13 avril 2022

⁴¹ L'Agence Bio. Le Fonds Avenir Bio [en ligne]. Consulté le 26 février 2025

⁴² Fédération Nationale d'Agriculture Biologique. Les aides financières à destination du monde agricole pour favoriser la transition agricole de son territoire. Novembre 2020

notamment via des **appels à projets, crédits d'impôt, exonérations fiscales** ou encore des financements issus du FEADER, de la DRAAF, des Agences de l'Eau ou de FranceAgriMer. Face aux difficultés récentes du secteur, les pouvoirs publics ont de plus alloué une enveloppe de **104 millions d'euros** à cette filière en **2023**, tandis qu'un second plan de soutien de **90 millions d'euros** a été annoncé en février **2024** pour soutenir les exploitations ayant subi des pertes économiques significatives. L'objectif de ces mesures est d'atteindre 18% de la surface agricole utile en agriculture biologique d'ici 2027 (contre 10,5% en 2023). Même si les urino-fertilisants ne sont pas encore autorisés en agriculture biologique, leur intégration pourrait devenir une réalité à l'avenir. Des signaux positifs émergent en ce sens, avec des discussions en cours au niveau européen.

Dans le même temps, le ministre de l'Agriculture a dévoilé en février 2024 un programme de 60 millions d'euros pour accélérer le déploiement des biostimulants et du biocontrôle en France. Ce financement sera composé de 42 millions d'euros issus du plan France 2030 et de 18 millions d'euros provenant de fonds privés.

5.2.6.3. En parallèle, les producteurs français d'engrais minéraux s'engagent à atteindre la neutralité carbone

L'organisation Fertilizers Europe, qui regroupe des leaders européens de la production d'engrais minéraux (Yara, BASF, etc.), s'engage à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Un objectif intermédiaire de réduction de 70% des émissions d'ici à 2040 par rapport à 2020 a été annoncé. Pour atteindre ces cibles, les fabricants misent sur le développement de l'hydrogène, produit à partir d'énergies renouvelables ou d'énergie nucléaire.

5.2.7. Enseignements de cette étude de marché pour les filières de production d'urino-fertilisants

En synthèse, un certain nombre de signaux émergent de cette étude de marché, en faveur du développement des urino-fertilisants :

- **Evolution de la demande** : la tendance à la contraction relative des engrais azotés minéraux, par rapport aux engrais organiques et aux biostimulants, est déjà amorcée.
- **Evolution de l'offre** : les intrants issus de matières fertilisantes d'origine résiduaire sont en pleine expansion, et un marché commence même à émerger autour de l'urine (par ex. Toopi Organics).
- **Volatilité des prix** : la volatilité observée ces dernières années et les annonces de renchérissement en raison du couplage avec le prix du gaz sont déjà bien perçues par les agriculteurs, appelant à des alternatives plus stables.
- **Enjeux de souveraineté alimentaire** : la dépendance à un pays hostile comme la Russie pour les importations d'engrais azotés nécessaires à la production alimentaire nationale est un risque stratégique.
- **Réglementation environnementale** : l'Etat a déjà engagé une démarche de sobriété et de substitution des engrais azotés minéraux, dans laquelle pourrait s'inscrire le développement des urino-fertilisants.

Ces mouvements ouvrent des **perspectives prometteuses pour le développement des filières de production d'urino-fertilisants**, qui, en tant que matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR), pourraient jouer un rôle clé dans la souveraineté alimentaire du pays. De plus, alors que la fertilisation organique ne peut actuellement pas remplacer totalement les engrais minéraux en raison de stocks de matières mobilisables insuffisants, et qu'une part non

négligeable de ces matières organiques sont issues de troupeaux nourris avec des nutriments importés, les urinofertilisants représentent une véritable opportunité.

Toutefois, les urinofertilisants ne pourraient pas à eux seuls couvrir les consommations en azote de l'agriculture. Aux doses d'utilisation actuelles, l'urine produite par une personne ne suffit pas à fertiliser la production alimentaire dont elle a besoin. Dans un système agricole inchangé, il ne serait donc pas possible de remplacer entièrement les engrais conventionnels par de l'urine, tant en raison des quantités disponibles que des contraintes techniques.

5.3. Chiffrage économique des trois scénarios de déploiement des filières de séparation à la source des urines

Si elles ne permettent pas d'extrapoler de manière exhaustive les conditions économiques de passage à l'échelle de la filière, les études de cas présentées en [partie 5.1](#) permettent néanmoins de collecter des données clés sur les coûts de certaines filières.

En les enrichissant d'autres données sectorielles et retours d'expérience de filières proches, nous proposons en [annexe](#) un catalogue d'hypothèses technico-économiques permettant d'effectuer un dimensionnement en première approche des coûts et recettes associées au déploiement des solutions de séparation à la source dans chacune des neuf filières étudiées.

En associant ces hypothèses technico-économiques aux données de sortie des différents scénarios (par ex. poids de chaque filière, volumes d'urines collectées, quantité d'urinofertilisants valorisés...), nous obtenons une évaluation économique pour chacun des trois scénarios analysés.

Cette approche permet d'estimer, pour chaque scénario, et à deux horizons temporels (2035 et 2045) :

- Les coûts d'investissement nécessaires ;
- Les coûts d'exploitation annuels ;
- Les recettes potentielles annuelles.

Points d'attention méthodologiques :

- **Les estimations doivent être interprétées en termes de surcoûts** : elles visent à quantifier la différence entre les dépenses qui auraient été engagées même en l'absence de déploiement de ces filières (par ex. achat de toilettes standard, coût d'épandage d'engrais conventionnels en agriculture), et les dépenses engendrées à la place dans le cas de la mise en œuvre de systèmes de séparation à la source. Toutefois, pour la plupart des postes de dépenses, les coûts sont équivalents aux surcoûts (par ex. double réseau, usine de nitrification-distillation, transport des urines, coûts de distribution...), puisque ces filières n'existent pas dans le modèle actuel.
- **Les coûts sont supposés constants entre 2025 et 2045**, sans prise en compte de l'inflation.
- Les coûts présentés sont en **euros hors taxe (HT)**.
- Les coûts ont été systématiquement évalués selon une **hypothèse basse** et une **hypothèse haute**, afin de définir une **fourchette large** des variations possibles en termes de coûts et de recettes.
- Les coûts d'exploitation n'incluent pas de provisions pour anticiper les dépenses de renouvellement des infrastructures, et donc ne comprennent pas de lissage des futurs coûts d'investissement.

5.3.1. Scénario 1 : « Vers l'atteinte du bon état écologique des eaux sur les paramètres Azote (N) et Phosphore (P) »

5.3.1.1. Caractérisation du scénario

Ce scénario se distingue par une forte prévalence des filières **F6** (grands ERP en zone dense) et **F1** (logements neufs ou rénovations de bâtiments entiers en zone dense). En 2045, elles représenteront respectivement **35% et 23% des volumes annuels d'urines collectées**. En matière de valorisation, elles contribueront à **34% et 17% des quantités d'azote** récupérées et redistribuées à l'agriculture. La filière **F8** (petits ERP en zone dense) joue également un rôle significatif, avec **14% des volumes collectés**, mais **19% des quantités d'azote valorisables** en agriculture. Ces trois filières, situées en zone dense, utilisent toutes le traitement par **nitrification-distillation**, produisant ainsi des **urines nitrifiées concentrées** comme produit final.

Dans ce scénario, la filière **F5** (logements en assainissement collectif avec déploiement des WC électroménagers à partir de 2035) n'est pas mise en œuvre, tandis que les filières **F3** (rénovation de logements en zones dense et urbaine) et **F4** (logement en assainissement non collectif en zone rurale) restent marginales. Les autres filières – **F2** (logements neufs ou rénovations de bâtiments en zone urbaine), **F7** (grands ERP en zones urbaine et rurale) et **F9** (petits ERP en zones urbaine et rurale) – affichent chacune des parts comprises entre **8% et 11% des flux collectés**, et entre **8% et 12% de l'azote valorisable** en agriculture.

Au total, ce scénario permet la collecte de **843 572 m³ d'urines diluées par an à horizon 2045**, aboutissant à la production de **234 136 m³ de lisain** et **65 423 m³ d'urines nitrifiées concentrées**, soit **3 721 tonnes d'azote valorisables** en agriculture. Cela implique un trafic annuel de **4,7 millions de kilomètres parcourus par divers véhicules** (camions, utilitaires, voitures particulières), dont **2 millions de kilomètres réalisés par des camions-citernes** pour le transport des urines brutes et la distribution des urines traitées.

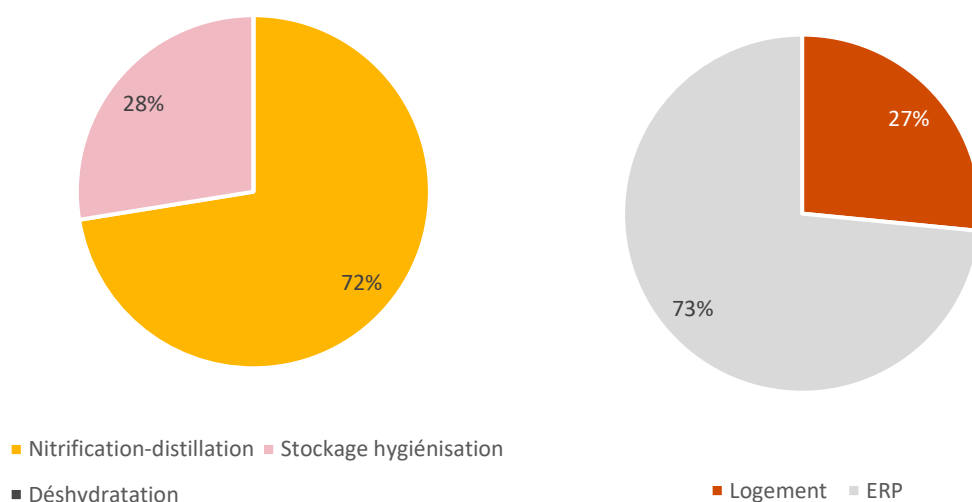


Figure 46. Origine de l'azote valorisable en 2045 : par mode de traitement (gauche) et type de bâtiment (droite).

5.3.1.2. Résultats économiques en 2035

Coûts d'investissement

Dans ce scénario, les coûts d'investissement sont estimés entre **302 et 417 millions d'euros** sur une période de **10 ans (2025-2035)**. Dans un premier temps, et avant toute éventuelle redistribution ou conception d'un modèle économique à l'échelle macro, ces investissements seraient principalement pris en charge par le **secteur de l'aménagement et de la construction** (pour l'installation des systèmes séparatifs dans les bâtiments) et/ou par **le ou les opérateur(s) de filière**, en fonction notamment de l'acteur assumant les coûts d'investissement liés aux équipements de traitement des urines par nitrification-distillation.

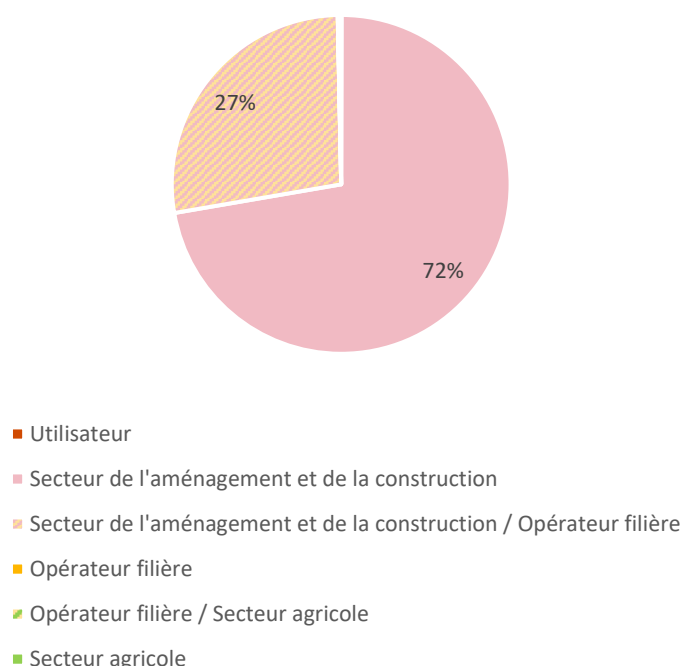


Figure 47. Acteurs assumant les coûts d'investissement en premier lieu, avant toute éventuelle distribution – scénario 1, moyenne des hypothèses haute et basse.

À l'échelle de la chaîne de valeur, l'**étape de traitement** constitue le poste de dépense le plus important, représentant **51%** des coûts totaux, suivie par l'**interface usager (25%)** et l'**étape de collecte (21%)**. Cette répartition s'explique par la prédominance des filières utilisant un **réseau gravitaire** pour la collecte, et un traitement par **nitrification-distillation** nécessitant des investissements conséquents pour la mise en place des usines de traitement. En revanche, les coûts liés aux infrastructures de **stockage** et à la mise en place des **Points d'Apport Volontaire (PAV)** restent marginaux, représentant respectivement **2% et 0,02%** des investissements totaux.

Coûts d'exploitation

En **2035**, les **coûts d'exploitation** sont estimés entre **19 et 41 millions d'euros par an**. L'**opérateur de filière** supporte la majorité des coûts (**39% à 62%**), suivi de près par les **utilisateurs** (**37% à 56%**). La part du secteur agricole est plus limitée (**1% à 5%** selon les hypothèses retenues).

En outre, les hypothèses basse et haute mettent en avant des postes de coûts dominants différents :

- Dans l'hypothèse basse, le **traitement** représente **32%** des coûts d'exploitation, suivi par l'entretien des **interfaces usagers** (25%), le **transport** (19%) et la **distribution** (17%).
- Dans l'hypothèse haute, c'est la **distribution** qui constitue la majorité des coûts d'exploitation (**38%**), suivie par l'entretien des **interfaces usagers** (23%), le **traitement** (21%) puis le **transport** (13%).

En effet, ce scénario alloue une place prépondérante aux filières de **nitrification-distillation**, qui nécessitent une étape supplémentaire de **distribution sur le marché**, contrairement aux filières **lisain**, où les urines sont directement transportées vers les exploitations agricoles après collecte, sans reconditionnement avant épandage. Or, **les coûts liés à cette phase de distribution sont très incertains** à ce stade, faute de retour d'expérience et de données disponibles sur des filières comparables.

Les autres postes de coûts restent plus modestes : la collecte représente de 4% à 6%, la valorisation agricole (coûts d'épandage) de 1% à 2%, tandis que les coûts associés aux PAV sont négligeables.

Coût d'utilisation agricole des urinofertilisants

Par rapport aux pratiques actuelles basées sur les engrais de synthèse, l'achat d'urinofertilisants pourrait générer pour les agriculteurs une **économie allant jusqu'à 371 000 euros** ou, au contraire, un **surcoût pouvant atteindre 926 000 euros**, selon le prix fixé par unité d'azote. En effet, dans l'hypothèse basse, où le lisain est proposé gratuitement et les urines nitrifiées au même prix que les engrais conventionnels (1 euro par kg d'azote), les agriculteurs réaliseraient au total une économie. À l'inverse, dans l'hypothèse haute, où le lisain est valorisé au prix des engrais conventionnels et les urines nitrifiées à un coût supérieur (2 euros par kg d'azote), l'usage d'urinofertilisants représenterait un surcoût. En intégrant ces économies ou surcoûts aux coûts d'exploitation agricoles supplémentaires pour l'épandage, l'impact net pour le secteur agricole pourrait varier **d'une réduction de 62 000 euros à une hausse pouvant atteindre 2,2 millions d'euros** par rapport aux pratiques actuelles.

Recettes potentielles

Grâce à la **vente des urinofertilisants**, les recettes pourraient osciller entre **926 000 euros et 2,2 millions d'euros**, en fonction du prix de vente fixé pour chaque type de produit fini. Comparées aux **coûts d'exploitation totaux**, ces recettes représenteraient en moyenne entre **0% et 10%** des coûts liés aux filières d'**hygiénisation**, et **6%** pour les filières de **nitrification-distillation**. Si l'on rapporte l'ensemble des recettes aux seuls **coûts d'exploitation supportés par l'opérateur de filière**, le bilan s'améliore légèrement, mais reste très limité : en moyenne, les recettes couvriraient entre **0% et 19%** des coûts pour les filières avec hygiénisation, et entre **8% et 12%** pour celles reposant sur la nitrification-distillation.

5.3.1.3. Résultats économiques en 2045

Coûts d'investissement

Dans ce scénario, les coûts d'investissement sont estimés entre **850 et 1 179 millions d'euros** sur une période de **20 ans (2025-2045)**. Dans un premier temps, et avant toute éventuelle redistribution ou conception d'un modèle économique à l'échelle macro, ces investissements seraient principalement pris en charge par le **secteur de l'aménagement et de la construction** (pour l'installation des systèmes séparatifs dans les bâtiments) et/ou par le **secteur des déchets et de l'eau**, en fonction notamment de l'acteur assumant les coûts d'investissement liés aux équipements de traitement des urines par nitrification-distillation.

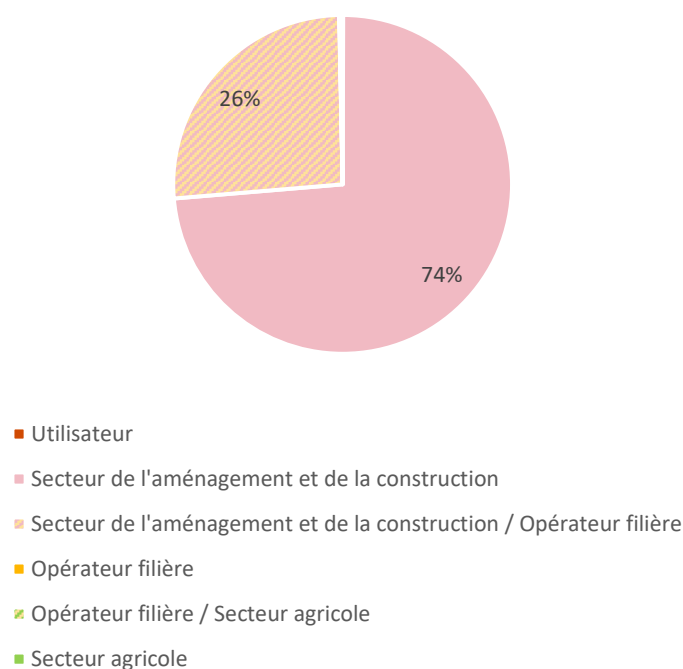


Figure 48. Acteurs assumant les coûts d'investissement en premier lieu, avant toute éventuelle distribution – scénario 1, moyenne des hypothèses haute et basse.

À l'échelle de la chaîne de valeur, l'**étape de traitement** constitue le poste de dépense le plus important, représentant **52%** des coûts totaux, suivie par les **interfaces usagers (25%)** et l'**étape de collecte (21%)**. Cette répartition s'explique par la prédominance des filières utilisant un **réseau gravitaire** pour la collecte, et un traitement par **nitrification-distillation** nécessitant des investissements conséquents pour la mise en place des usines de traitement. En revanche, les coûts liés aux infrastructures de **stockage** et à la mise en place des **Points d'Apport Volontaire (PAV)** restent marginaux, représentant respectivement **2% et 0,03%** des investissements totaux.

Coûts d'exploitation

En **2045**, une fois les filières entièrement déployées selon ce scénario, les **coûts d'exploitation** sont estimés entre **56 et 117 millions d'euros par an**. L'**opérateur de filière** supporte la majorité des coûts (**39% à 61%**), suivi de près par les **utilisateurs (38% à 56%)**. La part du secteur agricole est plus limitée (1% à 5% selon les hypothèses retenues).

En outre, les hypothèses basse et haute mettent en avant des postes de coûts dominants différents :

- Dans l'hypothèse basse, le **traitement** représente **31%** des coûts d'exploitation, suivi par l'entretien des **interfaces usagers** (25%), le **transport** (19%) et la **distribution** (18%).
- Dans l'hypothèse haute, c'est la **distribution** qui constitue la majorité des coûts d'exploitation (**38%**), suivie par l'entretien des **interfaces usagers** (24%) le **traitement** (20%) puis le **transport** (13%).

En effet, ce scénario alloue une place prépondérante aux filières de **nitrification-distillation**, qui nécessitent une étape supplémentaire de **distribution sur le marché**, contrairement aux filières **lisain**, où les urines sont directement transportées vers les exploitations agricoles après collecte, sans reconditionnement avant épandage. Or, **les coûts liés à cette phase de distribution sont très incertains** à ce stade, faute de retour d'expérience et de données disponibles sur des filières comparables.

Les autres postes de coûts restent plus modestes : la collecte représente de 4% à 6%, la valorisation agricole (coûts d'épandage) compte pour 1 à 2% des coûts totaux, tandis que les coûts associés aux PAV sont négligeables.

Coût d'utilisation agricole des urinofertilisants

Par rapport aux pratiques actuelles basées sur les engrais de synthèse, l'achat d'urinofertilisants pourrait générer pour les agriculteurs une **économie allant jusqu'à 1 million d'euros** ou, au contraire, un **surcoût pouvant atteindre 2,7 millions d'euros**, selon le prix fixé par unité d'azote. En effet, dans l'hypothèse basse, où le lisain est proposé gratuitement et les urines nitrifiées au même prix que les engrais conventionnels (1 euro par kg d'azote), les agriculteurs réaliseraient au total une économie. À l'inverse, dans l'hypothèse haute, où le lisain est valorisé au prix des engrais conventionnels et les urines nitrifiées à un coût supérieur (2 euros par kg d'azote), l'usage d'urinofertilisants représenterait un surcoût. En intégrant ces économies ou surcoûts aux coûts d'exploitation agricoles supplémentaires pour l'épandage, l'impact net pour le secteur agricole varierait entre **une réduction de 193 000 euros et une augmentation de 6,3 millions d'euros** par rapport aux pratiques actuelles.

Recettes potentielles

Grâce à la **vente des urinofertilisants**, les recettes pourraient osciller entre **2,7 et 6,4 millions d'euros**, en fonction du prix de vente fixé pour chaque type de produit fini. Comparées aux **coûts d'exploitation totaux**, ces recettes représenteraient en moyenne entre **0% et 10%** des coûts liés aux filières d'**hygiénisation**, et **6%** pour les filières de **nitrification-distillation**. Si l'on rapporte l'ensemble des recettes aux seuls **coûts d'exploitation supportés par l'opérateur de filière**, le bilan s'améliore légèrement, mais reste très limité : en moyenne, les recettes couvriraient entre **0% et 18%** des coûts pour les filières avec hygiénisation, et entre **8% et 12%** pour celles reposant sur la nitrification-distillation.

5.3.2. Scénario 2 : « Vers la mise en compatibilité DERU des stations d'épuration »

5.3.2.1. Caractérisation du scénario

Ce scénario est similaire au premier en ce qui concerne la répartition des filières, avec une prédominance marquée des filières **F6** (grands ERP en zone dense) et **F1** (logements neufs ou rénovations de bâtiments entiers en zone dense). En 2045, elles représenteront respectivement **37% et 22% des volumes annuels d'urines collectées**. En matière de valorisation, elles contribueront à **36% et 17% des quantités d'azote** récupérées et redistribuées à l'agriculture. La filière **F8** (petits ERP en zone dense) joue également un rôle significatif, avec **13% des volumes collectés**, mais **19% des quantités d'azote valorisables** en agriculture. Ces trois filières, situées en zone dense, utilisent toutes le traitement par **nitrification-distillation**, produisant ainsi des **urines nitrifiées concentrées** comme produit final.

Dans ce scénario, la filière **F5** (logements en assainissement collectif avec déploiement des WC électroménagers à partir de 2035) n'est pas mise en œuvre, tandis que les filières **F3** (rénovation de logements en zones dense et urbaine) et **F4** (logement en assainissement non collectif en zone rurale) restent marginales. Les autres filières – **F2** (logements neufs ou rénovations de bâtiments en zone urbaine), **F7** (grands ERP en zones urbaine et rurale) et **F9** (petits ERP en zones urbaine et rurale) – affichent chacune des parts comprises entre **7% et 11% des flux collectés**, et entre **8% et 10% de l'azote valorisable** en agriculture.

Au total, ce scénario permet la collecte de **893 462 m³ d'urines diluées par an à horizon 2045**, aboutissant à la production de **241 400 m³ de lisain** et **69 820 m³ d'urines nitrifiées concentrées**, soit **3 917 tonnes d'azote valorisables** pour l'agriculture. Cela implique un trafic annuel de **4,8 millions de kilomètres parcourus par divers véhicules** (camions, utilitaires, voitures particulières), dont **2,1 millions de kilomètres réalisés par des camions-citernes** pour le transport des urines brutes et la distribution des urines traitées.

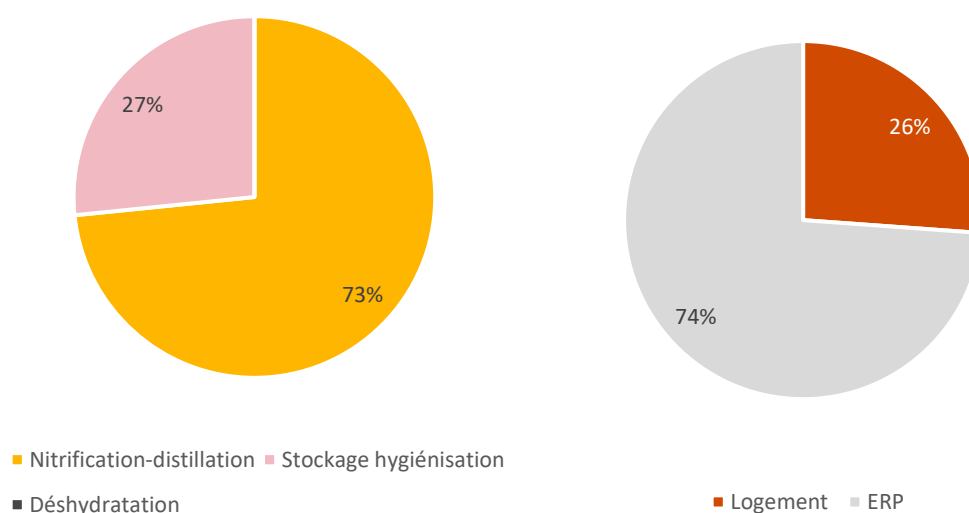


Figure 49. Origine de l'azote valorisable en 2045 : par mode de traitement (gauche) et type de bâtiment (droite).

5.3.2.2. Résultats économiques en 2035

Coûts d'investissement

Dans ce scénario, les coûts d'investissement sont estimés entre **316 et 434 millions d'euros** sur une période de **10 ans (2025-2035)**. Dans un premier temps, et avant toute éventuelle redistribution ou conception d'un modèle économique à l'échelle macro, ces investissements seraient principalement pris en charge par le **secteur de l'aménagement et de la construction** (pour l'installation des systèmes séparatifs dans les bâtiments) et/ou par **le ou les opérateur(s) de filière**, en fonction notamment de l'acteur assumant les coûts d'investissement liés aux équipements de traitement des urines par nitrification-distillation.

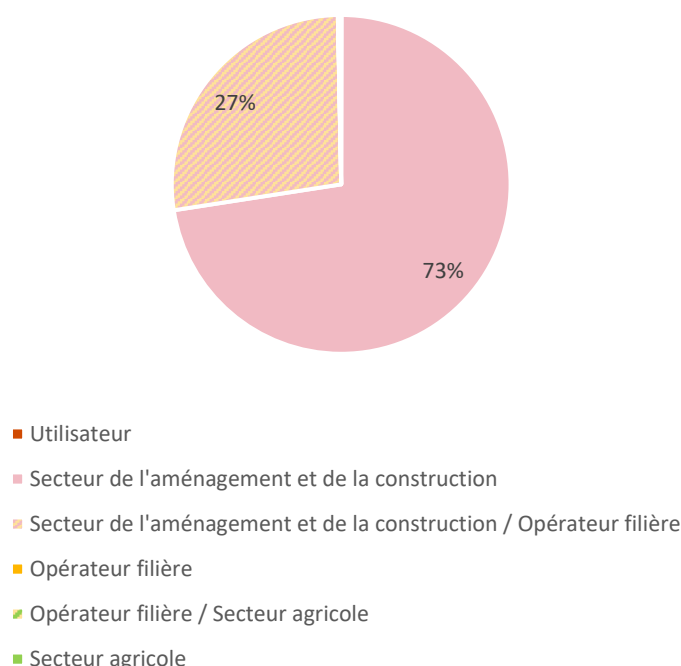


Figure 50. Acteurs assumant les coûts d'investissement en premier lieu, avant toute éventuelle distribution – scénario 2, moyenne des hypothèses haute et basse.

À l'échelle de la chaîne de valeur, l'**étape de traitement** constitue le poste de dépense le plus important, représentant **53%** des coûts totaux, suivie par l'**interface usager (25%)** et l'**étape de collecte (21%)**. Cette répartition s'explique par la prédominance des filières utilisant un **réseau gravitaire** pour la collecte, et un traitement par **nitrification-distillation** nécessitant des investissements conséquents pour la mise en place des usines de traitement. En revanche, les coûts liés aux infrastructures de **stockage** et à la mise en place des **Points d'Apport Volontaire (PAV)** restent marginaux, représentant respectivement **2% et 0,02%** des investissements totaux.

Coûts d'exploitation

En **2035**, les **coûts d'exploitation** sont estimés entre **20 et 43 millions d'euros par an**. L'**opérateur de filière** supporte la majorité des coûts (**40% à 63%**), suivi de près par les **utilisateurs** (**36% à 56%**). La part du secteur agricole est plus limitée (**1% à 5%** selon les hypothèses retenues).

En outre, les hypothèses basse et haute mettent en avant des postes de coûts dominants différents :

- Dans l'hypothèse basse, le **traitement** représente **32%** des coûts d'exploitation, suivi par l'entretien des **interfaces usagers** (23%), le **transport** (19%) et la **distribution** (18%).
- Dans l'hypothèse haute, c'est la **distribution** qui constitue la majorité des coûts d'exploitation (**39%**), suivie par l'entretien des **interfaces usagers** (22%), le **traitement** (21%) puis le **transport** (13%).

En effet, ce scénario alloue une place prépondérante aux filières de **nitrification-distillation**, qui nécessitent une étape supplémentaire de **distribution sur le marché**, contrairement aux filières **lisain**, où les urines sont directement transportées vers les exploitations agricoles après collecte, sans reconditionnement avant épandage. Or, **les coûts liés à cette phase de distribution sont très incertains** à ce stade, faute de retour d'expérience et de données disponibles sur des filières comparables.

Les autres postes de coûts restent plus modestes : la collecte représente de 4% à 6%, la valorisation agricole (coûts d'épandage) de 1% à 2%, tandis que les coûts associés aux PAV sont négligeables.

Coût d'utilisation agricole des urinofertilisants

Par rapport aux pratiques actuelles basées sur les engrais de synthèse, l'achat d'urinofertilisants pourrait générer pour les agriculteurs une **économie allant jusqu'à 376 000 euros** ou, au contraire, un **surcoût pouvant atteindre 987 000 euros**, selon le prix fixé par unité d'azote. En effet, dans l'hypothèse basse, où le lisain est proposé gratuitement et les urines nitrifiées au même prix que les engrais conventionnels (1 euro par kg d'azote), les agriculteurs réaliseraient au total une économie. À l'inverse, dans l'hypothèse haute, où le lisain est valorisé au prix des engrais conventionnels et les urines nitrifiées à un coût supérieur (2 euros par kg d'azote), l'usage d'urinofertilisants représenterait un surcoût. En intégrant ces économies ou surcoûts aux coûts d'exploitation agricoles supplémentaires pour l'épandage, l'impact net pour le secteur agricole pourrait varier **d'une réduction de 56 000 euros à une hausse pouvant atteindre 2,2 millions d'euros** par rapport aux pratiques actuelles.

Recettes potentielles

Grâce à la **vente des urinofertilisants**, les recettes pourraient osciller entre **987 000 euros et 2,4 millions d'euros**, en fonction du prix de vente fixé pour chaque type de produit fini. Comparées aux **coûts d'exploitation totaux**, ces recettes représenteraient en moyenne entre **0% et 10%** des coûts liés aux filières d'**hygiénisation**, et **6%** pour les filières de **nitrification-distillation**. Si l'on rapporte l'ensemble des recettes aux seuls **coûts d'exploitation supportés par l'opérateur de filière**, le bilan s'améliore légèrement, mais reste très limité : en moyenne, les recettes couvriraient entre **0% et 19%** des coûts pour les filières avec hygiénisation, et entre **8% et 12%** pour celles reposant sur la nitrification-distillation.

5.3.2.3. Résultats économiques en 2045

Coûts d'investissement

Dans ce scénario, les coûts d'investissement sont estimés entre **889 et 1 228 millions d'euros** sur une période de **20 ans (2025-2045)**. Dans un premier temps, et avant toute éventuelle redistribution ou conception d'un modèle économique à l'échelle macro, ces investissements seraient principalement pris en charge par le **secteur de l'aménagement et de la construction** (pour l'installation des systèmes séparatifs dans les bâtiments) et/ou par le **secteur des déchets et de l'eau**, en fonction notamment de l'acteur assumant les coûts d'investissement liés aux équipements de traitement des urines par nitrification-distillation.

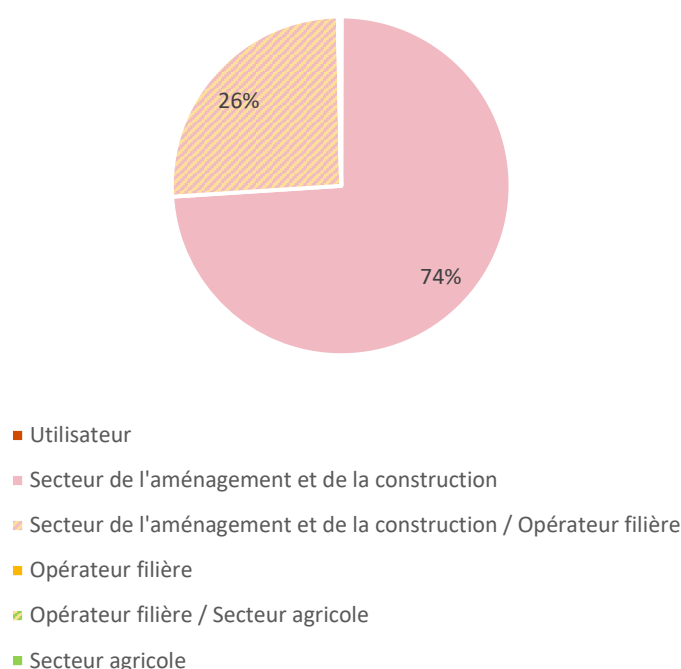


Figure 51. Acteurs assumant les coûts d'investissement en premier lieu, avant toute éventuelle distribution – scénario 2, moyenne des hypothèses haute et basse.

À l'échelle de la chaîne de valeur, l'**étape de traitement** constitue le poste de dépense le plus important, représentant **53%** des coûts totaux, suivie par les **interfaces usagers (25%)** et l'**étape de collecte (21%)**. Cette répartition s'explique par la prédominance des filières utilisant un **réseau gravitaire** pour la collecte, et un traitement par **nitrification-distillation** nécessitant des investissements conséquents pour la mise en place des usines de traitement. En revanche, les coûts liés aux infrastructures de **stockage** et à la mise en place des **Points d'Apport Volontaire (PAV)** restent marginaux, représentant respectivement **2% et 0,03%** des investissements totaux.

Coûts d'exploitation

En **2045**, une fois les filières entièrement déployées selon ce scénario, les **coûts d'exploitation** sont estimés entre **58 et 123 millions d'euros par an**. L'**opérateur de filière** supporte la majorité des coûts (**40% à 62%**), suivi de près par les **utilisateurs (37% à 55%)**. La part du secteur agricole est plus limitée (1% à 5% selon les hypothèses retenues).

En outre, les hypothèses basse et haute mettent en avant des postes de coûts dominants différents :

- Dans l'hypothèse basse, le **traitement** représente **32%** des coûts d'exploitation, suivi par l'entretien des **interfaces usagers** (24%), le **transport** (19%) et la **distribution** (18%).
- Dans l'hypothèse haute, c'est la **distribution** qui constitue la majorité des coûts d'exploitation (**39%**), suivie par l'entretien des **interfaces usagers** (23%), le **traitement** (21%) puis le **transport** (13%).

En effet, ce scénario alloue une place prépondérante aux filières de **nitrification-distillation**, qui nécessitent une étape supplémentaire de **distribution sur le marché**, contrairement aux filières **lisain**, où les urines sont directement transportées vers les exploitations agricoles après collecte, sans reconditionnement avant épandage. Or, **les coûts liés à cette phase de distribution sont très incertains** à ce stade, faute de retour d'expérience et de données disponibles sur des filières comparables.

Les autres postes de coûts restent plus modestes : la collecte représente 4% à 5%, la valorisation agricole (coûts d'épandage) compte pour 1 à 2% des coûts totaux, tandis que les coûts associés aux PAV sont négligeables.

Coût d'utilisation agricole des urinofertilisants

Par rapport aux pratiques actuelles basées sur les engrais de synthèse, l'achat d'urinofertilisants pourrait générer pour les agriculteurs une **économie allant jusqu'à 1,1 million d'euros** ou, au contraire, un **surcoût pouvant atteindre 2,9 millions d'euros**, selon le prix fixé par unité d'azote. En effet, dans l'hypothèse basse, où le lisain est proposé gratuitement et les urines nitrifiées au même prix que les engrais conventionnels (1 euro par kg d'azote), les agriculteurs réaliseraient au total une économie. À l'inverse, dans l'hypothèse haute, où le lisain est valorisé au prix des engrais conventionnels et les urines nitrifiées à un coût supérieur (2 euros par kg d'azote), l'usage d'urinofertilisants représenterait un surcoût. En intégrant ces économies ou surcoûts aux coûts d'exploitation agricoles supplémentaires pour l'épandage, l'impact net pour le secteur agricole varierait entre **une réduction de 177 000 euros et une augmentation de 6,5 millions d'euros** par rapport aux pratiques actuelles.

Recettes potentielles

Grâce à la **vente des urinofertilisants**, les recettes pourraient osciller entre **2,9 et 6,8 millions d'euros**, en fonction du prix de vente fixé pour chaque type de produit fini. Comparées aux **coûts d'exploitation totaux**, ces recettes représenteraient en moyenne entre **0% et 10%** des coûts liés aux filières d'**hygiénisation**, et **6%** pour les filières de **nitrification-distillation**. Si l'on rapporte l'ensemble des recettes aux seuls **coûts d'exploitation supportés par l'opérateur de filière**, le bilan s'améliore légèrement, mais reste très limité : en moyenne, les recettes couvriraient entre **0% et 18%** des coûts pour les filières avec hygiénisation, et entre **8% et 12%** pour celles reposant sur la nitrification-distillation.

5.3.3. Scénario 3 : « Vers une collecte d'urines et une fabrication d'urinofertilisants massifiées »

5.3.3.1. Caractérisation du scénario

Ce scénario se caractérise par une forte prévalence de la filière **F5** (logements en assainissement collectif avec déploiement des WC électroménagers à partir de 2035), suivie dans une moindre mesure par la filière **F6** (grands ERP en zone dense). En 2045, elles représenteront respectivement **51% et 21% des volumes annuels d'urines collectées**. En matière de valorisation, elles contribueront à **57% et 17% des quantités d'azote** récupérées et redistribuées à l'agriculture. Alors que la filière F6 repose sur un traitement par nitrification-distillation, la filière majoritaire F5 se distingue par un **traitement par déshydratation à l'échelle individuelle**, aboutissant à la production d'urines déshydratées – bien plus concentrées que les urines nitrifiées – comme produit final.

Dans ce scénario, trois filières – **F7** (grands ERP en zones urbaine et rurale), **F8** (petits ERP en zone dense) et **F9** (petits ERP en zones urbaine et rurale) – affichent chacune des parts comprises entre **6% et 7% des flux collectés**, et entre **6% et 8% de l'azote valorisable** en agriculture. Les filières **F1** et **F2** (logements neufs ou rénovations de bâtiments entiers en zones dense et urbaine) sont limitées, représentant chacune entre 2 et 3% des quantités d'azote produits, tandis que les filières **F3** (rénovation de logements en zones dense et urbaine) et **F4** (logement en assainissement non collectif en zone rurale) sont marginales.

Au total, ce scénario permet la collecte de **1 829 572 m³ d'urines diluées par an à horizon 2045**, aboutissant à la production de **309 717 m³ de lisain**, **66 961 m³ d'urines nitrifiées concentrées**, et **46 197 m³ d'urines déshydratées**, soit **9 733 tonnes d'azote valorisables** pour l'agriculture. Cela implique un trafic annuel de **26,5 millions de kilomètres parcourus par divers véhicules** (camions, utilitaires, voitures particulières), dont **2,8 millions de kilomètres réalisés par des camions-citernes** pour le transport des urines brutes et la distribution des urines traitées.

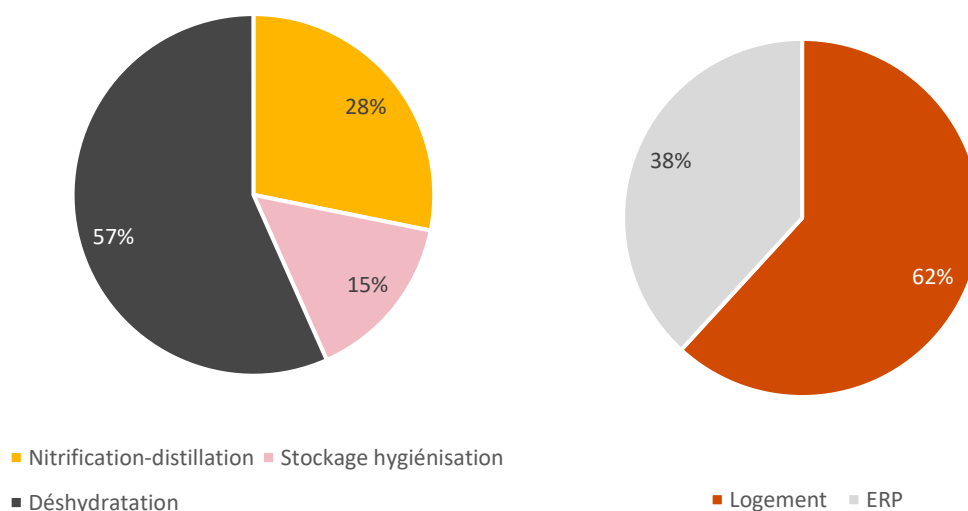


Figure 52. Origine de l'azote valorisable en 2045 : par mode de traitement (gauche) et type de bâtiment (droite).

5.3.3.2. Résultats économiques en 2035

Coûts d'investissement

Dans ce scénario, les coûts d'investissement sont estimés entre **379 et 521 millions d'euros** sur une période de **10 ans (2025-2035)**. Dans un premier temps, et avant toute éventuelle redistribution ou conception d'un modèle économique à l'échelle macro, ces investissements seraient principalement pris en charge par le **secteur de l'aménagement et de la construction** (pour l'installation des systèmes séparatifs dans les bâtiments) et/ou par **le ou les opérateur(s) de filière**, en fonction notamment de l'acteur assumant les coûts d'investissement liés aux équipements de traitement des urines par nitrification-distillation.

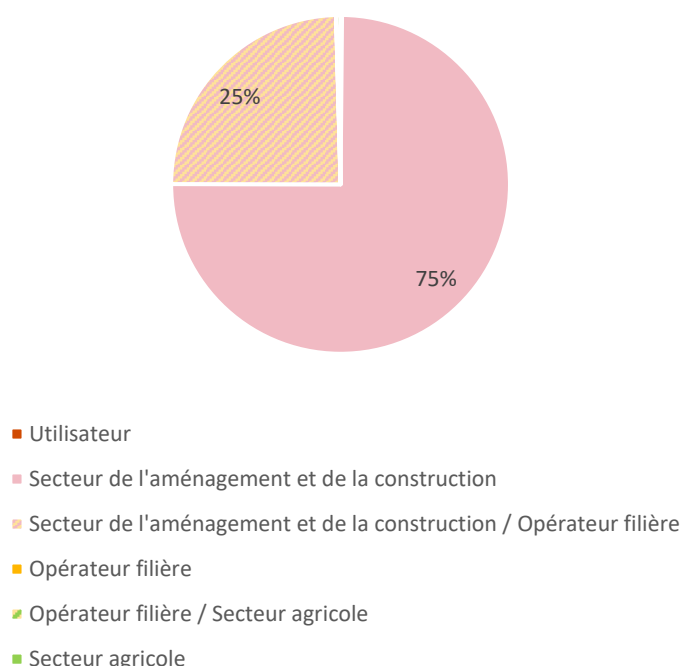


Figure 53. Acteurs assumant les coûts d'investissement en premier lieu, avant toute éventuelle distribution – scénario 3, moyenne des hypothèses haute et basse.

À l'échelle de la chaîne de valeur, l'**étape de traitement** constitue le poste de dépense le plus important, représentant **49%** des coûts totaux, suivie par l'**interface usager (25%)** et l'**étape de collecte (23%)**. Cette répartition s'explique par la prédominance des filières utilisant un **réseau gravitaire** pour la collecte, et un traitement par **nitrification-distillation** nécessitant des investissements conséquents pour la mise en place des usines de traitement (en effet, à horizon 2035, la filière de traitement par déshydratation n'est pas encore déployée). En revanche, les coûts liés aux infrastructures de **stockage** et à la mise en place des **Points d'Apport Volontaire (PAV)** restent marginaux, représentant respectivement **2% et 0,02%** des investissements totaux.

Coûts d'exploitation

En **2035**, les **coûts d'exploitation** sont estimés entre **25 et 51 millions d'euros par an**. L'**opérateur de filière** supporte la majorité des coûts (**40% à 62%**), suivi de près par les **utilisateurs (37% à 54%)**. La part du secteur agricole est plus limitée (1% à 6% selon les hypothèses retenues).

En outre, les hypothèses basse et haute mettent en avant des postes de coûts dominants différents :

- Dans l'hypothèse basse, le **traitement** représente **30%** des coûts d'exploitation, suivi par l'entretien des **interfaces usagers** et le **transport** (23% chacun) et la **distribution** (16%).
- Dans l'hypothèse haute, c'est la **distribution** qui constitue la majorité des coûts d'exploitation (**36%**), suivie par l'entretien des **interfaces usagers** (23%), le **traitement** (20%) puis le **transport** (15%).

En effet, ce scénario alloue, à horizon 2035, une place prépondérante aux filières de **nitrification-distillation**, qui nécessitent une étape supplémentaire de **distribution sur le marché**, contrairement aux filières **lisain**, où les urines sont directement transportées vers les exploitations agricoles après collecte, sans reconditionnement avant épandage. Or, **les coûts liés à cette phase de distribution sont très incertains** à ce stade, faute de retour d'expérience et de données disponibles sur des filières comparables.

Les autres postes de coûts restent plus modestes : la collecte représente de 5% à 6%, la valorisation agricole (coûts d'épandage) de 1% à 2%, tandis que les coûts associés aux PAV sont négligeables.

Coût d'utilisation agricole des urinofertilisants

Par rapport aux pratiques actuelles basées sur les engrais de synthèse, l'achat d'urinofertilisants pourrait générer pour les agriculteurs une **économie allant jusqu'à 634 000 euros** ou, au contraire, un **surcoût pouvant atteindre 1,1 million d'euros**, selon le prix fixé par unité d'azote. En effet, dans l'hypothèse basse, où le lisain est proposé gratuitement et les urines nitrifiées au même prix que les engrais conventionnels (1 euro par kg d'azote), les agriculteurs réaliseraient au total une économie. À l'inverse, dans l'hypothèse haute, où le lisain est valorisé au prix des engrais conventionnels et les urines nitrifiées à un coût supérieur (2 euros par kg d'azote), l'usage d'urinofertilisants représenterait un surcoût. En intégrant ces économies ou surcoûts aux coûts d'exploitation agricoles supplémentaires pour l'épandage, l'impact net pour le secteur agricole pourrait varier **d'une réduction de 135 000 euros à une hausse pouvant atteindre 3,1 millions d'euros** par rapport aux pratiques actuelles.

Recettes potentielles

Grâce à la **vente des urinofertilisants**, les recettes pourraient osciller entre **1,1 et 2,8 millions d'euros**, en fonction du prix de vente fixé pour chaque type de produit fini. Comparées aux **coûts d'exploitation totaux**, ces recettes représenteraient en moyenne entre **0% et 10%** des coûts liés aux filières d'**hygiénisation**, et **6%** pour les filières de **nitrification-distillation**. Si l'on rapporte l'ensemble des recettes aux seuls **coûts d'exploitation supportés par l'opérateur de filière**, le bilan s'améliore légèrement, mais reste très limité : en moyenne, les recettes couvriraient entre **0% et 19%** des coûts pour les filières avec hygiénisation, et entre **8% et 12%** pour celles reposant sur la nitrification-distillation.

5.3.3.3. Résultats économiques en 2045

Coûts d'investissement

Dans ce scénario, les coûts d'investissement sont estimés entre **2,9 et 5,4 milliards d'euros** sur une période de **20 ans (2025-2045)**. Dans un premier temps, et avant toute éventuelle redistribution ou mise en place d'un modèle économique à l'échelle macro, ces investissements seraient principalement supportés par les **utilisateurs**, qui prendraient en charge entre 71% et 77% des coûts (liés notamment à l'installation de WC électroménagers dans les logements à compter de 2035). Cependant, ces estimations doivent être interprétées avec prudence, car les WC électroménagers ne sont pas encore disponibles sur le marché. Les hypothèses retenues restent donc larges et pourraient s'éloigner de la réalité future.

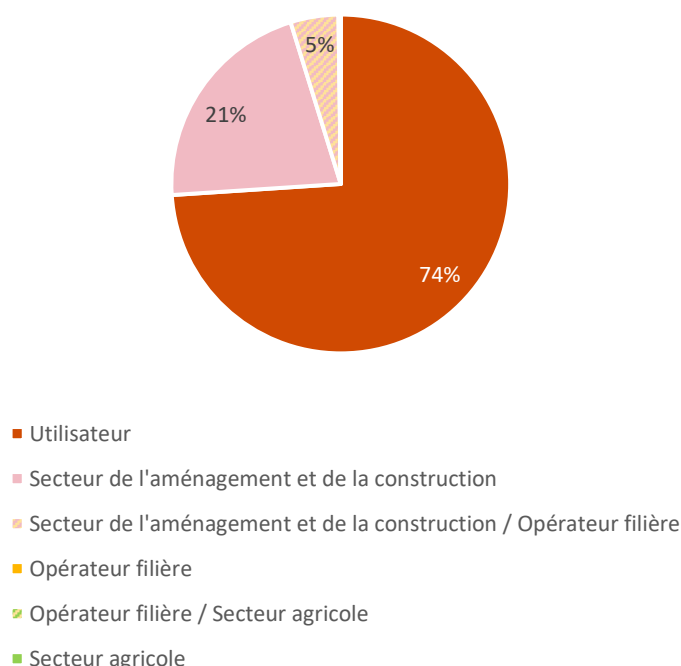


Figure 54. Acteurs assumant les coûts d'investissement en premier lieu, avant toute éventuelle distribution – scénario 3, moyenne des hypothèses basse et haute.

À l'échelle de la chaîne de valeur, l'**interface usager** représente le poste de dépense le plus important, avec **77 à 83%** des coûts totaux, suivi par le traitement (11 à 15%) et la collecte (5 à 7%). Cette répartition s'explique principalement par la prédominance de la filière des WC électroménagers, dont le coût inclut non seulement l'interface usager, mais aussi l'investissement nécessaire pour le traitement par déshydratation intégré à ces dispositifs. En revanche, les coûts liés aux infrastructures de **stockage** et à la mise en place des **Points d'Apport Volontaire (PAV)** restent marginaux, représentant respectivement **1% et 0,2%** des investissements totaux.

Coûts d'exploitation

En **2045**, une fois les filières entièrement déployées selon ce scénario, les **coûts d'exploitation** sont estimés entre **107 et 218 millions d'euros par an**. Les **utilisateurs** supportent la majorité des coûts (**51% à 65%**), suivi par l'**opérateur de filière** (31% à 49%). La part du secteur agricole est plus limitée (1% à 4% selon les hypothèses retenues).

En outre, les hypothèses basse et haute mettent en avant des postes de coûts dominants différents :

- Dans l'hypothèse basse, l'interface usager représente **48%** des coûts d'exploitation, suivi des étapes de **traitement** et de **distribution** à égalité (16%), tandis que le **transport** arrive juste après (14%).
- Dans l'hypothèse haute, les **interfaces usagers** restent en première position (**40%**), suivis par la **distribution** (**35%**), puis par le **traitement** (11%) et le **transport** (10%) dans une moindre mesure.

En effet, ce scénario accorde une place prépondérante à la filière de **déshydratation** des urines. Or, **les coûts de ce traitement sont intégrés à l'étape de l'interface usager**, expliquant ainsi la prédominance de ce poste de dépense. Toutefois, ces estimations restent hautement prospectives et incertaines. De plus, les coûts liés à la **distribution des urines nitrifiées et déshydratées** demeurent également très incertains, faute de retour d'expérience et de données disponibles sur des filières comparables.

Les autres postes de coûts restent plus modestes : l'étape de collecte représente 2 à 3% des coûts d'exploitation, les PAV de 1 à 2%, tandis que la valorisation agricole (coûts d'épandage) compte pour seulement 1% des coûts totaux.

Coût d'utilisation agricole des urinofertilisants

Par rapport aux pratiques actuelles basées sur les engrais de synthèse, l'achat d'urinofertilisants pourrait générer pour les agriculteurs une **économie allant jusqu'à 1,5 million d'euros** ou, au contraire, un **surcoût pouvant atteindre 8,2 millions d'euros**, selon le prix fixé par unité d'azote. En effet, dans l'hypothèse basse, où le lisain est proposé gratuitement et les urines nitrifiées et déshydratées au même prix que les engrais conventionnels (1 euro par kg d'azote), les agriculteurs réaliseraient au total une économie. À l'inverse, dans l'hypothèse haute, où le lisain est valorisé au prix des engrais conventionnels et les urines nitrifiées et déshydratées à un coût supérieur (2 euros par kg d'azote), l'usage d'urinofertilisants représenterait un surcoût. En intégrant ces économies ou surcoûts aux coûts d'exploitation agricoles supplémentaires pour l'épandage, l'impact net pour le secteur agricole varierait entre **une réduction de 402 000 euros et une augmentation de 13,8 millions d'euros** par rapport aux pratiques actuelles.

Recettes potentielles

Grâce à la **vente des urinofertilisants**, les recettes pourraient osciller entre **8,2 et 18 millions d'euros**, en fonction du prix de vente fixé pour chaque type de produit fini. Comparées aux **coûts d'exploitation totaux**, ces recettes représenteraient en moyenne entre **0% et 11%** des coûts liés aux filières d'**hygiénisation**, **6%** pour les filières de **nitrification-distillation**, et entre **11% et 12%** pour la filière de **déshydratation**. Si l'on rapporte l'ensemble des recettes aux seuls **coûts d'exploitation supportés par l'opérateur de filière**, le bilan s'améliore légèrement, mais reste très limité : en moyenne, les recettes couvriraient entre **0% et 18%** des coûts pour les filières avec hygiénisation, entre **8% et 12%** pour celles reposant sur la nitrification-distillation, et entre **32% et 56%** pour la filière de déshydratation.

5.3.4. Vue comparative des trois scénarios

Cette section propose une synthèse des coûts présentés précédemment à travers plusieurs graphiques, offrant ainsi une visualisation claire des dépenses engagées et des écarts entre les différents scénarios et filières.

5.3.4.1. Résultats économiques en 2035

À l'horizon 2035, les trois scénarios affichent des dynamiques de déploiement proches. Ils ciblent des territoires comparables et reposent majoritairement sur les mêmes filières technologiques, notamment celles avec traitement par nitrification-distillation, ce qui entraîne des niveaux de coûts similaires, tant en investissement qu'en exploitation. Le scénario 3, un peu plus ambitieux, se distingue par des taux de déploiement légèrement plus élevés, sans modifier les zones ni les technologies mobilisées. **Par conséquent, les résultats économiques à 2035 – coûts globaux, coût par unité d'azote valorisé, répartition des charges entre acteurs – sont très proches d'un scénario à l'autre, et ne permettent donc pas de les différencier ou d'en privilégier un sur la seule base économique.**

Comparaison des coûts d'investissement totaux (2025-2035) par scénario et filière

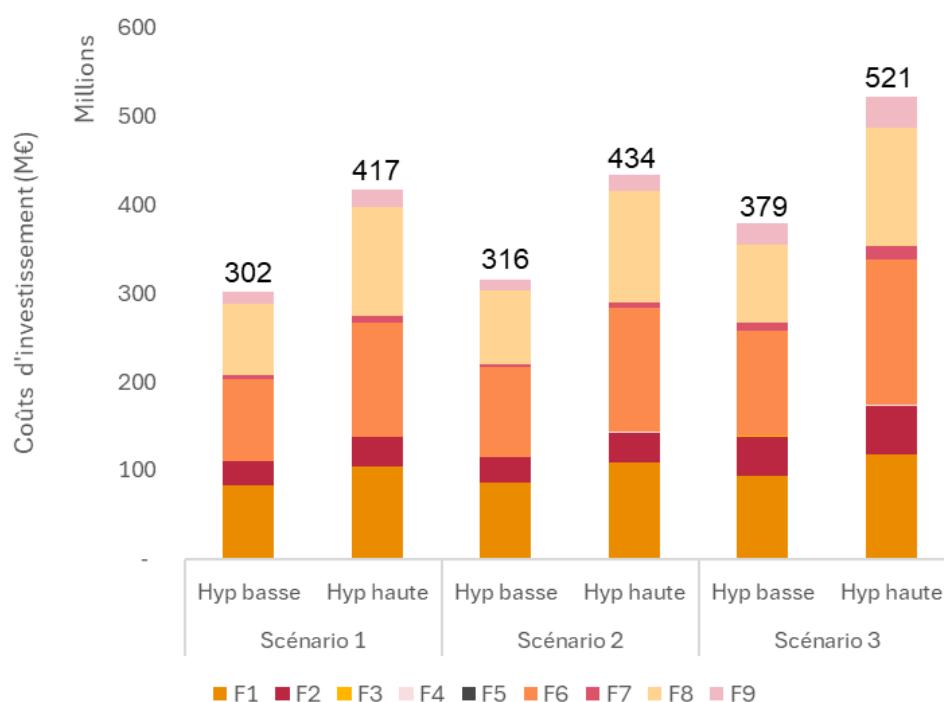


Figure 55. Coûts d'investissement sur 10 ans (en millions d'euros), répartis par filière pour chaque scénario⁴³.

Mise en perspective des coûts d'investissement sur 10 ans

⁴³ **Note** : les filières avec traitement par nitrification-distillation sont celles de couleurs orangées (F1, F3, F6 et F8), tandis que les filières avec traitement par stockage-hygiénisation sont celles de couleurs rosées (F2, F4, F7, F9).

Un investissement d'environ **400 millions d'euros sur 10 ans** serait requis selon les différents scénarios de déploiement envisagés. Rapporté à une base annuelle, cela représente **environ 40 millions d'euros par an**. À titre de comparaison :

- Ce montant correspond à **environ 10% des investissements annuels** du SIAAP, qui s'élevaient à **441,4 M€ en 2023**⁴⁴ ;
- Il équivaut également au **tiers des paiements annuels versés aux exploitations agricoles d'Île-de-France** au titre de la **Politique agricole commune**, soit **121 M€ en 2024**⁴⁵.

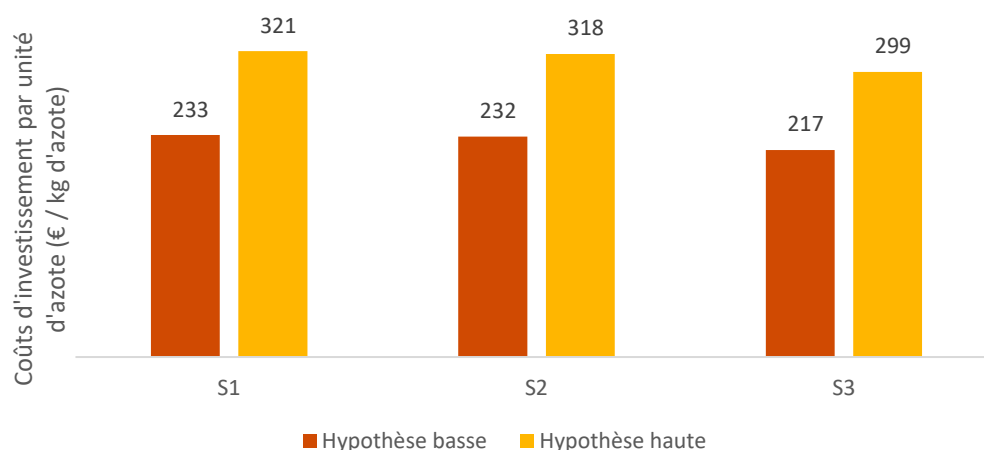


Figure 56. Coûts d'investissement rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture.

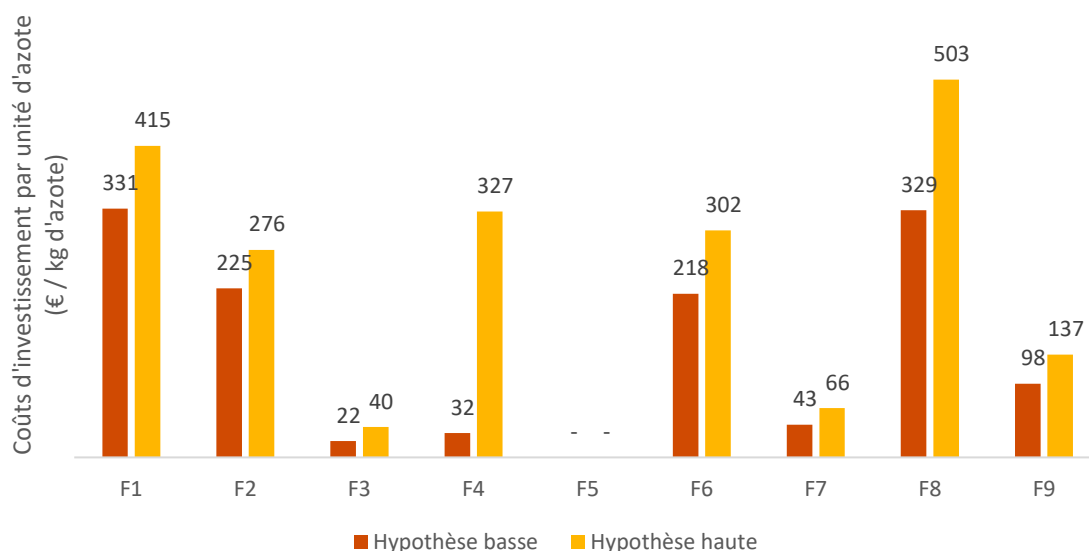


Figure 57. Coûts d'investissement rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture pour les différentes filières (en €/kg d'azote) sur la période 2025-2035.

⁴⁴ SIAAP. Rapport d'activité et de développement durable 2023 [\[en ligne\]](#). Consulté le 2 juin 2025

⁴⁵ Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. *Paiements du 16 octobre 2023 au 15 octobre 2024*. Télépac – Publication des bénéficiaires d'aides PAC [\[en ligne\]](#). Consulté le 2 juin 2025

Comparaison des coûts d'exploitation en 2035 par scénario et filière

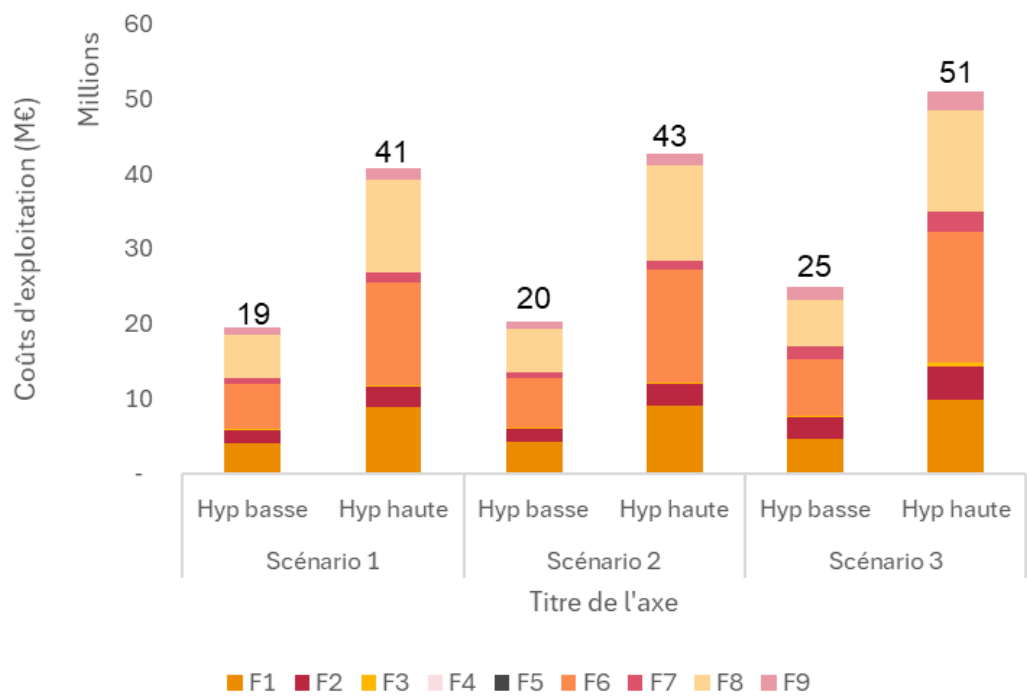


Figure 58. Coûts d'exploitation en 2035 (en millions d'euros) répartis par filière pour chaque scénario.

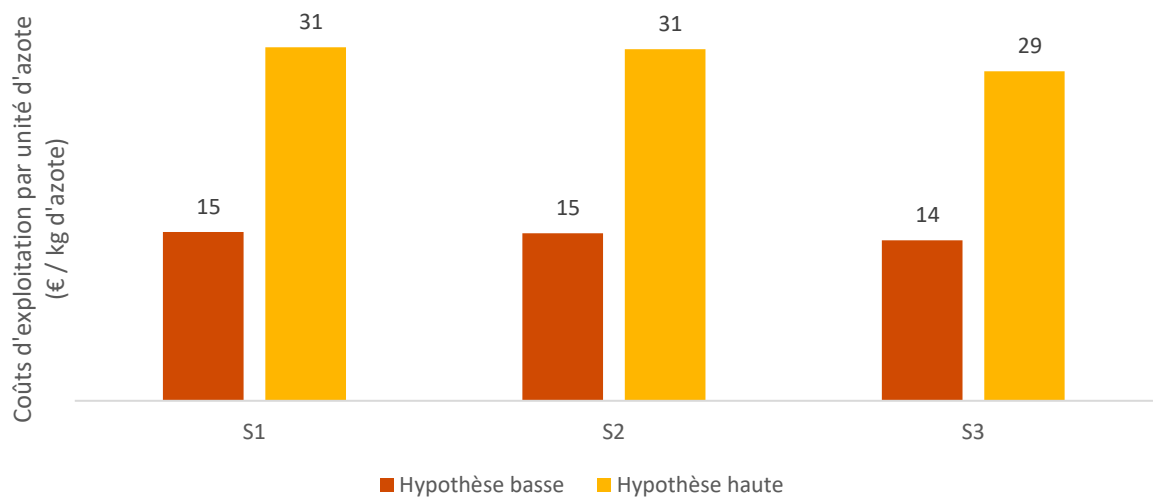


Figure 59. Coûts d'exploitation en 2035 rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture.

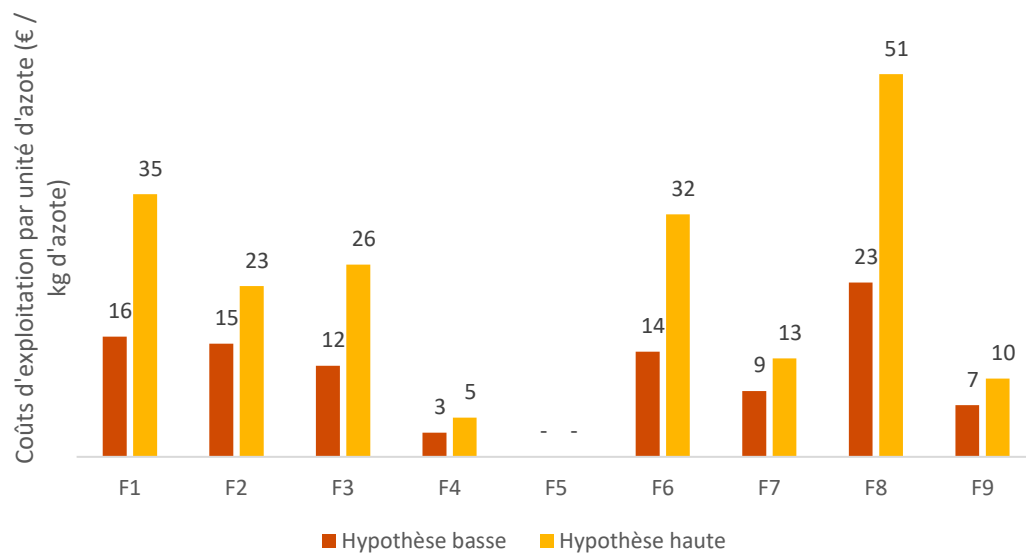


Figure 60. Coûts d'exploitation en 2035 rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture selon les filières.

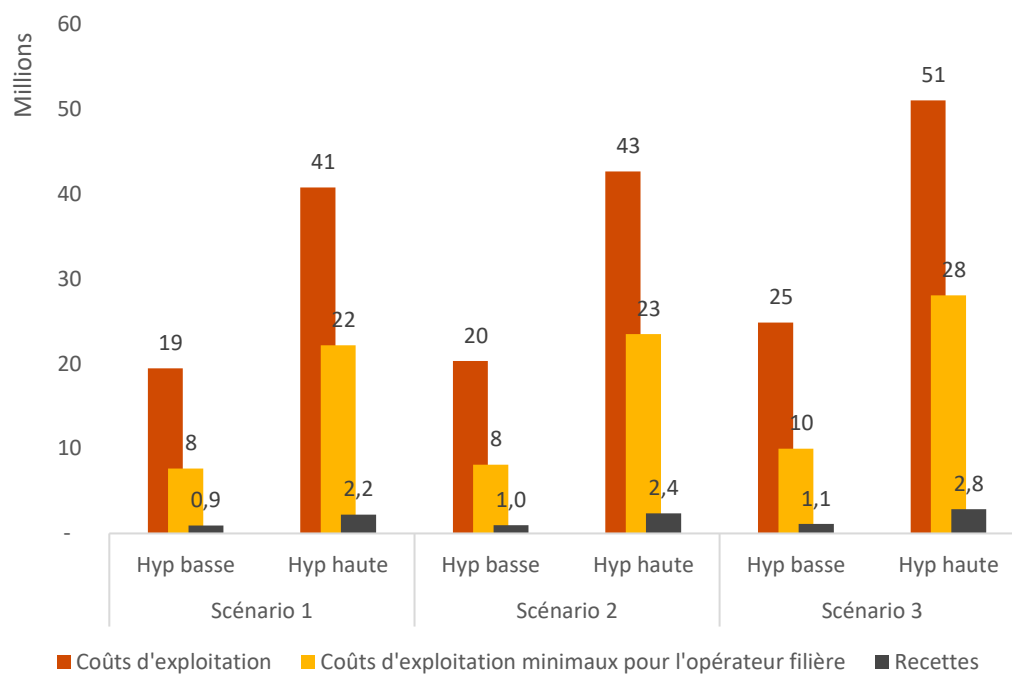


Figure 61. Coûts d'exploitation en 2035 et recettes potentielles en 2035 (en millions d'euros).

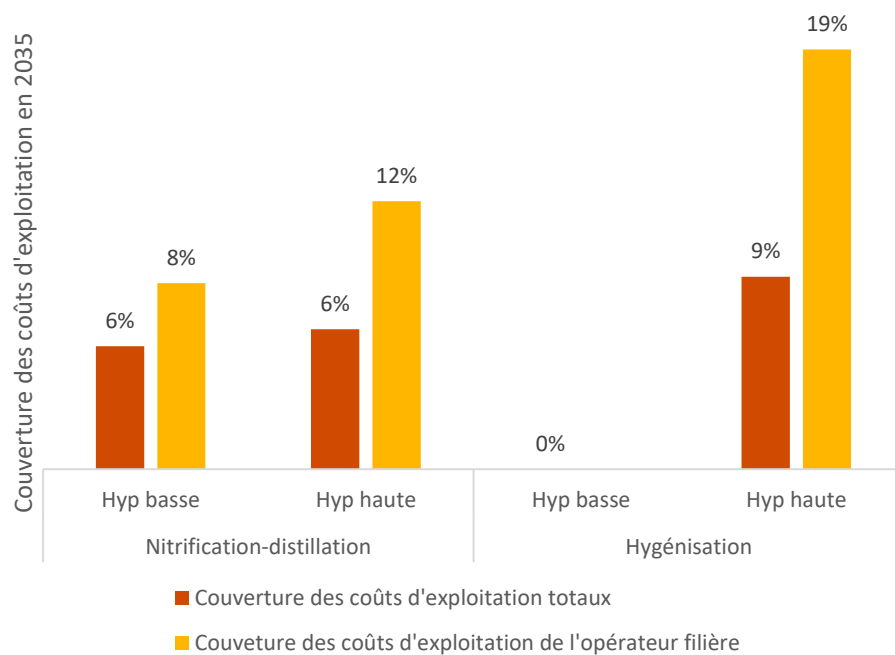


Figure 62. Part des coûts d'exploitation couverte par les recettes en 2035, selon les types de filière et de traitement.

Comparaison des caractéristiques de chaque scénario

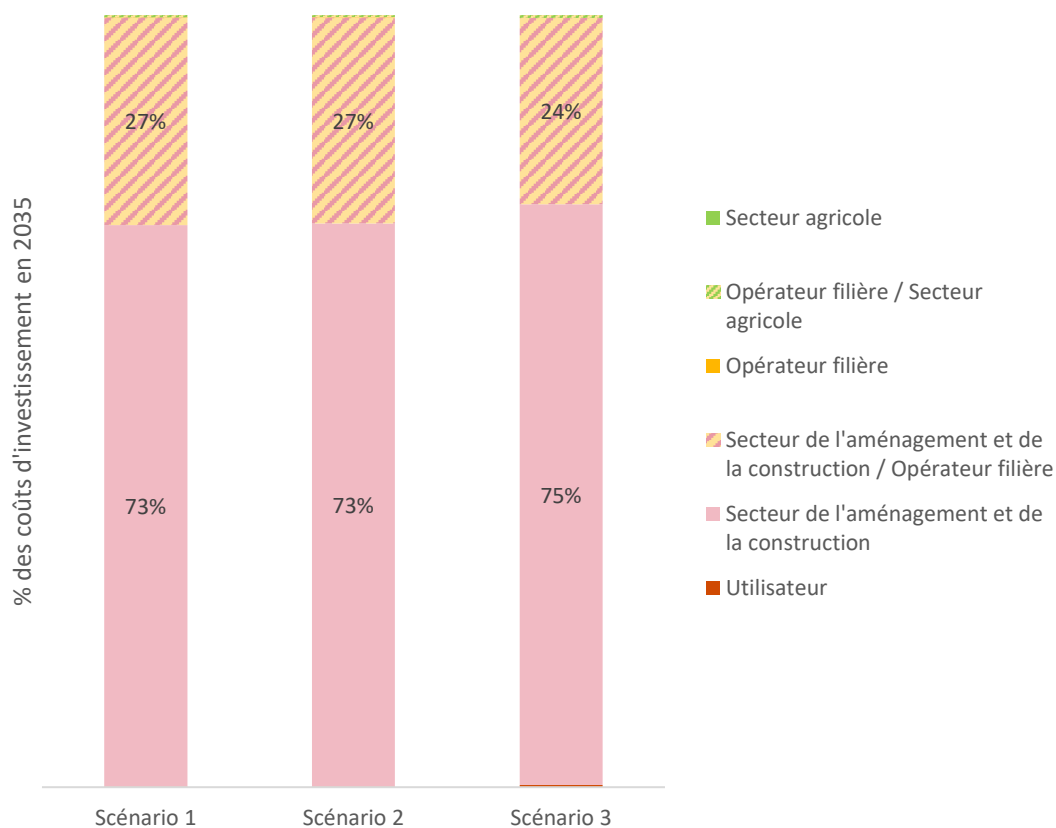


Figure 63. Répartition moyenne des coûts d'investissement par type d'acteur pour la période 2025-2035.

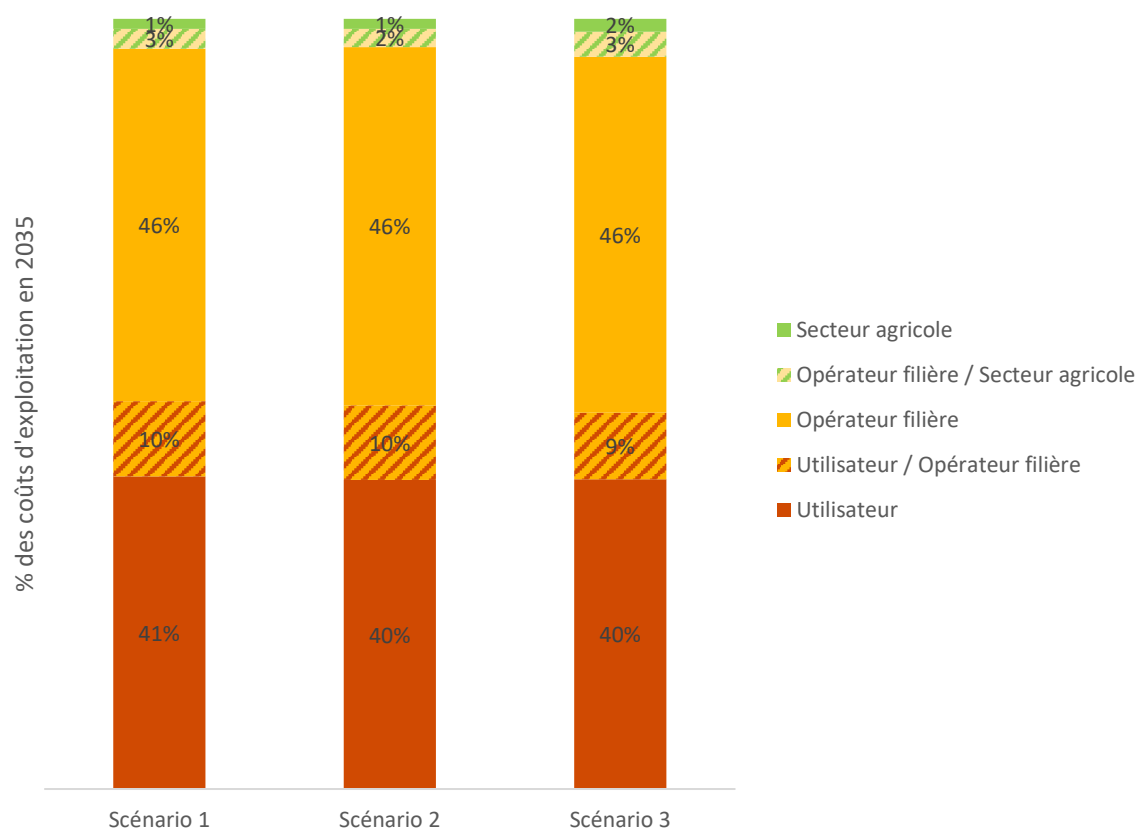


Figure 64. Répartition moyenne des coûts d'exploitation par type d'acteur pour l'année 2035.

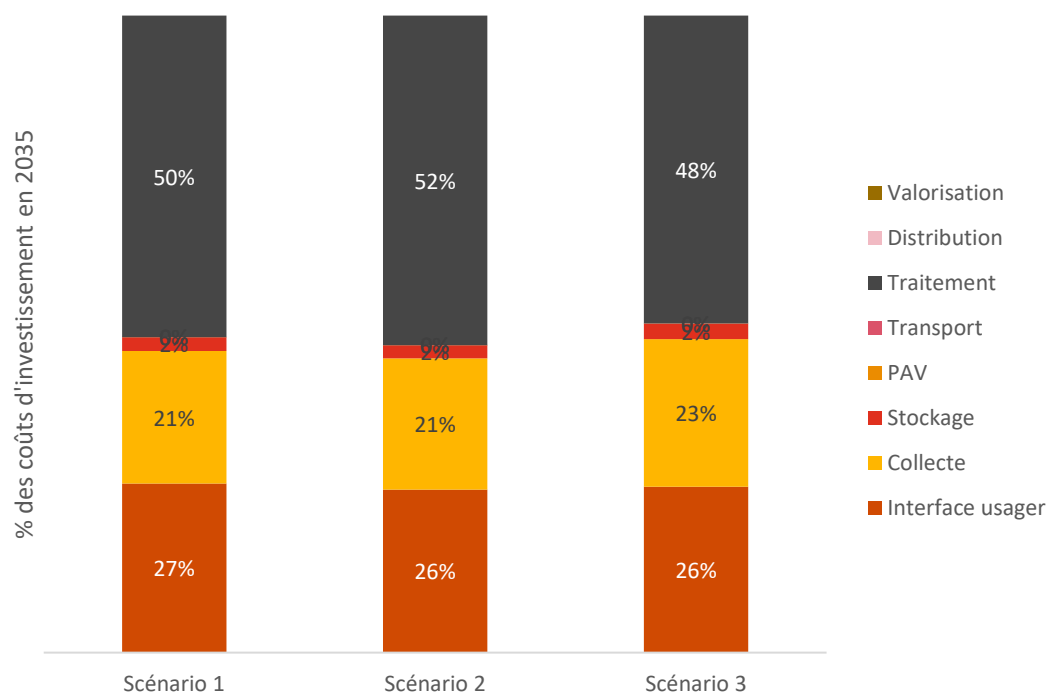


Figure 65. Répartition moyenne des coûts d'investissement par étape de la chaîne de valeur pour l'année 2035.

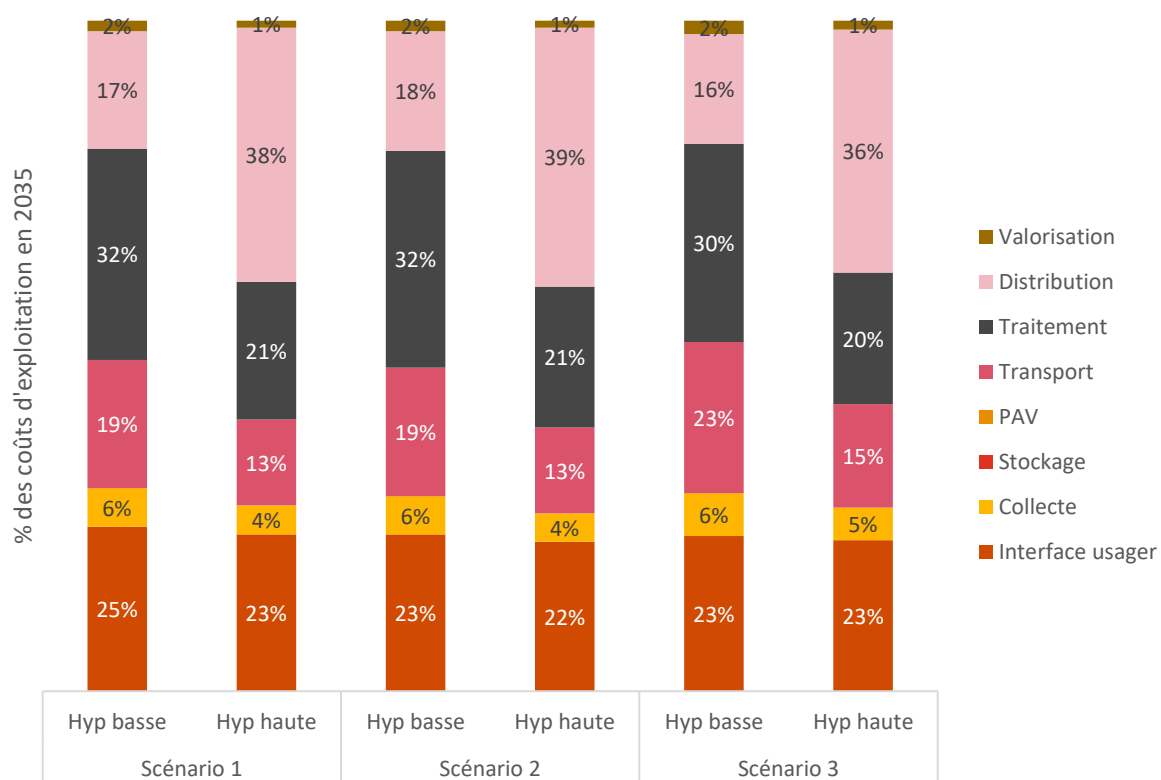


Figure 66. Répartition des coûts d'exploitation par étape de la chaîne de valeur pour l'année 2035, selon deux hypothèses de coût (basse et haute).

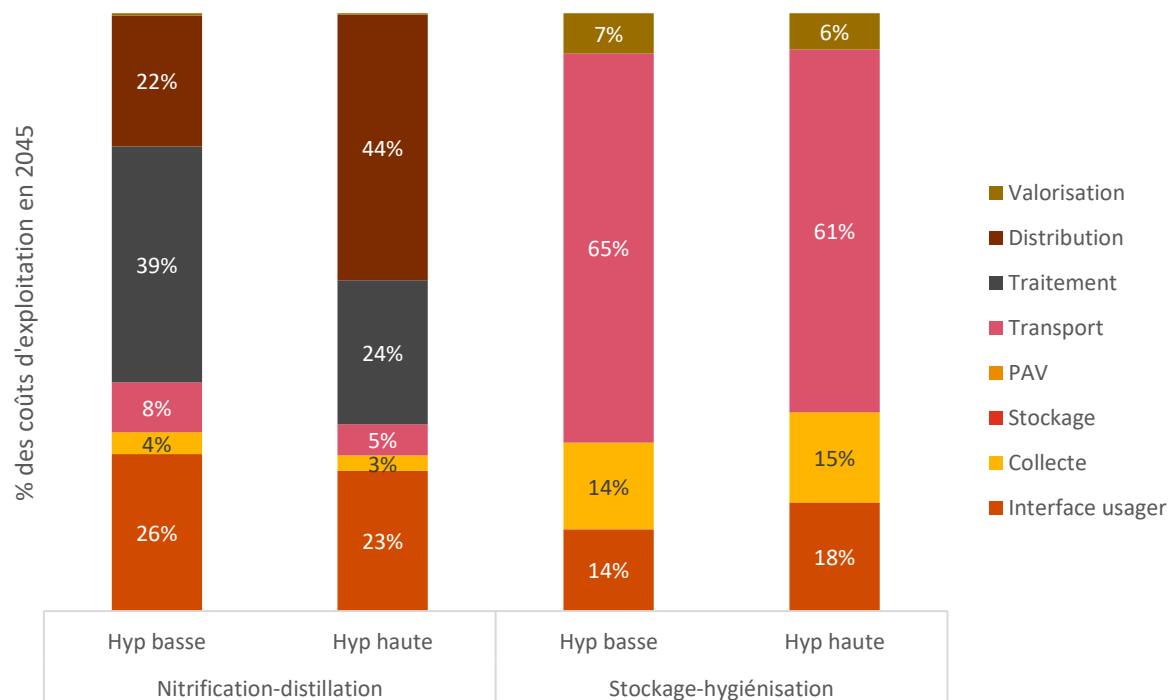


Figure 67. Répartition des coûts d'exploitation par étape de la chaîne de valeur pour l'année 2035 selon le traitement appliqué (nitrification-distillation, stockage-hygiénisation) et deux hypothèses de coût (basse et haute).

5.3.4.2. Résultats économiques en 2045

L'introduction des WC électroménagers dans le scénario 3 entraîne, à l'horizon 2045, une reconfiguration significative des équilibres établis. Ces WC innovants pourraient constituer une rupture technologique majeure, susceptible de transformer en profondeur le modèle économique de la filière, grâce à une répartition des charges sur une base plus large (les ménages). Bien qu'encore à l'état de prototype, ces dispositifs ont été envisagés dans l'exercice de scénarisation comme étant disponibles sur le marché à partir de 2035. De nombreuses incertitudes subsistent néanmoins, tant sur le plan technique qu'économique et environnemental.

Comparaison des coûts d'investissement totaux (2025-2045) par scénario et filière

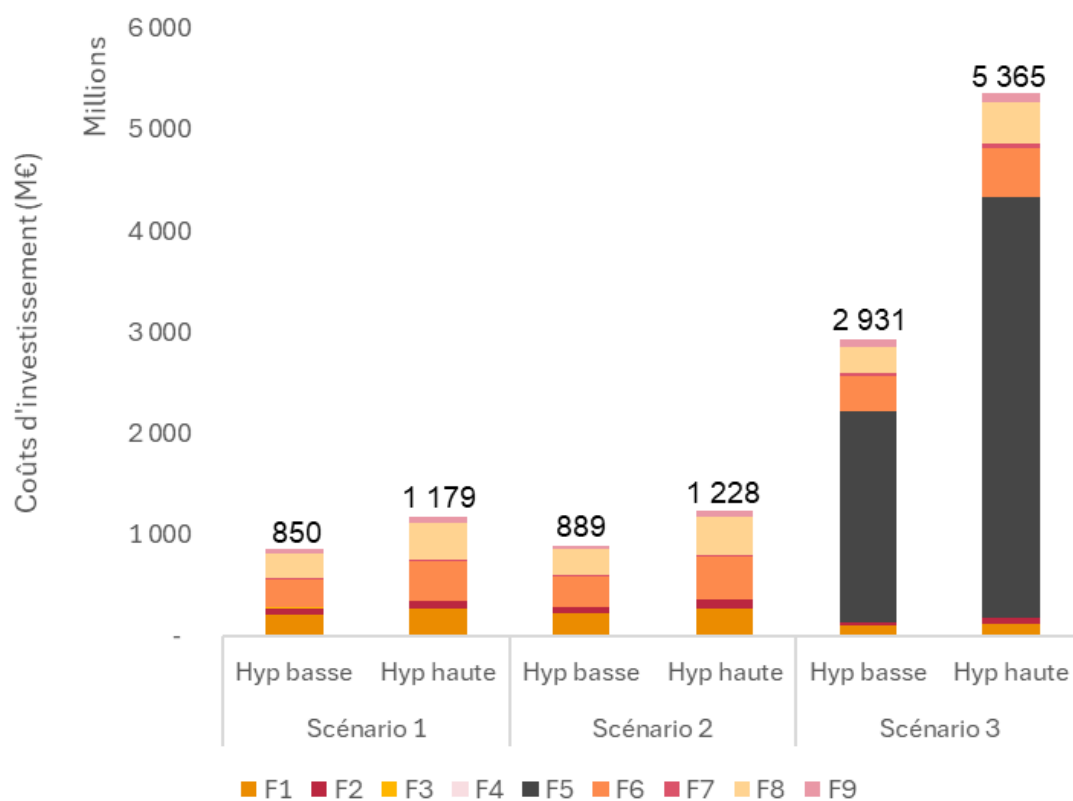


Figure 68. Coûts d'investissement globaux (en millions d'euros) répartis par filière pour chaque scénario.

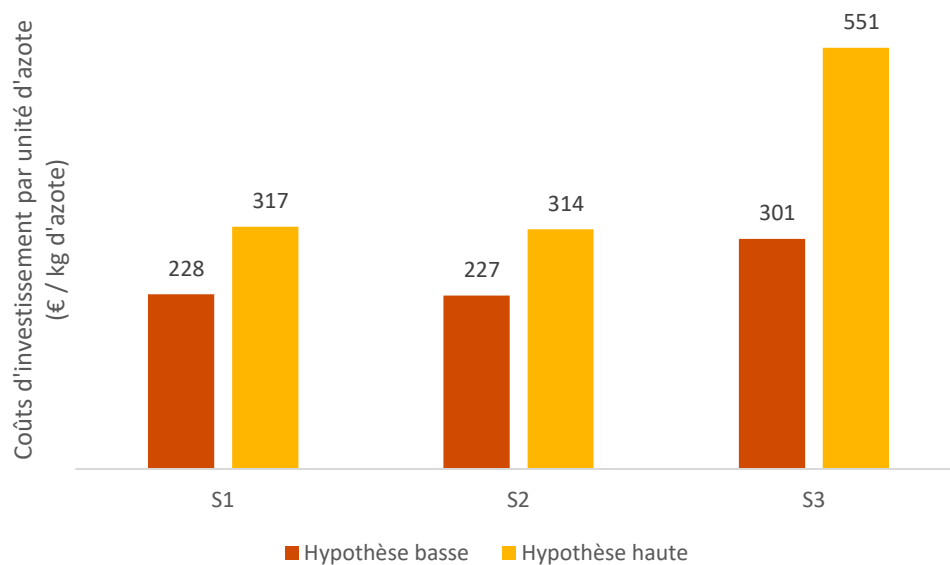


Figure 69. Coûts d'investissement rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture.

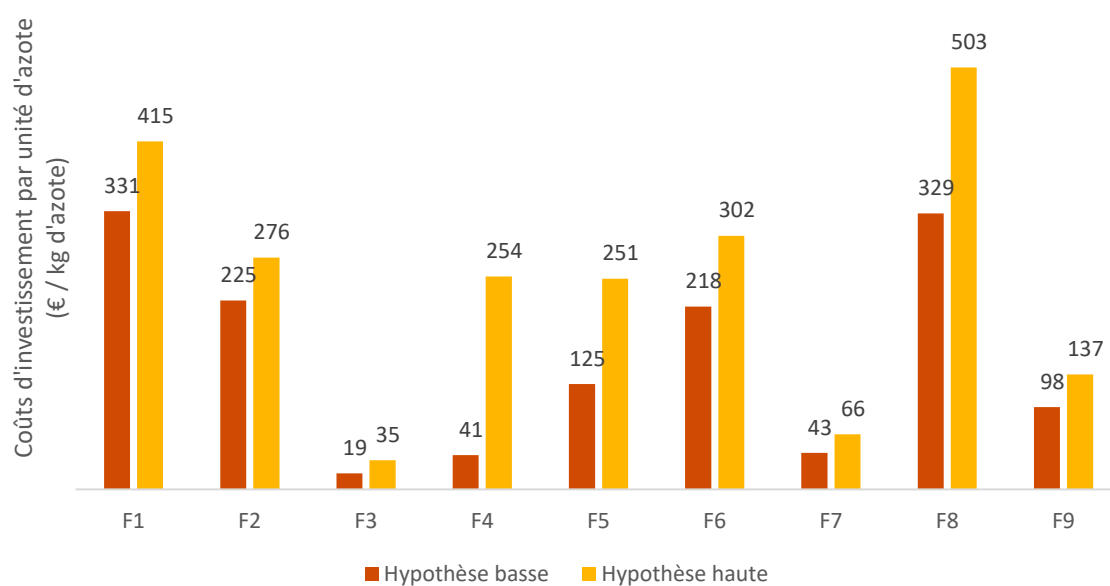


Figure 70. Coûts d'investissement rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture pour les différentes filières (en €/kg d'azote) sur la période 2025-2045.

Comparaison des coûts d'exploitation en 2045 par scénario et filière

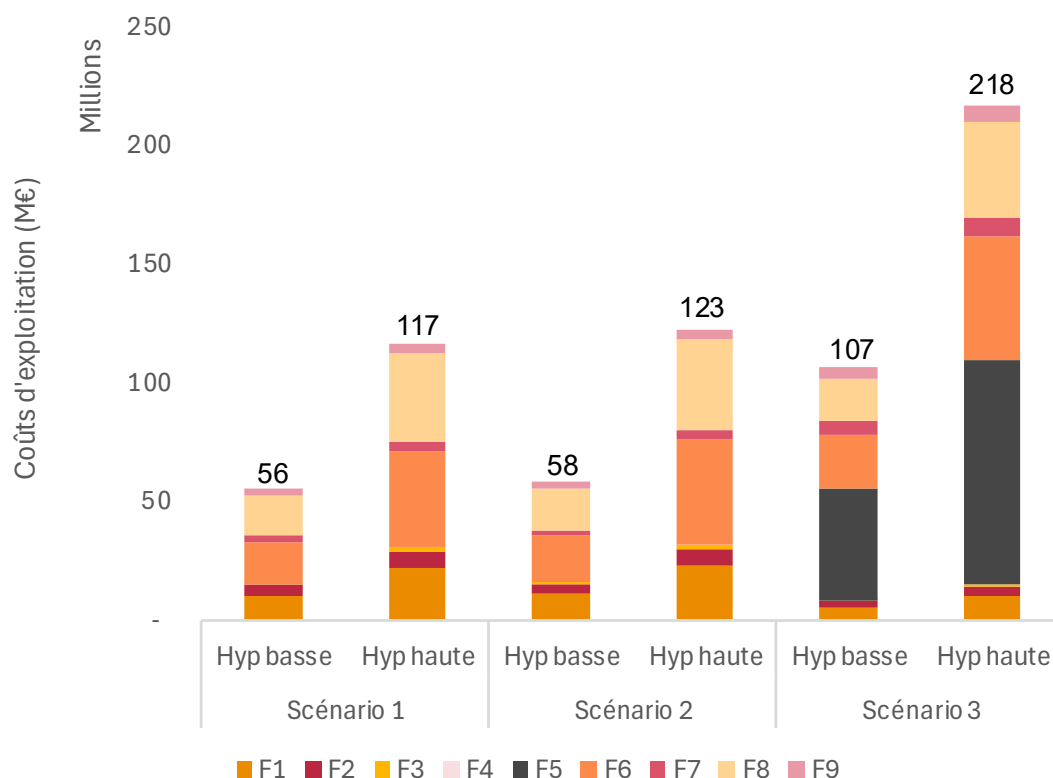


Figure 71. Coûts d'exploitation en 2045 (en millions d'euros) répartis par filière pour chaque scénario.

Comparaison des coûts d'exploitation des filières de séparation à la source des urines et de valorisation des biodéchets

Si l'ensemble des coûts d'exploitation imputés aux différentes filières de séparation à la source dans les logements (filières 1, 2, 3, 4 et 5) étaient répartis équitablement entre les habitants desservis, le coût annuel par habitant concerné serait estimé comme suit :

- **Filières de stockage-hygiénisation : entre 25 et 38 euros** par habitant concerné,
- **Filières de nitrification-distillation : entre 28 et 62 euros** par habitant concerné,
- **Filière de déshydratation : entre 18 et 35 euros** par habitant concerné.

Il est intéressant ici d'effectuer un **parallèle avec le coût du déploiement du tri à la source et de la valorisation des biodéchets des ménages**. Pour cette filière, l'étude fondatrice a été réalisée en 2017 par l'ADEME⁴⁶, et se basait sur les retours d'expérience d'un échantillon de 72 collectivités, parmi les 125 qui avaient alors déployé ce service. En 2022, de nouveaux travaux ont été conduits par le Comité Stratégique de Filière Transformation et Valorisation des Déchets (CSF TVD), avec le soutien de l'ADEME (Sage Industry)⁴⁷. Ces travaux mettent en évidence un surcoût global est de **7 à 22€/habitant/an** sur la base de différents scénarios de filière en milieu urbain et rural, essentiellement lié aux coûts de collecte et de transport.

⁴⁶ Etude technico-économique de la collecte séparée des biodéchets [en ligne]. Ademe. Novembre 2017

⁴⁷ Etude sur la collecte des biodéchets, Analyse économique de la collecte séparée et du traitement [en ligne]. Confédération des métiers de l'environnement, Conseil national de l'industrie. 7 septembre 2022

Dans le même temps, une étude de l'ADEME⁴⁸ présente les coûts complets de la collecte séparée des biodéchets pour un échantillon restreint de 30 collectivités, estimés entre 13 et 33 € HT par habitant desservi, avec une **médiane de 23,3 € HT par habitant desservi**. Avec la généralisation réglementaire du tri à la source des biodéchets début 2024, et donc la multiplication des retours d'expérience locale, la connaissance des conditions économique de la filière devrait rapidement progresser. **Les coûts par habitant pour la collecte, la séparation et le traitement des urines dans les logements sont donc comparables, bien qu'en moyenne supérieurs, à ceux du tri à la source et de la valorisation des biodéchets.**

Par ailleurs, pour élargir la perspective à l'ensemble de la gestion des déchets, il est utile de rappeler que l'Observatoire régional des déchets (ORDIF) de l'Institut Paris Région estimait, en 2022, **le coût aidé de gestion des déchets ménagers et assimilés (DMA) à 97 € HT par habitant en Île-de-France**⁴⁹.

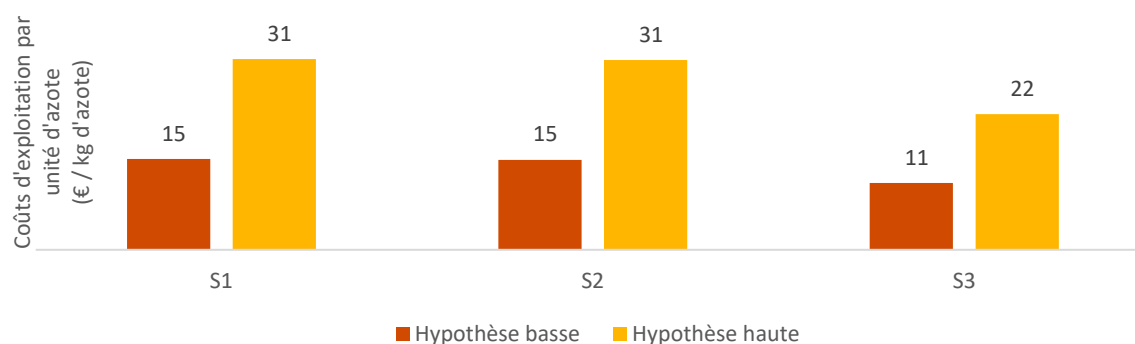


Figure 72. Coûts d'exploitation en 2045 rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture.

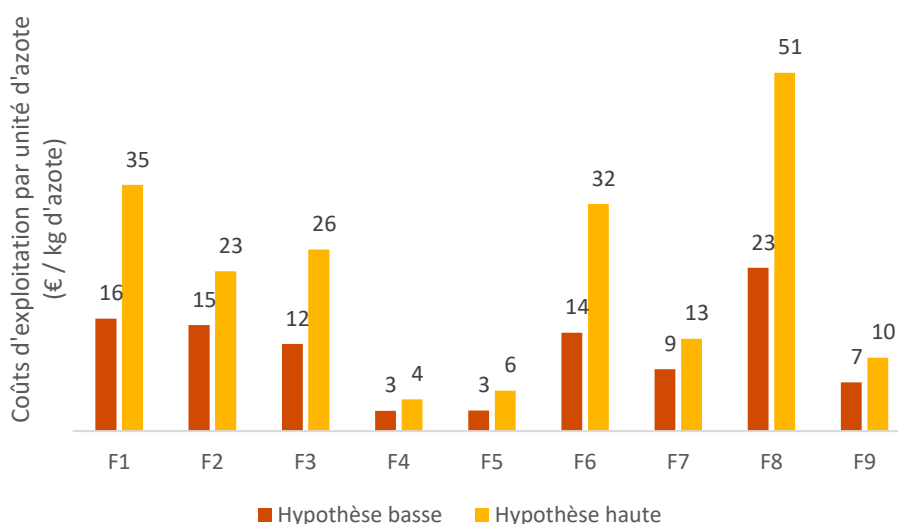


Figure 73. Coûts d'exploitation en 2045 rapportés au kg d'azote valorisable en agriculture selon les filières.

⁴⁸ Evaluation de la généralisation du tri à la source des biodéchets [en ligne]. Ademe. Octobre 2022

⁴⁹ Référentiel régional des coûts du service public de prévention et de gestion des déchets en Île-de-France [en ligne]. Ordif. 6 novembre 2024

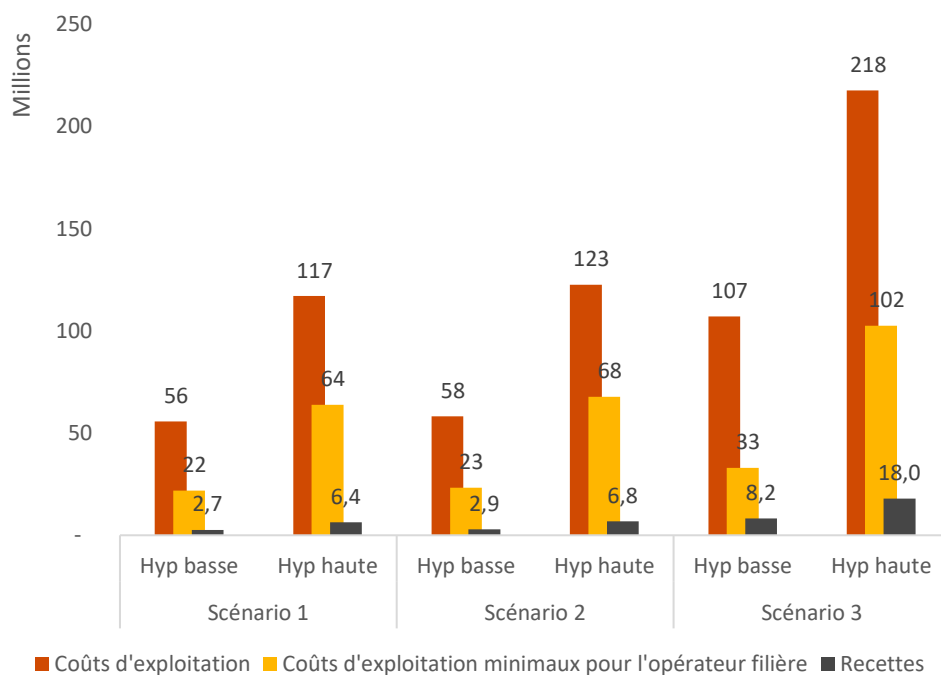


Figure 74. Coûts d'exploitation en 2045 et recettes potentielles en 2045 (en millions d'euros).

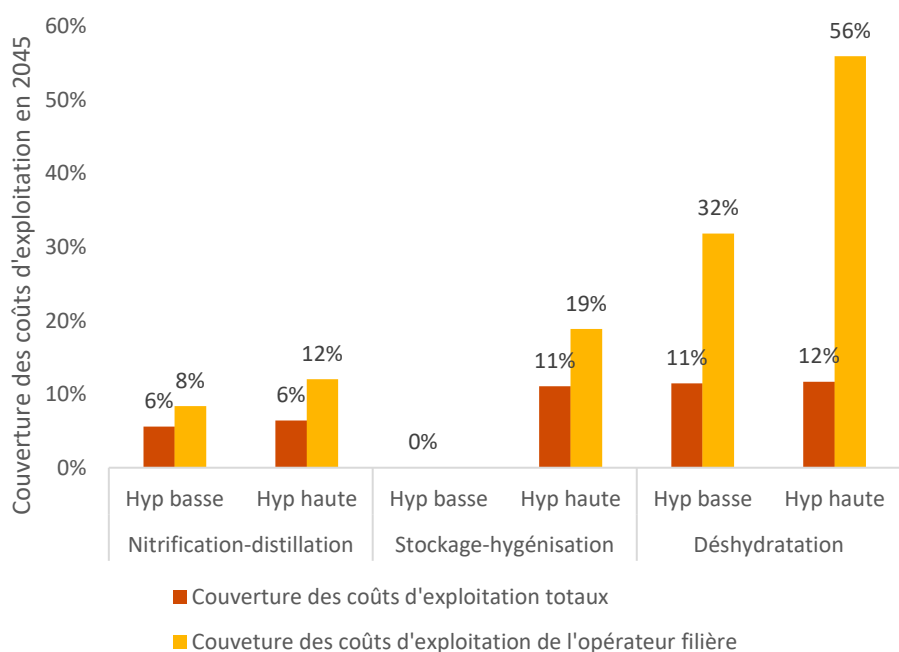


Figure 75. Part des coûts d'exploitation couverte par les recettes en 2045, selon les types de filière et de traitement.

Comparaison des caractéristiques de chaque scénario

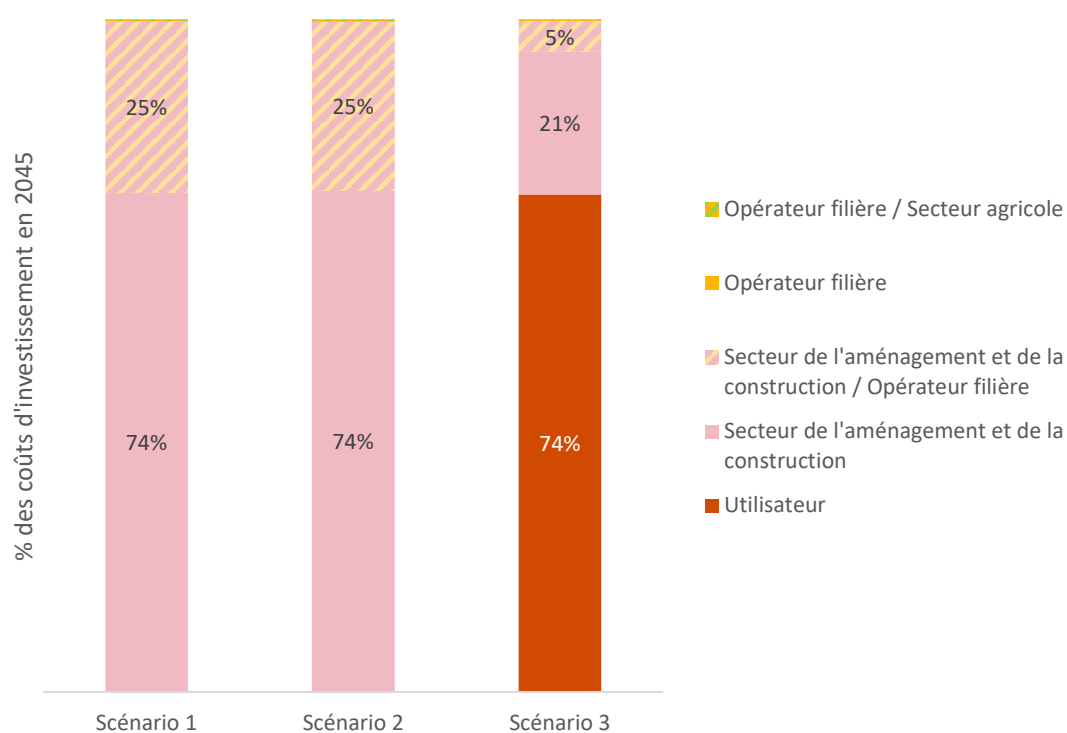


Figure 76. Répartition moyenne des coûts d'investissement par type d'acteur pour la période 2025-2045.

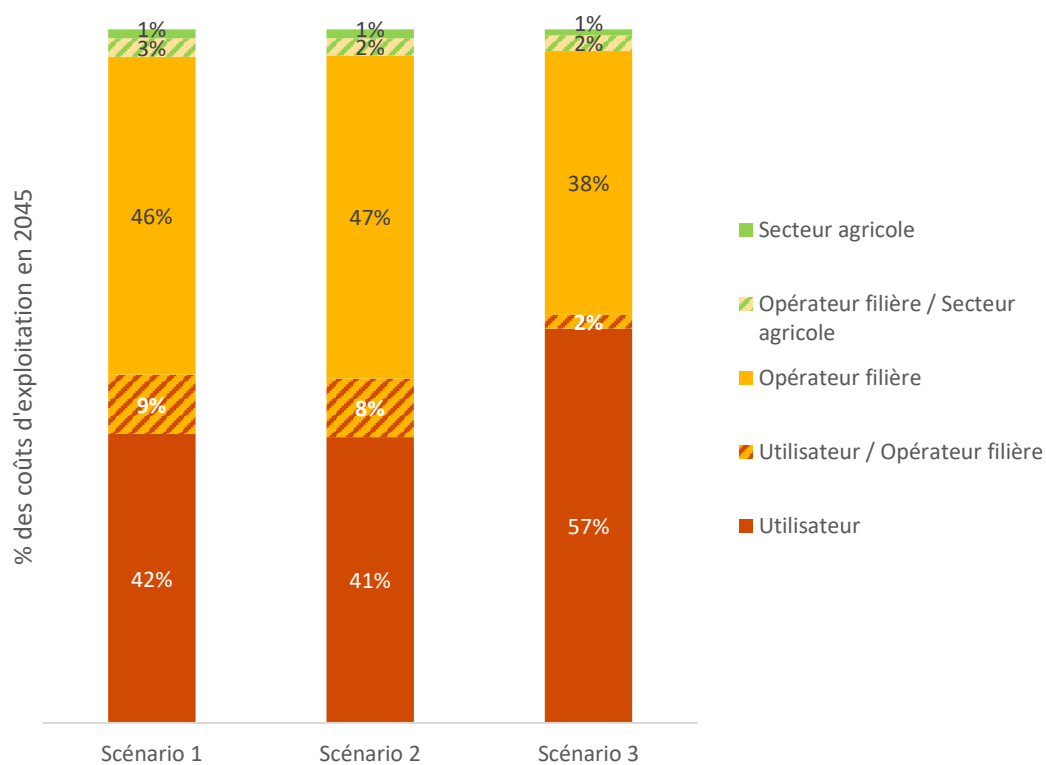


Figure 77. Répartition moyenne des coûts d'exploitation par type d'acteur pour l'année 2045.

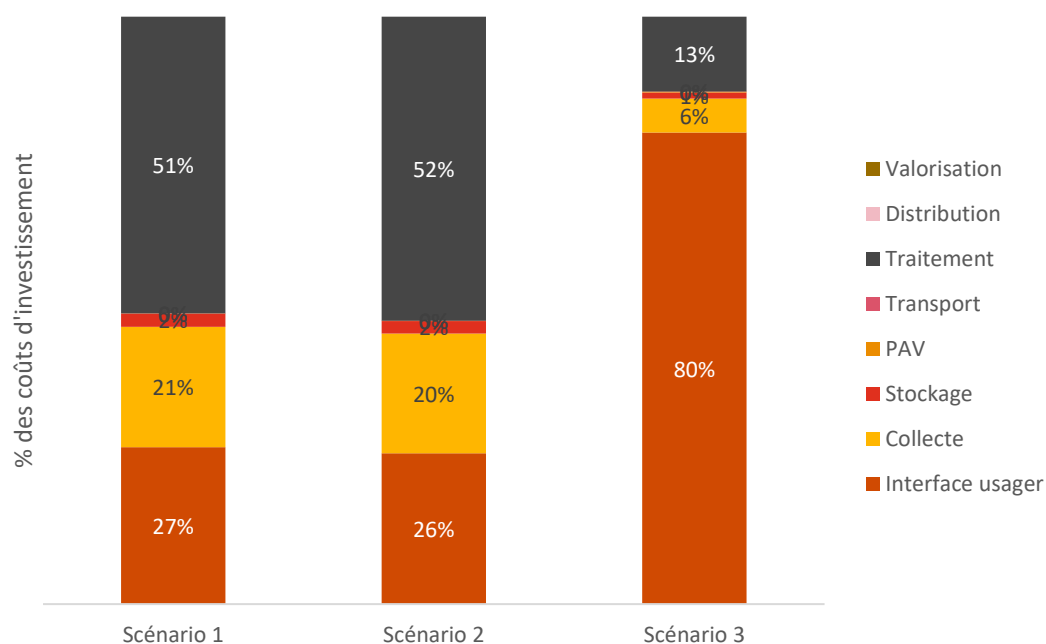


Figure 78. Répartition moyenne des coûts d'investissement par étape de la chaîne de valeur pour l'année 2045.

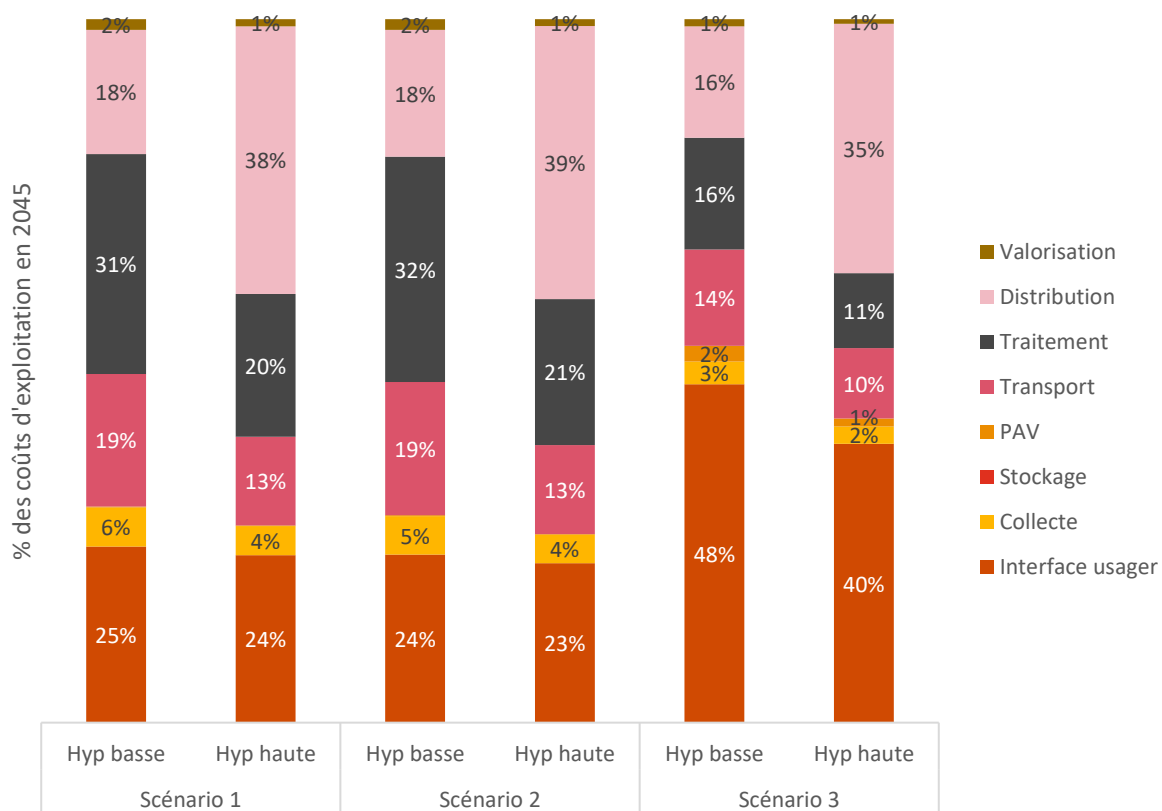


Figure 79. Répartition des coûts d'exploitation par étape de la chaîne de valeur pour l'année 2045, selon deux hypothèses ce coût (basse et haute).

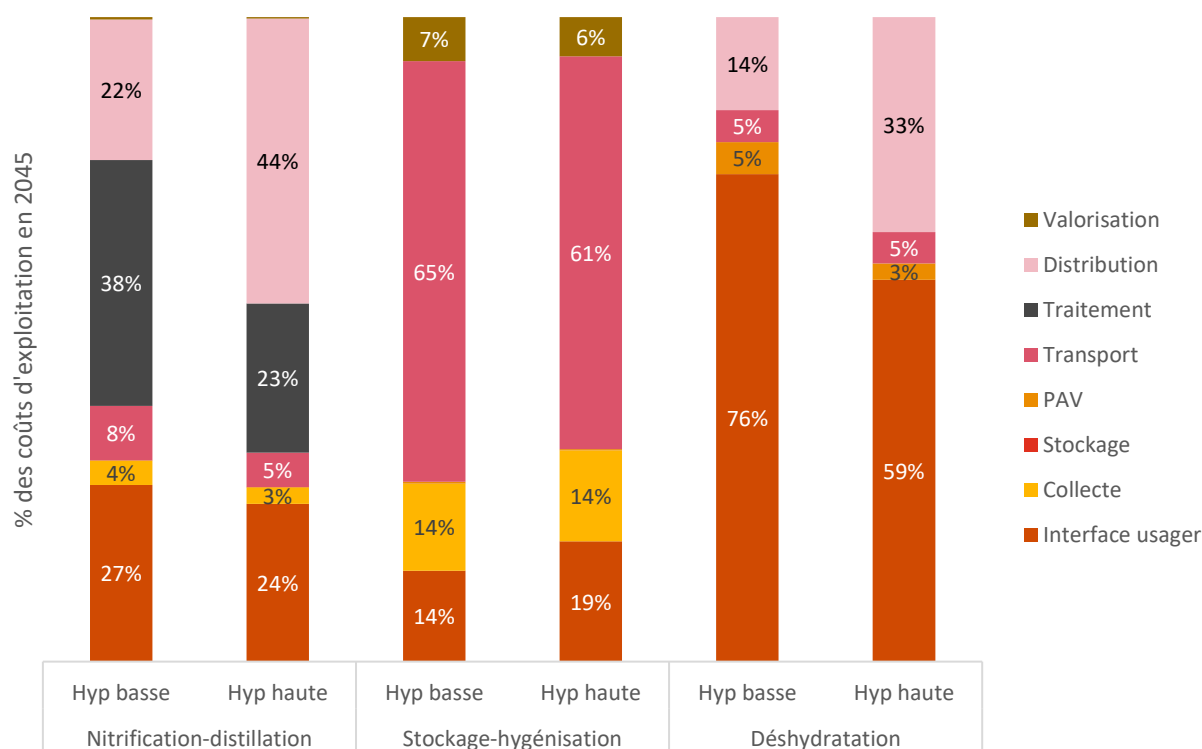


Figure 80. Répartition des coûts d'exploitation par étape de la chaîne de valeur pour l'année 2045 selon le traitement appliqué (nitrification-distillation, hygiénisation et déshydratation) et deux hypothèses de coût (basse et haute).

5.3.5. Messages clés à l'issue du chiffrage économique des scénarios

Le chiffrage économique des scénarios peut être synthétisé en quelques messages clés :

1. **Les revenus issus de la vente des urinofertilisants ne couvriraient qu'une fraction limitée des coûts d'exploitation** et ne permettraient en aucun cas de financer les investissements, et ceci quel que soit le scénario.
2. **Les scénarios 1 et 2 présentent des résultats économiques bruts similaires** en raison d'une répartition équivalente des filières. Cependant, ils **diffèrent en termes de narration stratégique**, pouvant ainsi influencer les responsabilités et les mécanismes de redistribution. Le scénario 2 repose sur le respect d'une obligation réglementaire imposée aux stations d'épuration, tandis que le scénario 1 adopte une approche plus diffuse, axée sur l'équité territoriale, susceptible de mieux résonner auprès des collectivités. Le levier de négociation le plus pertinent pour favoriser le déploiement des filières dépendra donc de l'acteur ciblé.
3. **Le scénario 3 apparaît comme pertinent d'un point de vue économique grâce à une répartition des investissements et des charges sur une base plus large (ménages), sous réserve des incertitudes techniques.** Au-delà

de la disponibilité et du prix des WC électroménagers, un facteur clé réside dans le coût et l'efficacité des circuits logistiques de récupération mis en œuvre. Ces derniers pourraient être fortement dépendants de la mutualisation avec d'autres filières (par ex. consignes, gestion d'autres déchets).

4. Bien que les coûts d'investissement puissent sembler élevés en valeur absolue, ils ne constituent pas le principal frein pour les acteurs sur le plan opérationnel (cf. retours d'expérience des premières expérimentations). **La question centrale demeure la viabilité économique et la soutenabilité de l'exploitation.**
5. **Rapporté à l'habitant concerné, les coûts d'exploitation se situent dans des ordres de grandeur comparables à ceux de la filière de tri à la source et de valorisation des biodéchets.** Quant aux coûts d'investissement, bien que significatifs, ils restent toutefois bien inférieurs aux montants investis chaque année par certains acteurs de l'assainissement (comme le SIAAP) ou à certaines aides publiques versées dans le secteur agricole (notamment dans le cadre de la Politique agricole commune aux exploitations agricoles d'Île-de-France).

Tableau 16. Comparaison des avantages et inconvénients relatifs entre les 3 scénarios à horizon 2045.

	Scénario 1 Bon état écologique	Scénario 2 Compatibilité DERU	Scénario 3 Massification
Coûts d'investissement (2025-2045)*	++	+	-
Coûts d'exploitation (2045)*	++	+	-
Coût d'investissement par unité d'azote (2025-2045)	+	+	-
Coût d'exploitation par unité d'azote (2045)	+	+	++
Couverture des coûts d'exploitation par les recettes pour l'opérateur filière (2045)	-	-	+
Charge pour les utilisateurs	+	+	-
Niveaux d'incertitude	+	+	-

*En valeur absolue, les coûts générés par les scénarios 1 et 2 sont proches.

5.4. Analyse des leviers d'équilibrage du modèle économique

5.4.1. Les moyens à disposition des maîtres d'ouvrage pour aider à financer leurs investissements

Selon la filière mise en place, le déploiement de systèmes de séparation, collecte et transformation des urines peut nécessiter des investissements considérables, pris en charge par différents maîtres d'ouvrage. L'installation de nouvelles toilettes ou d'un double réseau peut ainsi entraîner un doublement des coûts, supporté par les propriétaires des logements ou bâtiments concernés. Surtout, la mise en place d'unités de traitement des urines peut représenter plusieurs millions d'euros d'investissement. Toutefois, plusieurs dispositifs de financement existent déjà pour accompagner les maîtres d'ouvrage, et d'autres solutions pourraient être imaginées à l'avenir.

5.4.1.1. *Obtenir des subventions de la part de l'Agence de l'Eau*

En Île-de-France, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie propose des subventions conséquentes pour accompagner les maîtres d'ouvrage publics et privés dans l'installation de systèmes de séparation à la source des urines. **Pour les maîtres d'ouvrage publics, jusqu'à 80% des investissements** peuvent être pris en charge. **Les maîtres d'ouvrage privés** peuvent également bénéficier d'un soutien financier, avec **des subventions allant de 40% à 60% des investissements**, en fonction de critères tels que la taille de l'entité, le nombre d'employés ou le chiffre d'affaires. Ces subventions peuvent couvrir l'intégralité des investissements réalisés, de l'achat et l'installation de toilettes séparatives, à la mise en place d'un double réseau, l'installation de cuves de stockage et même la création d'unités de traitement. Ces taux d'intervention, fixés aux plafonds légaux, rendent ces projets plus accessibles. Grâce à ces aides, l'investissement initial n'est plus un obstacle majeur à leur déploiement.

Il convient toutefois de noter que, à ce jour, **ces aides ne s'adressent pas aux particuliers** qui voudraient remplacer leurs toilettes. De plus, leur attribution est conditionnée à un **engagement de fonctionnement sur 10 ans** des systèmes de séparation à la source des urines. Cette exigence peut représenter un frein pour les investisseurs, notamment dans un contexte où ces filières restent expérimentales et innovantes, avec une viabilité encore à consolider.

5.4.1.2. *Obtenir des subventions de la part de l'Etat*

Parmi les solutions envisageables, notamment en cas d'augmentation des demandes de subventions, diversifier les sources de financement avec des aides de l'État pourrait être une option. Cela a déjà été le cas pour le projet de l'EPA Paris-Saclay, dont 40% des investissements sont financés dans le cadre du programme "Démonstrateurs de la ville durable" de France 2030. Plus largement, l'État pourrait accorder des subventions de façon plus systématique pour soutenir ces investissements, les filières d'urinofertilisants contribuant à répondre à plusieurs enjeux nationaux :

- **Réduction des émissions de gaz à effet de serre** grâce à la substitution des engrais azotés minéraux par des fertilisants bas carbone (par exemple : subventions au titre du Fonds Vert).
- Stabilisation des prix dans le secteur agricole et production locale d'engrais, contribuant ainsi à la **souveraineté alimentaire nationale**.

Un soutien de l'Etat français pour de tels dispositifs s'inscrirait ainsi dans le cadre européen concernant les aides d'État au climat, à la protection de l'environnement et à l'énergie⁵⁰, et pourrait en ce sens être encouragé par l'Union européenne.

5.4.1.3. Mobiliser des financements auprès d'acteurs européens, nationaux et locaux

La liste des financeurs potentiels peut s'élargir à l'ensemble des institutions publiques engagées dans la transition écologique des territoires et soumises à des objectifs environnementaux ambitieux. Parmi elles :

- **La Commission européenne**, qui pourrait allouer des fonds dédiés à la transition écologique via des programmes comme Horizon Europe, LIFE, le Fonds européen de développement régional (FEDER) ou encore le Fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER).
- **L'Ademe (Agence de la transition écologique)**, qui soutient des projets innovants liés à l'économie circulaire, la gestion des déchets et la préservation des ressources naturelles.
- **FranceAgriMer**, qui intervient pour soutenir certaines filières agricoles et agroalimentaires en lien avec la transition écologique.
- **Les collectivités locales** (régions, EPCI) qui peuvent proposer des dispositifs de soutien, parfois en mobilisant des fonds européens pour cofinancer certains projets.
- **D'autres acteurs institutionnels**, comme la Banque des Territoires ou des fonds d'investissement à impact environnemental, qui peuvent être mobilisés sous certaines conditions.

Dans tous les cas, ces financements devront être considérés avant tout comme des aides ou subventions, plutôt que comme des investissements à visée lucrative, la rentabilité économique de ces projets restant très incertaine à ce stade.

5.4.2. Trois solutions pour équilibrer le modèle économique d'exploitation

Un modèle économique d'exploitation équilibré repose sur une équation simple :

$$\text{Recettes} - \text{coûts d'exploitation} + \text{subventions/financements} \geq 0.$$

Pour garantir la viabilité financière de l'exploitation, il existe donc trois solutions principales : **augmenter le chiffre d'affaires, réduire les coûts, et obtenir davantage de subventions ou financements.**

5.4.2.1. Levier n°1 : Augmenter les recettes

Le chiffre d'affaires généré par la vente d'urino-fertilisants se décompose selon l'équation suivante : **volume d'urino-fertilisants vendus × prix de vente + autres recettes**. Pour maximiser ce chiffre d'affaires, trois leviers principaux peuvent donc être actionnés :

⁵⁰ Lignes directrices de 2022 concernant les aides d'État au climat, à la protection de l'environnement et à l'énergie [en ligne]. EUR-Lex. 24 novembre 2022

augmenter les volumes vendus, ajuster à la hausse les prix de vente, ou diversifier les sources de revenus en explorant des opportunités complémentaires.

Augmenter le prix des engrais

À volumes de vente constants, une augmentation du prix des engrais entraîne mécaniquement une hausse des recettes. L'un des moyens les plus évidents pour accroître les revenus issus des urino-fertilisants est donc d'ajuster leur prix de vente à la hausse. Plusieurs arguments peuvent justifier cette stratégie, notamment en comparaison avec le marché des engrais minéraux :

- **Stabilité des prix** : Les agriculteurs accordent une grande importance à la prévisibilité des coûts, qui leur permet de planifier leur équilibre économique sur le long terme. Contrairement aux engrais minéraux, dont les prix sont fortement influencés par la volatilité des cours du gaz naturel, les urino-fertilisants reposent sur une matière première stable et abondante (les urines humaines). Cette stabilité pourrait encourager les agriculteurs à accepter un prix légèrement supérieur, en échange d'une économie globale plus prévisible et avantageuse sur le long terme. Toutefois, il est important de souligner que la chaîne de valeur des urino-fertilisants reste en partie tributaire des fluctuations des cours des énergies fossiles, en particulier pour les étapes de transport, et dans une moindre mesure pour le traitement par nitrification-distillation, qui repose sur une consommation d'électricité elle-même partiellement influencée par le prix du gaz naturel.
- **Certification en agriculture biologique** : Si les urino-fertilisants sont certifiés pour une utilisation en agriculture biologique, leur prix pourrait être aligné sur celui des engrais organiques, généralement plus élevé que celui des engrais minéraux. Des discussions favorables, notamment au sein de la Fédération Nationale d'Agriculture Biologique (FNAB), laissent entrevoir l'autorisation des urino-fertilisants en AB à moyen terme. En parallèle, il est intéressant de noter que des discussions sont en cours au niveau européen concernant l'inscription des cendres issues de l'incinération des boues urbaines parmi les intrants autorisés en agriculture biologique certifiée. Par ailleurs, la struvite et les phosphates précipités sont déjà répertoriés dans cette liste, ouvrant ainsi la voie à une reconnaissance plus large des fertilisants issus du recyclage des rejets humains⁵¹.
- **Hausse générale des prix des engrais** : Même sans certification biologique, les urino-fertilisants pourraient bénéficier de l'augmentation anticipée des prix des engrais minéraux, stimulée par une reprise à la hausse des cours du gaz naturel.
- **Diversification des marchés** : Le prix de vente des engrais peut varier significativement en fonction du débouché. Si le marché agricole est associé à des volumes importants mais à des marges faibles, d'autres segments, tels que les espaces verts publics et privés (golfs, parcs, bâtiments tertiaires) ou la jardinerie, offrent des opportunités à haute valeur ajoutée. Par exemple, les estimations du projet Saint-Vincent-de-Paul prévoient que le prix unitaire d'un litre d'engrais est multiplié par 13 lorsqu'il est vendu à la direction des espaces verts de la Ville de Paris, par 33 en jardinerie pour des engrais non biologiques, et jusqu'à 66 pour des engrais biologiques vendus en jardinerie. Ces marchés alternatifs, bien que plus restreints en taille, pourraient représenter une source de revenus complémentaire intéressante – à condition que le cadre législatif sur les urino-fertilisants évolue favorablement,

⁵¹ European Sustainable Phosphorus Platform. Sewage sludge ash recovered phosphate in Organic Farming [\[en ligne\]](#). Consulté le 26 février 2025

notamment dans le contexte de l'interdiction dès 2027 de la vente d'engrais de synthèse pour l'entretien des espaces verts publics et privés.

Toutefois, il est essentiel de prendre en compte l'élasticité-prix des produits afin d'ajuster les tarifs de manière optimale. Une augmentation trop importante des prix pourrait dissuader certains acheteurs, entraînant une baisse des volumes vendus et risquant ainsi de compromettre l'objectif d'accroissement des recettes. **Une analyse approfondie de la sensibilité des potentiels clients aux variations de prix est donc indispensable pour trouver un équilibre entre rentabilité et compétitivité.**

Augmenter les volumes vendus

Un second levier pour accroître les recettes consiste à augmenter les volumes de vente. En collectant et traitant davantage d'urine, les quantités d'urinofertilisants disponibles à la vente augmentent. Ainsi, le développement et l'expansion des filières de collecte et de traitement permettraient de générer des volumes plus importants, optimisant l'utilisation des capacités existantes des unités de traitement. À mesure que les volumes traités augmentent, la filière pourrait donc se rapprocher de son équilibre économique.

Diversifier les sources de revenus en vendant les co-produits du traitement

Enfin, un troisième levier, bien que mineur, consiste à explorer des opportunités de revenus complémentaires grâce à des produits dérivés – à condition que leur valorisation n'entraîne pas une hausse proportionnelle des coûts d'exploitation. Par exemple, l'EPAPS envisage la **valorisation de l'eau distillée issue du traitement** des urines comme une source potentielle de revenus additionnels. Cette eau, utilisée dans des secteurs comme la chimie fine ou la pharmacie, pourrait trouver des débouchés intéressants. Elle pourrait également être réemployée pour des usages domestiques, tels que les chasses d'eau, l'entretien ou le nettoyage, sous réserve des dispositions réglementaires concernant la réutilisation des eaux grises.

5.4.2.2. Levier n°2 : Réduire les coûts

Le second élément de l'équation du modèle économique concerne les **coûts d'exploitation**, qui englobent différents postes de dépenses. Dans le cadre des filières de transformation des urines, ces coûts peuvent être exprimés comme suit : **coûts d'exploitation = coûts de transport + coûts de traitement + coûts d'entretien et de maintenance + autres coûts**, chaque composante pouvant à son tour être décomposée en plusieurs variables.

Réduire les coûts d'exploitation grâce à des économies d'échelle

Les expérimentations démontrent que le coût d'exploitation par litre d'urine traité diminue considérablement à mesure que le volume d'urine traité augmente. Par exemple, à Saint-Vincent-de-Paul, où environ 1 900 litres d'urine seraient collectés chaque jour, les coûts d'exploitation par litre sont trois fois plus élevés que ceux de l'EPAPS, qui traiterait quotidiennement 20 000 litres. Cette différence s'explique par plusieurs types d'économies d'échelle :

- **Optimisation des coûts de fonctionnement des usines de traitement** : Les coûts fixes liés au fonctionnement des équipements de traitement (nitrification, distillation, hygiénisation) – tels que la main-d'œuvre, l'électricité, l'entretien et la maintenance, les suivis réglementaires – restent en grande partie constants, indépendamment du volume d'urine traité. Ainsi, lorsque les équipements fonctionnent à pleine capacité ou s'en approchent, ces charges sont réparties sur un plus grand volume d'urine, réduisant significativement le coût marginal par litre d'urine traité.

- **Réduction des coûts unitaires des consommables** : Les produits nécessaires aux systèmes de traitement des urines (par ex. produits d'entretien, charbon actif) deviennent moins coûteux lorsqu'ils sont achetés en gros volumes. Cela contribue à des économies supplémentaires lorsque les volumes traités augmentent – bien que mineures, ce poste de coût étant marginal dans le cas de ces filières.

Il est donc essentiel de concevoir des usines capables de traiter des flux croissants, maximisant ainsi l'efficacité et réduisant les coûts unitaires. La mutualisation des installations entre plusieurs acteurs pourrait également être une stratégie efficace pour massifier et sécuriser les gisements, traiter des volumes plus importants et mieux répartir les coûts fixes et variables.

Concernant le transport, les économies d'échelle possibles dépendent largement du mode d'acheminement des urines vers l'usine de traitement :

- **Transport par urinoduc** : lorsqu'un urinoduc est utilisé (comme à Saint-Vincent-de-Paul et à Saclay), le coût marginal de transport par litre d'urine devient très faible une fois l'infrastructure installée.
- **Transport par camion-citerne** : les coûts opérationnels fixes d'un camion-citerne (carburant, main-d'œuvre, entretien) sont optimisés lorsque le camion transporte sa pleine capacité de liquide. En favorisant la collaboration entre plusieurs acteurs pour mutualiser les collectes et rationaliser les tournées, il devient possible d'améliorer l'efficacité logistique et de réduire les coûts par litre d'urine transportée. Cependant, le transport par camion-citerne présente une particularité : **les coûts de transport augmentent proportionnellement aux volumes collectés et au nombre de camions nécessaires**. Ainsi, une collecte limitée réduit le nombre de rotations nécessaires et, par conséquent, les coûts d'exploitation – comme il est possible de l'observer dans le cas de la filière des biodéchets⁵². Dans le cas d'un transport par camion-citerne, **l'augmentation massive des volumes collectés et transportés n'entraîne donc pas nécessairement une réduction des coûts d'exploitation par litre**.

Trouver des solutions d'optimisation des différentes postes de coûts grâce à un apprentissage continu

Les expérimentations en cours et à venir permettront d'explorer différentes solutions d'optimisation pour réduire les principaux postes de coûts.

Tout d'abord, plusieurs solutions peuvent être envisagées afin de **réduire les différents postes de coûts liés au traitement des urines** :

- **Réduction des coûts énergétiques** :
 - Opérer les équipements de traitement principalement pendant les heures creuses, lorsque le coût de l'électricité est réduit.
 - Lancer des appels d'offres pour conclure des contrats à long terme avec des fournisseurs d'électricité locaux (type PPA), permettant de stabiliser les tarifs sur la durée et de négocier des prix compétitifs.
 - Développer des solutions d'auto-production EnR.
- **Optimisation des contenants pour les urinofertilisants** : Privilégier des contenants de plus grande capacité, adaptés aux besoins du marché, pour réduire les coûts unitaires liés à l'embouteillage. Par exemple, l'expérience de SVDP a montré que l'adoption de bouteilles de plus grand volume permettait des économies significatives.

⁵² Confédération des métiers de l'environnement, Conseil national de l'industrie. Etude sur la collecte des biodéchets, Analyse économique de la collecte séparée et du traitement. 7 septembre 2022.

- **Veille technologique et innovation** : Effectuer une veille régulière pour identifier les solutions les plus rentables en matière de traitement et de toilettes séparatives. Cela inclut de rechercher des technologies nécessitant moins de consommables, d'entretien ou d'énergie, ou qui s'adaptent plus facilement aux variations de la demande locale (par ex. unités de traitement mobiles ou modulaires).
- **Réduction des coûts de maintenance et de gestion** : Intégrer des outils numériques pour le suivi des équipements, permettant une maintenance prédictive et une gestion optimisée des flux.
- **Création de synergies locales** :
 - Envisager de connecter la production d'urinofertilisants avec d'autres systèmes pour réduire les coûts grâce à des mutualisations industrielles (par ex. récupération de la chaleur fatale générée par une cimenterie pour alimenter le processus de concentration).
 - Mutualiser les structures de différents acteurs pour centraliser les aspects administratifs, réglementaires et logistiques.
 - Mettre en place des plateformes collaboratives pour favoriser le partage d'informations entre les différents acteurs de la filière, notamment en cas de collecte par camion.

Par ailleurs, **optimiser les coûts de transport** revient à effectuer le choix du mode de transport le plus économe en termes d'exploitation. Deux principales options se distinguent :

- **Transport par urinoduc** : Une fois l'urinoduc installé, les coûts d'exploitation se limitent principalement à l'entretien périodique, ce qui permet de minimiser les dépenses. **Ce mode d'acheminement des urines est donc recommandé dans l'objectif d'atteindre un équilibre économique d'exploitation dans le cadre du déploiement des filières à large échelle.**
- **Transport par camion-citerne** : Bien que nécessitant un investissement initial moindre par rapport à l'installation d'un urinoduc, le transport par camion engendre des charges plus élevées (carburant, main-d'œuvre, entretien des véhicules). Une analyse comparative avec la filière des biodéchets met en lumière cette réalité : dans cette filière, la collecte représente entre 60 et 75% des coûts totaux, tandis que le traitement ne constitue que 10 à 20%⁵³. Ces chiffres illustrent à quel point le transport par camion peut peser sur les dépenses annuelles globales, surtout dans un contexte de volumes croissants. Toutefois, cette solution peut être intéressante au cas par cas.

Au fil du temps, la multiplication des expérimentations et la visibilité accrue de ces filières favoriseront un renforcement des efforts de recherche qui leur sont dédiés. Cela permettra d'identifier collectivement des solutions pour optimiser les coûts, consolider le modèle économique et accroître leur attractivité. Ce processus d'apprentissage progressif est courant dans les filières technologiques émergentes. Par exemple, dans le secteur des biodéchets, de nombreuses études sont aujourd'hui menées pour déterminer les leviers les plus efficaces en vue d'améliorer la rentabilité et de réduire les coûts.

⁵³ Confédération des métiers de l'environnement, Conseil national de l'industrie. Etude sur la collecte des biodéchets, Analyse économique de la collecte séparée et du traitement. 7 septembre 2022.

5.4.2.3. *Levier n°3 : Obtenir des financements afin de combler le déficit d'exploitation restant*

Malgré les efforts engagés pour optimiser les coûts d'exploitation et maximiser les revenus générés, il est probable que l'équilibre économique ne soit toujours pas atteint, au vu des premières estimations présentées en [partie 5.3](#). Pour combler ce déficit résiduel, la seule solution est de mobiliser des financements complémentaires. Ces ressources pourraient prendre la forme d'aides financières spécifiques, ou encore de la réaffectation de taxes et redevances, offrant ainsi un soutien structurel à la viabilité économique des filières. **Plusieurs pistes peuvent être mentionnées, impliquant de mettre en place un nouveau système redistributif**, à la fois à l'échelle nationale et locale.

Obtenir des financements de la part des stations d'épuration reliées (SIAAP notamment) en compensation des coûts évités pour leur propre activité

Les stations d'épuration sont régulièrement mentionnées comme des acteurs clés pour soutenir l'équilibrage économique des filières. La collecte des urines avant leur arrivée en station pourrait en effet réduire le volume des eaux usées à traiter. Cette diminution des flux permettrait de réaliser des économies sur les coûts de traitement, à condition d'atteindre un seuil significatif de réduction – une étude menée par le SIAAP est en cours pour évaluer les économies potentielles par tonne d'azote évitée en station. En parallèle, cette réduction des flux faciliterait le respect des nouveaux objectifs de rejet fixés par la directive européenne DERU 2, et ainsi limiterait les investissements nécessaires à la mise aux normes des installations (une évaluation des économies possibles est présentée en [partie 5.5](#)). Dans ce contexte, les stations d'épuration pourraient réaffecter l'équivalent des économies réalisées, calculées en fonction des tonnes d'azote non traitées, aux opérateurs des dispositifs de séparation. Ce mécanisme offrirait ainsi une source de financement pérenne pour ces dispositifs dans les zones raccordées à ces stations.

Le SIAAP, dont les stations d'épuration sont majoritaires en Île-de-France, apparaît ainsi comme un acteur particulièrement concerné. Il serait en effet l'un des premiers à bénéficier des économies réalisées grâce à la diminution des flux entrants.

Percevoir des redevances au même titre que les autres délégataires du service d'assainissement

Les filières de séparation à la source des urines s'inscrivent dans la continuité des objectifs de réduction des pollutions et d'adaptation au changement climatique des services publics d'eau et d'assainissement. De ce fait, il est légitime d'envisager ces filières comme des composantes d'un nouveau service public de l'assainissement, notamment à travers un modèle économique réinventé.

Aujourd'hui, la facture d'un usager du service public d'eau et d'assainissement se répartit en moyenne entre 40% pour l'eau potable, 40% pour l'assainissement – soit 80% destiné aux collectivités locales –, et 20% sous forme de redevances et taxes, notamment pour les Agences de l'eau. Une évolution des mécanismes tarifaires pourrait permettre d'**allouer une partie de ces redevances aux collectivités pour financer l'exploitation des dispositifs de collecte et valorisation des urines**, intégrés à un service urbain d'assainissement global. Le bureau d'études environnemental Oasiis propose par exemple de verser une part de la taxe d'assainissement aux opérateurs chargés de la récupération et du traitement des urines, à l'image de ce qui est pratiqué pour le traitement des eaux usées avec des acteurs comme Veolia, Suez ou encore Saur. Une telle révision des modalités d'attribution des redevances contribuerait ainsi à pérenniser le modèle économique de ces filières.

Par ailleurs, les collectivités, qui disposent d'une marge de manœuvre pour fixer le prix de l'eau dans le cadre légal en vigueur, doivent être sensibilisées à ces nouvelles filières afin d'**explorer de nouveaux modèles économiques en concertation avec leur assainisseur et les**

nouveaux opérateurs du traitement des urines. Outre une augmentation du prix de l'eau, il peut également être considéré de réaliser des arbitrages dans l'allocation des redevances – par exemple, rediriger une partie des financements publics actuellement alloués à la dénitrification vers la séparation à la source.

Ainsi, en intégrant ces dispositifs dans une approche repensée des services urbains, il serait possible d'assurer leur viabilité technique et financière à long terme.

Zoom thématique :

Vers un renouvellement du modèle économique des services d'eau et assainissement

Face à la raréfaction de la ressource en eau due au réchauffement climatique, la nécessité de sobriété et de réduction des consommations s'impose. Or, le modèle financier actuel du service public de l'eau et de l'assainissement, basé sur le principe selon lequel « l'eau paye l'eau », atteint ses limites. C'est le constat partagé par plusieurs fédérations d'acteurs – Intercommunalités de France, la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) et la Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau (FP2E) – dans un rapport publié en juillet 2024, appelant à repenser en profondeur le financement de ces services essentiels⁵⁴.

Des besoins d'investissement croissants

Les collectivités font face à des besoins d'investissement croissants pour rattraper le retard accumulé dans la rénovation des équipements et des réseaux d'eau et d'assainissement. Elles doivent également adapter leurs services aux défis posés par le changement climatique (sécheresse, baisse des niveaux d'eau, risques de pénurie), tout en garantissant une eau de qualité. Par ailleurs, l'évolution de la réglementation européenne, notamment avec la directive sur l'eau potable et la révision de la directive eaux résiduaires urbaines (DERU), impose des exigences environnementales toujours plus strictes, susceptibles d'accroître encore les investissements nécessaires.

Des redevances qui baissent dans un contexte de sobriété

Parallèlement, dans un contexte de sobriété, les collectivités observent déjà une diminution des volumes d'eau distribués aux abonnés et anticipent une baisse encore accrue. Cette tendance est marquée chez les industriels, qui investissent dans des équipements plus économes en eau, et chez les particuliers, qui réduisent leur consommation d'eau potable. Cette diminution des volumes consommés entraîne une baisse des recettes pour les services d'eau et les Agences de l'eau – la part variable représentant environ 80% de la facture des abonnés. La FNCCR souligne qu'en 2023, la facturation nationale a reculé de 3 à 4%, atteignant jusqu'à 10% dans certains territoires.

Ainsi, alors que les services doivent déjà faire face à des investissements massifs pour moderniser des infrastructures vieillissantes, et que les impératifs de sobriété et de qualité de l'eau entraînent une hausse des coûts d'exploitation, les recettes diminuent. Cet "effet ciseaux" impose de réinterroger le modèle de financement des services d'eau et d'assainissement, afin d'éviter un coût de l'inaction encore plus élevé.

⁵⁴ Intercommunalités de France, FNCCR, FP2E. Sobriété : vers un nouveau modèle de financement des services d'eau et d'assainissement, Garantir la qualité de l'eau et l'accès à la ressource : les propositions des collectivités et entreprises. *NCTE Eau*. Juillet 2024

Un besoin de repenser le modèle économique des services publics d'eau et d'assainissement

Dans ce contexte, il devient impératif de revoir certains paramètres du modèle de financement pour compenser la baisse de l'assiette, qui reste la base de calcul des redevances.

Notamment, une majorité des adhérents d'Intercommunalités de France estime que le **prix de l'eau est actuellement insuffisant** pour relever les défis à venir, et devrait donc augmenter dans les prochaines années. Cette potentielle hausse du prix de l'eau soulève toutefois une question de justice sociale et d'acceptabilité. Bien que cette hausse puisse être perçue comme une contrainte dans un contexte d'inflation et de baisse du pouvoir d'achat, la part du budget des ménages consacrée à la facture d'eau et d'assainissement demeure faible : environ 0,8% en moyenne, un niveau stable depuis les années 2000 – et bien inférieur à celui de l'énergie pour le logement (4,7%) ou encore de la téléphonie (2%). Par ailleurs, l'usage de l'eau est en vérité peu sensible aux variations de prix, en raison de son caractère essentiel, mais aussi du manque de visibilité des usagers sur leur factures d'eau (notamment pour les locataires dont l'eau est incluse dans les charges). Des hausses tarifaires sont donc envisageables et ont déjà été appliquées dans certaines collectivités pour financer des plans d'investissement et compenser la baisse des recettes liée à la diminution des volumes consommés.

Par ailleurs, le rapport mentionné ci-dessus propose plusieurs pistes pour repenser le financement des services d'eau et d'assainissement, notamment :

- **Supprimer la tarification dégressive**, qui va à l'encontre des incitations à la sobriété.
- **Promouvoir la tarification saisonnière**, adaptée aux variations de consommation tout au long de l'année.
- **Augmenter la part fixe des factures des usagers** pour garantir un financement stable des services, même en cas de baisse de la consommation. Il est proposé d'harmoniser son plafond à 40% minimum (contre 30% actuellement dans les communes urbaines), tout en maintenant le déplafonnement pour les zones touristiques.
- **Inciter les Agences de l'Eau à fixer un prix minimum de l'eau**, défini en fonction des spécificités du territoire, afin d'assurer une gestion durable et efficace des services d'eau et d'assainissement.
- **Renforcer la communication auprès du grand public**, en mettant l'accent sur la valeur et les coûts réels du service public, plutôt que sur le seul prix de l'eau. Il s'agit notamment de valoriser les investissements réalisés, les gains en sobriété et l'impact environnemental positif du service.
- **Mettre en place des dispositifs d'accompagnement** pour aider les ménages les plus modestes à payer leur facture d'eau.

Ce contexte, qui appelle à une refonte globale du modèle économique des services d'eau et d'assainissement, offre une opportunité idéale pour intégrer les filières de séparation à la source et de traitement des urines dans les réflexions sur le financement de ces services publics.

Percevoir certaines aides agricoles réorientées pour soutenir les filières émergentes (cf. [partie suivante](#))

Au-delà de l'intégration des filières dans le modèle économique de l'assainissement (impact amont des filières), il est également possible d'envisager des modes de valorisation impliquant le monde agricole (impact aval des filières), notamment via des dotations issues des politiques alimentaires et agricoles. La section suivante de ce rapport explore précisément les opportunités de subventions liées aux politiques agricoles. Si ces aides sont envisagées en premier lieu en soutien aux agriculteurs utilisant les urinofertilisants, certaines pistes mentionnées pourraient également être adaptées pour soutenir directement les exploitants des systèmes de séparation à la source des urines et fabricants d'engrais azotés locaux.

5.4.3. Quelques pistes pour optimiser la rentabilité économique de l'usage des urinofertilisants en agriculture

L'utilisation des urinofertilisants par les agriculteurs pourrait engendrer **certaines coûts d'adaptation par rapport à leurs pratiques habituelles**. En particulier, l'épandage d'urines brutes nécessiterait l'adaptation des équipements afin de transporter de grandes quantités de liquides, impliquant des investissements significatifs. De plus, durant les périodes d'épandage, il serait nécessaire d'effectuer plusieurs passages sur les parcelles pour garantir une absorption suffisante de l'azote par les sols, ce qui représente un surcroît de temps de travail. Toutefois, ces contraintes pourraient être compensées par des **aides financières récompensant l'usage des urinofertilisants et les bénéfices environnementaux générés**, contribuant ainsi à renforcer la viabilité économique des exploitations agricoles.

5.4.3.1. *Obtenir des subventions directes de la part de l'Etat au titre des fonds existants pour la promotion de l'agroécologie et la réduction des émissions carbone*

Actuellement, l'État propose plusieurs dispositifs d'aide aux agriculteurs afin de soutenir la transition vers une agriculture plus durable, en particulier en favorisant la filière biologique et la réduction de l'usage des engrais azotés minéraux. Dans cette logique, les appels d'offres publics en faveur de projets agricoles visant à réduire les émissions carbone et l'usage des engrais de synthèse pourraient inclure et valoriser les exploitations adoptant les urinofertilisants.

Les aides publiques pourraient intervenir à plusieurs niveaux :

- **Financement des investissements agricoles nécessaires** (par ex. achat de matériel d'épandage adapté aux urines brutes, cuves de stockage pour l'hygiénisation) ;
- **Soutien financier pour inciter aux changements de pratiques** et récompenser les externalités positives sur l'environnement.

5.4.3.2. *Bénéficier de subventions de l'Etat ou de l'Union européenne financées grâce à une nouvelle taxe sur les engrais azotés de synthèse, instaurée pour soutenir les alternatives locales*

Une autre piste pour financer les subventions à destination des agriculteurs pourrait être l'instauration d'une taxe sur les engrais azotés de synthèse, dont les recettes seraient redistribuées pour soutenir les agriculteurs ayant recours aux urinofertilisants produits localement.

Des taxes sur les engrais azotés avaient été envisagées par le passé, mais s'étaient heurtées à une faible acceptabilité au sein du monde agricole. Cependant, une taxe conçue spécifiquement pour financer la mise à disposition d'engrais produits localement représenterait une approche innovante, absente des propositions antérieures. Avec une telle taxe, les

agriculteurs français pourraient participer activement à l'émergence de filières locales et durables qui renforcent la résilience et l'autonomie du secteur agricole français. Cette mesure prend d'autant plus de sens dans le contexte actuel, marqué par une hausse des importations d'engrais de synthèse en provenance de Russie, qui applique elle-même une taxe de 10% sur ses exportations pour financer ses activités militaires en Ukraine.

La Commission européenne a d'ailleurs récemment proposé d'augmenter les droits de douane sur les engrais importés de Russie⁵⁵. Actuellement fixés à 6,5%, ces droits passeraient à un tarif additionnel de 40 €/tonne à partir du 1er juillet 2025, avec une augmentation progressive jusqu'à atteindre 315 €/tonne en 2028. Cela représenterait alors près de 100% de la valeur des engrais azotés importés, rendant ces derniers nettement moins compétitifs sur le marché européen. Il est essentiel de se demander comment sera utilisé le produit de cette taxe éventuelle. L'orienter vers des alternatives locales semblerait tout à fait approprié pour rassurer les organisations agricoles, qui craignent qu'une telle taxe n'entraîne une flambée des prix des engrais, si la baisse de la disponibilité des engrais russes n'est pas compensée par une production nationale accrue à un prix compétitif⁵⁶.

5.4.3.3. Souscrire à des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) au titre de l'enjeu de préservation de la qualité de l'eau

L'utilisation d'urino-fertilisants pourrait être intégrée aux mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) souscrites volontairement par les agriculteurs dans les territoires où l'amélioration de la qualité de l'eau potable constitue un enjeu prioritaire. Dans ce cadre, les agriculteurs adoptant ces pratiques pourraient bénéficier de financements issus de la PAC pour une durée de cinq ans, correspondant à leur engagement au sein de cette MAEC.

5.4.3.4. Bénéficier de paiements pour services environnementaux (PSE)

Depuis 2020, l'État expérimente les paiements pour services environnementaux (PSE), avec une enveloppe de 150 millions d'euros destinée aux agriculteurs adoptant des pratiques bénéfiques pour les écosystèmes. Ces PSE, versés annuellement sur la base de contrats pluriannuels renouvelables (généralement sur 5 ans), sont conditionnés à des contrôles réguliers pour garantir l'atteinte des objectifs environnementaux.

Les agriculteurs utilisant des urino-fertilisants pourraient bénéficier de ces paiements sur le long terme, car les filières de collecte et de valorisation des urines, en contribuant à la préservation de la qualité de l'eau et des sols ainsi qu'à l'atténuation du changement climatique, s'inscrivent pleinement dans les objectifs visés par ce dispositif.

5.4.3.5. Intégrer les méthodes du Label Bas Carbone et vendre des crédits carbone

Le Label Bas Carbone offre une opportunité pour les projets visant à réduire les émissions ou à stocker du carbone, en leur permettant de générer des crédits Carbone destinés à financer leur mise en œuvre.

La collecte, la transformation des urines et leur valorisation en urino-fertilisants contribuent à éviter des émissions de gaz à effet de serre à plusieurs niveaux : en réduisant les rejets des stations d'épuration lors du traitement de l'azote, et en substituant les urino-fertilisants aux engrais azotés minéraux, dont la fabrication repose sur des énergies fossiles polluantes.

⁵⁵ Grégoire Hernandez. Agriculture : l'Europe va enfin s'attaquer aux engrais russes [en ligne]. 30 janvier 2025

⁵⁶ Nathalie Marchand. La Commission européenne propose de taxer les engrais russes [en ligne]. 30 janvier 2025

Une méthode, Sobac'Eco-TMM, existe déjà pour quantifier les émissions évitées des exploitations agricoles souhaitant réduire ou supprimer leur usage d'intrants de synthèse. L'intégration des urinofertilisants comme alternative aux engrais minéraux pourrait être reconnue dans ce cadre, offrant ainsi aux agriculteurs la possibilité de valoriser leurs pratiques par la vente de crédits carbone. Ces revenus complémentaires contribueraient au financement de leurs éventuels investissements et à la pérennisation de leur exploitation.

Par ailleurs, il serait également envisageable d'adapter et de décliner cette méthode afin de certifier non pas les exploitations agricoles, mais directement les unités de traitement des urines. Cela offrirait aux maîtres d'ouvrage ou aux gestionnaires de ces infrastructures la possibilité de vendre des crédits carbone, générant ainsi des revenus complémentaires pour financer leurs investissements et/ou l'exploitation de leurs dispositifs. Toutefois, la mise en place d'une telle méthode exigerait un investissement initial conséquent.

5.4.3.6. Optimiser le choix des urinofertilisants : une analyse coût-bénéfice adaptée à chaque exploitation agricole

Comme expliqué dans les paragraphes précédents, l'usage des urinofertilisants pourrait ouvrir aux exploitations agricoles l'accès à divers dispositifs d'aides et de financements, renforçant ainsi leurs sources de revenus et leur rentabilité. Ces soutiens pourraient être accordés quelle que soit la forme des urinofertilisants utilisés – urines brutes ou traitées. Dès lors, **il appartient aux agriculteurs d'opter pour la solution la plus économiquement avantageuse.**

Si **l'épandage d'urines brutes nécessite des investissements spécifiques** (adaptation du matériel, stockage), les urines traitées, plus proches des habitudes d'utilisation des engrais classiques, offrent une alternative simplifiant leur intégration aux pratiques agricoles. À première vue, cette seconde option semble donc plus avantageuse. Toutefois, le choix final dépendra aussi du prix d'achat de chaque forme d'urinofertilisant. En effet, **si les urines brutes sont mises à disposition à un coût nul ("zéro rendu racine")**, elles pourraient redevenir une option économiquement intéressante, compensant ainsi les investissements supplémentaires requis pour leur utilisation – surtout si ces derniers peuvent être financés grâce à certaines subventions.

Par ailleurs, il est essentiel d'analyser **l'impact de ces nouvelles pratiques sur la valorisation des productions agricoles** : leur éventuelle certification en agriculture biologique, ainsi que les effets potentiels sur les marges et les volumes de vente.

En définitive, **chaque agriculteur devra réaliser une analyse coût-bénéfice adaptée à son exploitation pour identifier la solution la plus rentable.** Ce choix dépendra de nombreux facteurs, tels que les spécificités de l'exploitation, les attentes du marché, la clientèle cible et le contexte local.

5.5. Valoriser les externalités environnementales et sociétales pour renforcer la viabilité économique des filières ?

Même si le déploiement des filières implique des surcoûts localisés pour les porteurs directs des projets, en amont et en aval, il pourrait générer des bénéfices systémiques importants, qu'il est possible d'estimer en première approche.

Remarque méthodologique :

L'analyse qui suit ne se substitue pas à une analyse d'impact socio-économique, dont elle ne reprend pas la méthodologie. Elle permet néanmoins de lister les principaux bénéfices identifiés et de fournir, lorsque cela est possible, une première estimation monétaire de ces bénéfices. En outre certaines valeurs de références, particulièrement fondamentales pour ces résultats, faisaient lors de la réaction de la présente étude l'objet de travaux d'actualisation ou d'approfondissement, et n'ont pu être intégrées. Les résultats sont donc susceptibles d'évoluer en fonction de ces nouveaux travaux.

5.5.1. Les toilettes séparatives consomment en moyenne moins d'eau que des toilettes classiques

Une chasse d'eau classique consomme entre 3 et 6 litres d'eau par utilisation. Les toilettes séparatives à eau pourraient permettre de réduire cette consommation de 1 à 2 litres par chasse, puisque leur niveau d'eau peut être réglé entre 2 et 4 litres. Les toilettes sèches séparatives comme les urinoirs secs, quant à eux, éliminent totalement l'usage de l'eau, alors qu'un urinoir masculin classique consomme entre 1 et 6 litres par chasse.

Ainsi, en supposant que les toilettes séparatives à eau, les toilettes sèches séparatives et les urinoirs secs permettent des économies d'eau, tandis que les WC adaptateurs et les WC électroménagers n'en génèrent pas, il est possible d'estimer des réductions de consommation d'eau de :

- **3 à 7,7 millions de m³ par an en 2045** pour le scénario 1,
- **3,2 à 8,2 millions de m³** pour le scénario 2,
- **3,7 à 9,5 millions de m³** pour le scénario 3.

L'installation de systèmes de collecte séparative des urines contribuerait ainsi à réduire significativement les volumes d'eau utilisés pour la chasse d'eau. Outre la préservation de cette ressource précieuse dans un contexte de raréfaction, cette réduction pourrait également alléger la facture d'eau des ménages.

Selon le Syndicat des Eaux d'Île-de-France (SEDIF), le prix moyen de l'eau dans les communes qu'il dessert s'élève à 4,76 €/m³ TTC au 1er janvier 2025⁵⁷. À Paris, Eau de Paris affiche un tarif total de 4,09 €/m³ TTC, dont 1,15 €/m³ TTC spécifiquement dédié à la fourniture d'eau potable⁵⁸. Ces tarifs concernent uniquement la part variable de la facture, hors abonnement.

⁵⁷ L'eau chez moi, Le prix de mon eau [en ligne]. SEDIF. Consulté le 10/03/2025 :

<https://www.sedif.com/leprixdemoneau>

⁵⁸ Prix de l'eau [en ligne]. Eau de Paris. Consulté le 10/03/2025 : <https://www.eaudeparis.fr/prix-de-leau>

En généralisant aux 3 scénarios de déploiement des filières de séparation à la source, les économies d'eau se traduiraient donc pour les ménages par une **réduction des dépenses annuelles** estimée entre **13,5 et 34,2 millions d'euros** pour le scénario 1, **14,4 et 36,4 millions d'euros** pour le scénario 2, et **16,2 à 42,2 millions d'euros** pour le scénario 3 en 2045, à prix de l'eau constant.

Toutefois, ces économies potentielles doivent être considérées avec prudence, dans un contexte où le prix de l'eau en France est susceptible d'augmenter et où la répartition entre part fixe et part variable pourrait évoluer. Une hausse de la part fixe au détriment de la part variable réduirait l'impact des économies d'eau sur la facture des ménages. Néanmoins, **plus le prix de l'eau au mètre cube sera élevé, plus l'installation de toilettes économes en eau permettra de générer des économies par rapport au scénario de référence.**

5.5.2. La séparation à la source et la collecte des urines via des réseaux alternatifs entraînent une réduction des flux d'urines en station d'épuration

5.5.2.1. *D'un point de vue opérationnel, des flux moindres à traiter en station d'épuration pourraient engendrer des externalités positives de plusieurs natures*

Une baisse potentielle des coûts d'exploitation

Bien que les urines représentent moins de 1% du volume total des eaux usées arrivant en station d'épuration, elles concentrent 80 à 90% des nutriments (azote, phosphore et potassium) traités en station⁵⁹. Le traitement des urines repose sur plusieurs processus destinés notamment à réduire et transformer l'azote qu'elles contiennent. Théoriquement, une diminution de l'apport d'urines en station devrait ainsi entraîner une réduction proportionnelle de la quantité d'azote à traiter, et donc des coûts de traitement. Cependant, les coûts marginaux liés à l'élimination d'une unité d'azote restent difficiles à quantifier à ce jour, car le coût de son traitement n'est pas isolé des autres dépenses d'exploitation des stations d'épuration.

Toutefois, il est possible de calculer des premiers ordres de grandeur grâce à la diminution estimée de la consommation énergétique dans le cas d'une moins grande arrivée de flux d'urines à traiter en station d'épuration. Le tarif réglementé de la Commission de régulation de l'énergie (CRE) s'établit à 239 € TTC/Mégawatt heure depuis le premier janvier 2025, alors qu'il s'élevait en moyenne à 281 € TTC/MWh depuis le 1^{er} février 2024⁶⁰. Les estimations présentées en [partie 3.5](#) indiquent une moindre consommation d'électricité en station d'épuration de l'ordre de 9 500 MWh par an pour le scénario 1, 10 200 MWh par an pour le scénario 2 et 26 900 MWh par an pour le scénario 3 à horizon 2045. En couplant ces MWh évités au coût moyen du MWh en France, **on aboutit en 2045 à des économies annuelles pour les stations d'épuration de l'ordre de :**

- **2,8 à 3,3 millions d'euros** pour le scénario 1,
- **2,9 à 3,4 millions d'euros** pour le scénario 2,
- **7,6 à 9 millions d'euros** pour le scénario 3.

⁵⁹ Fiche info, Collecte sélective des urines [en ligne]. Eawag Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau. Mai 2019

⁶⁰ Électricité : une baisse de 15 % au 1er février sur les tarifs réglementés [en ligne]. Direction de l'information légale et administrative (Premier ministre). 14 février 2025

Le SIAAP mène actuellement une étude visant à estimer le coût de traitement d'une tonne d'azote en station d'épuration. Lancée à l'été 2024, cette étude devrait aboutir à l'été 2025. Les résultats pourraient permettre d'estimer plus précisément les économies potentielles générées grâce aux tonnes d'azote retirées du système d'assainissement classique et donc évitées en station d'épuration dans les trois scénarios étudiés.

A niveau équivalent de traitement des stations d'épuration, une réduction des émissions de CO₂

Le bilan carbone des filières met en évidence une réduction des émissions en station d'épuration grâce à la diminution du volume d'urines à traiter. En effet, l'optimisation du rendement des stations permet de limiter certains rejets de N₂O. Par ailleurs, en réduisant la consommation électrique liée au traitement des urines, on peut éviter des émissions supplémentaires, en fonction du mix énergétique français. Au total, les trois scénarios de déploiement des filières de séparation à la source permettraient d'éviter en station d'épuration, **en 2045, 23 700 tonnes de CO₂eq** pour le scénario 1, **25 200 tonnes de CO₂eq** pour le scénario 2, et **51 800 tonnes de CO₂eq** pour le scénario 3.

Dans une approche d'analyse du cycle de vie, il est essentiel de prendre en compte non seulement les **émissions évitées** en station d'épuration, mais aussi les **émissions additionnelles** générées à d'autres étapes de la chaîne de valeur. En effet, la mise en œuvre des filières de séparation à la source des urines entraîne des émissions de gaz à effet de serre liées :

- au traitement par **nitrification-distillation** et **déshydratation** des urines,
- au **transport** des urines brutes et concentrées par véhicules thermiques,
- à l'**épandage** des urinofertilisants en agriculture.

Si l'on compare avec un scénario de référence utilisant des engrais de synthèse, en tenant compte des émissions évitées liées à leur production et à leur épandage, les filières de production et utilisation locale d'urinofertilisants évitent des émissions additionnelles de l'ordre de 400 tCO₂eq pour le scénario 1 et 200 tCO₂eq pour le scénario 2. A l'inverse, dans le scénario 3, la production et l'utilisation d'urinofertilisants par rapport au scénario de référence avec des engrais de synthèse génère **des émissions nettes additionnelles** estimées à **28 700 tCO₂eq** en 2045. Cela s'explique par des hypothèses d'émissions importantes retenues pour le traitement notamment par déshydratation, majoritaire dans ce scénario. Toutefois, ces émissions supplémentaires restent **nettement inférieures** aux émissions évitées en station d'épuration.

Ainsi, en intégrant l'ensemble des postes d'émissions et de réductions, le **solde net d'émissions évitées** sur l'ensemble de la chaîne de valeur est de **24 000 tCO₂eq** pour le scénario 1, **25 400 tCO₂eq** pour le scénario 2, et **23 100 tCO₂eq** pour le scénario 3.

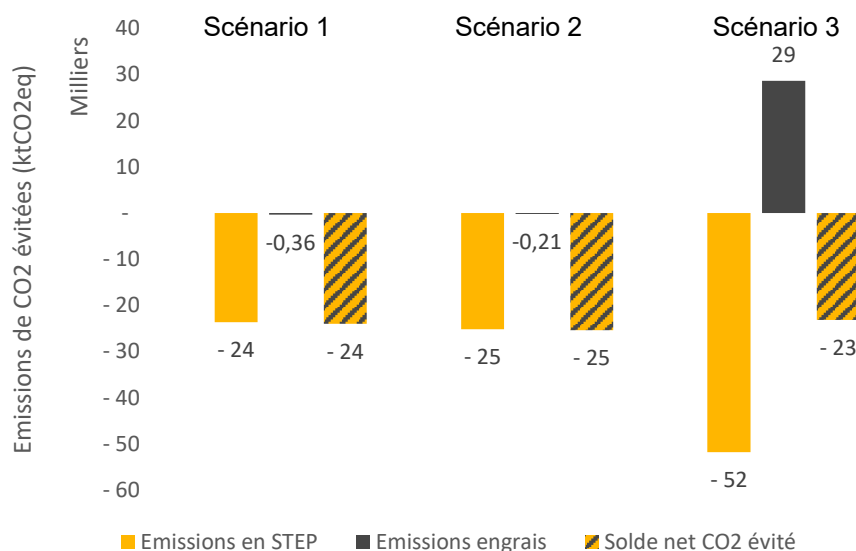


Figure 81. Emissions de gaz à effet de serre évitées aux différentes étapes de la chaîne de valeur, par scénario.

Mise en perspective des résultats

Selon l'Insee, le secteur « Collecte et traitement des eaux usées, traitement des déchets et dépollution » a émis 24 591 ktCO₂eq en 2023⁶¹. Les scénarios de déploiement étudiés pour les filières permettraient donc de **réduire ces émissions d'environ 0,1%, à l'échelle de ce secteur**.

Le coût d'une tonne de gaz à effet de serre (GES) peut être estimé sur la base du rapport Quinet de 2019⁶². Ce rapport attribue une valeur monétaire à l'action pour le climat afin de mieux mesurer son importance par rapport à l'inaction. Cette valeur, appelée valeur tutélaire du carbone, reflète le coût marginal d'abattement des émissions de gaz à effet de serre et indique ainsi l'effort restant à fournir pour atteindre l'objectif de zéro émission nette (ZEN). Elle représente la valeur que la société accorde aux actions publiques et privées de décarbonation. La rapport préconise d'intégrer cette valeur aux décisions économiques afin de guider la France vers la neutralité carbone d'ici 2050.

Une valeur tutélaire du carbone a été établie pour différentes échéances, en tenant compte des coûts anticipés des technologies clés pour la décarbonation et du niveau de coopération internationale attendu. Cette valeur monétaire reflète l'importance accordée par la société aux actions permettant d'éviter l'émission d'une tonne de CO₂ équivalent.

Pour 2030, la Commission recommande une valeur de 250 €₂₀₁₈ par tonne de CO₂e, qui augmenterait à 500 €₂₀₁₈ en 2040 et atteindrait 775 €₂₀₁₈ en 2050. En extrapolant ces valeurs selon une tendance linéaire, on peut estimer un coût tutélaire du carbone d'environ 640 €₂₀₁₈

⁶¹ INSEE. Comptes carbone. GES.202 - Émissions de gaz à effet de serre et activité économique par branche [\[en ligne\]](#). 2024

⁶² Rapport de la commission présidée par Alain Quinet. La valeur de l'action pour le climat, Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques [\[en ligne\]](#). France Stratégie. Février 2019

par tonne de CO₂e en 2045. Toutefois, les incertitudes associées à ces estimations s'accroissent à mesure que l'horizon temporel s'éloigne au-delà de 2030.

Ainsi, la réduction des émissions de GES par rapport à un scénario de référence basé sur les pratiques conventionnelles pourrait se traduire par **des coûts d'abattement évités en 2045** – en prenant comme hypothèse une valeur tutélaire de 640 €/tCO₂eq en 2045 – estimés à :

- **15,4 million d'euros** pour le **scénario 1**,
- **16,2 million d'euros** pour le **scénario 2**,
- **14,8 millions d'euros** pour le **scénario 3**.

Zoom thématique : le coût du Carbone sur le marché carbone européen

Dans un souci de cohérence avec les autres volets de l'étude, nous aurions souhaité valoriser les émissions de carbone évitées en recourant à une approche fondée sur le **coût social du carbone**. Toutefois, selon une analyse bibliographique menée par l'OCDE en 2019⁶³, aucun consensus clair ne se dégage sur la valeur à retenir, du fait de la multiplicité des paramètres et incertitudes influençant ce calcul. **En Europe, le coût social du carbone est notamment utilisé pour orienter le niveau de la taxe carbone applicable aux secteurs couverts et non couverts par le marché carbone européen (SEQE-UE).**

En 2005, l'Union européenne a instauré le **Système d'échange de quotas d'émission** (SEQE, ou ETS en anglais), plus communément appelé "marché du carbone"⁶⁴. Ce dispositif impose aux entreprises de certains secteurs de respecter un plafond d'émissions de GES. Si elles le dépassent, elles doivent acheter des quotas supplémentaires sur le marché. Les entreprises qui ne disposent pas d'assez de quotas pour couvrir leurs émissions s'exposent à une amende minimale de 100 euros par tonne de CO₂ excédentaire.

Aujourd'hui, le SEQE couvre environ 36% des émissions de GES de l'UE. Il concerne principalement les secteurs de l'énergie (production d'électricité et de chaleur) et de l'industrie lourde (sidérurgie, verre, raffineries, chimie, cimenteries, aluminium...), ainsi que l'aviation commerciale pour les vols intra-européens et, depuis 2024, le transport maritime. Par ailleurs, les installations d'incinération des déchets municipaux pourraient être intégrées au dispositif à partir de 2028.

Afin de renforcer l'efficacité du SEQE, l'UE réduit progressivement le nombre de quotas disponibles, ce qui entraîne mécaniquement une hausse de leur prix. Ainsi, **le prix du quota carbone, correspondant à une tonne d'équivalent CO₂, a connu une hausse significative** ces dernières années : il est passé de 37,45 euros en février 2021 à plus de **75,88 euros en janvier 2025**⁶⁵.

⁶³ Giles Atkinson, Nils Axel Braathen, Ben Groom et Susana Mourato. "Chapitre 14 : Coût social du carbone". Analyse coûts-avantages et environnement : avancées théoriques et utilisation par les pouvoirs publics, Éditions OCDE, Paris, pp. 377-421. OCDE (2019)

⁶⁴ Arthur Olivier. Environnement : comment fonctionne le marché du carbone européen ? [en ligne]. Toute l'Europe. 14 novembre 2024

⁶⁵ Le Marché du Carbone, Adjudication des quotas d'émissions de gaz à effet de serre [en ligne]. Agence France Trésor. Consulté le 10/03/2025 : <https://www.aft.gouv.fr/fr/marche-carbone>

Ainsi, si les stations d'épuration et les industries de production d'engrais étaient intégrées au marché carbone européen, la réduction des émissions de GES par rapport à un scénario de référence basé sur les pratiques conventionnelles pourrait se traduire par des **économies immédiates et concrètes sur l'achat de quotas carbone**.

A niveau équivalent de traitement des stations d'épuration, une réduction des rejets d'azote et de phosphore dans les milieux

La European Nitrogen Assessment (ENA), publiée en 2011 dans le cadre du programme *ESF Nitrogen in Europe (NinE)*, constitue la première étude d'envergure évaluant l'impact économique des rejets d'azote sur l'environnement et la santé dans l'Union européenne⁶⁶. Cette synthèse scientifique et politique dresse une revue complète des effets de l'excès d'azote sur les écosystèmes et la société. L'un des résultats les plus marquants de cette étude est l'estimation du coût de la pollution azotée en Europe, évalué entre **150 et 750 euros par habitant et par an**, soit un coût total compris entre **70 et 320 milliards d'euros** par an à l'échelle européenne (incluant le Royaume-Uni mais excluant la Croatie, qui n'avait pas encore rejoint l'UE en 2011)⁶⁷.

La fourchette proposée par ces travaux est large, car les coûts sociétaux des pollutions azotées sont nombreux et protéiformes. Certains facteurs de coûts sont quantifiables et observables, tels que les coûts liés au traitement de l'eau potable, nécessitant un abattement de la teneur en azote. D'autres doivent passer par des exercices de monétarisation plus ou moins subjectifs. L'on peut citer notamment les impacts sur la santé humaine : ils sont considérables et représenteraient entre 50 et 200 milliards d'euros par an à l'échelle de l'Union européenne. Les impacts sur les écosystèmes, dont la monétarisation dépend de la propension à payer pour leur préservation ou restauration, est également un poste de coûts important (entre 25 et 125 milliards d'euros dans l'Union européenne de 2011).

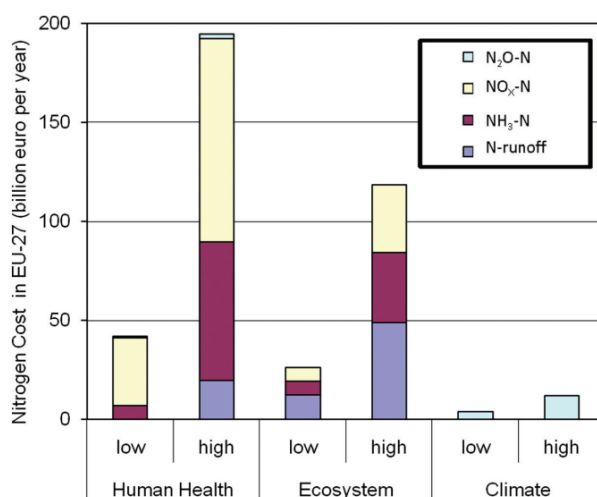


Figure 82. Estimations basses et hautes des dommages sociétaux totaux dans l'UE à 27 résultant des émissions environnementales d'azote en 2000 (en milliards d'euros annuels).

⁶⁶ Sutton, M. A., Howard, C. M., Erismann, J. W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., ... & Grizzetti, B. (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press.

⁶⁷ Sutton, M. A., Howard, C. M., Erismann, J. W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., ... & Grizzetti, B. (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Chapitre 22. Cambridge University Press.

Rapporté à l'unité d'azote, l'ENA présente les estimations suivantes (en euros par kg d'azote) :

Tableau 17. Plages estimées des coûts unitaires des dommages pour les principaux polluants à l'azote (en euros par kg d'azote).

	Santé		Ecosystèmes		Climat	
	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute
N_r dans l'eau	0	4	5	20	0	0
NH₃-N dans l'air	2	20	2	10	0	0
NOx dans l'air	10	30	2	10	0	0
N₂O-N dans l'air	1	3	0	0	5	15

Une extrapolation de ces résultats à l'échelle de chaque scénario, basée sur la **réduction des rejets d'azote en station d'épuration** (azote réactif évité dans l'eau, N₂O évité lors du traitement) et les **émissions d'azote additionnelles générées par la valorisation des urinofertilisants** (N₂O émis lors du traitement par nitrification-distillation, NH₃ additionnel émis lors du traitement des urines déshydratées et de l'épandage des urines brutes), permet d'estimer – dans une approche comptable nécessairement simplificatrice – une **"économie" sociétale sur la santé et les écosystèmes** évaluée dans les fourchettes suivantes :

- **Scénario 1** : entre **6,3 et 29,5 millions d'euros** de coûts évités par an liés à l'azote à compter de 2045,
- **Scénario 2** : entre **6,8 et 31,7 millions d'euros** de coûts évités par an,
- **Scénario 3** : entre **11,4 et 46,4 millions d'euros** de coûts évités par an.

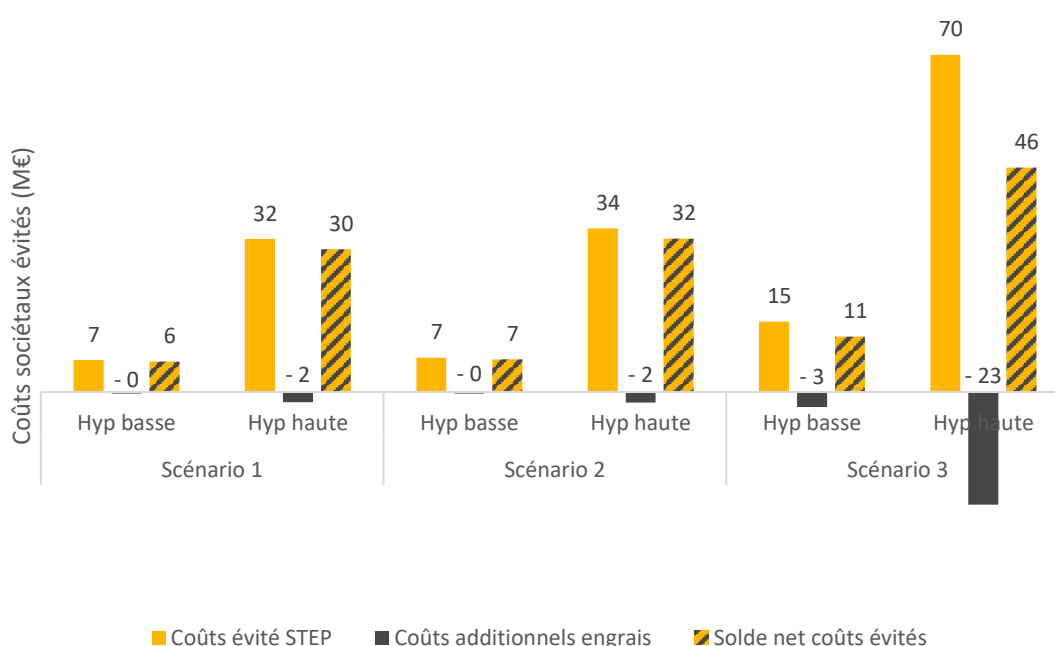


Figure 83. Coûts sociétaux associés aux rejets d'azote évités ou induits aux différentes étapes de la chaîne de valeur, selon le scénario de référence.

Dans tous les cas, les **bénéfices nets** profiteraient principalement aux **écosystèmes**, tandis que les impacts économiques sur la **santé** resteraient plus incertains selon les hypothèses retenues. Le détail des calculs est présenté en [annexe](#).

Néanmoins, **ces estimations n'intègrent pas les émissions additionnelles d'oxydes d'azote (NO_x) générées par le transport des urines sur le territoire**. Ces émissions mériteraient d'être quantifiées afin d'être intégrées dans l'analyse des externalités. Une prise en compte de ces impacts – monétisés pour leurs effets sur les écosystèmes et la santé humaine – permettrait d'affiner l'évaluation globale des bénéfices des différents scénarios.

En outre, les traitements réalisés en station d'épuration génèrent également des **rejets de phosphore dans les milieux naturels, qui pourraient être réduits** en cas de diminution des flux d'urines à traiter. Or, le phosphore est un facteur clé de l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques, en particulier des eaux douces. Bien que plusieurs études aient été menées pour évaluer les conséquences économiques de ces rejets à l'aide de différentes méthodologies⁶⁸, il reste difficile d'extraire une métrique pertinente pour notre cas d'étude. Toutefois, **même en l'absence d'une valorisation monétaire précise**, il est important de considérer que la réduction des rejets de phosphore dans nos scénarios aurait certainement des **bénéfices significatifs sur les écosystèmes, la santé humaine et certaines activités économiques** (par ex. tourisme) grâce à la réduction du phénomène d'eutrophisation.

5.5.2.2. Une moindre arrivée des flux en station permettrait aussi de faciliter l'atteinte des exigences renforcées de la DERU 2 et ainsi de minimiser les investissements nécessaires pour la mise à niveau des STEP

La révision de la DERU et ses implications pour les stations d'épuration franciliennes

La révision de la Directive sur les Eaux Résiduaire Urbaines (DERU), adoptée par le Parlement européen en 2024, introduit de nouvelles exigences pour le traitement des eaux usées afin de renforcer la protection de l'environnement. Ces règles imposent plusieurs niveaux de traitement – secondaire, tertiaire et quaternaire – visant à éliminer les matières organiques biodégradables, l'azote, le phosphore et divers micropolluants.

- **Traitement secondaire** : d'ici 2035, les collectivités de plus de 1 000 équivalents-habitant (EH) devront mettre en place un traitement secondaire des eaux usées (réduction des matières organiques). Jusqu'à présent, cette obligation ne concernait que les communes de plus de 2 000 EH. Toutefois, cette mesure sera relativement indolore, puisque les stations d'épuration délivrant au moins un traitement secondaire représentent déjà 97% de la capacité totale des stations d'épuration en activité en France⁶⁹.
- **Traitement tertiaire** : destiné à éliminer l'azote et le phosphore, ce traitement deviendra obligatoire d'ici 2039 pour les stations d'épuration de 150 000 EH et plus, et à partir de 2045 pour celles de 10 000 EH et plus. Cette réglementation va donc bien au-delà de la directive de 1991, qui imposait ce traitement uniquement aux zones classées comme « sensibles ».

⁶⁸ Douguet J.-M., Lescot J.-M., Terreaux J.-P., 2017. Impacts économiques de l'eutrophisation et instruments économiques pour diminuer ce phénomène. Pages 851-948, In : L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Rapport d'Expertise scientifique collective, Rapport CNRS- Ifremer-INRA-Irstea (France), 1283 pages

⁶⁹ Arnaud Moign. Traitement des eaux urbaines résiduaires : l'UE renforce les règles afin d'améliorer la qualité du traitement [en ligne]. Techniques de l'Ingénieur. 29 avril 2024

- **Traitement quaternaire** : visant à éliminer les micropolluants, ce traitement sera requis pour les stations de plus de 150 000 EH, ou de 10 000 EH sur la base d'une évaluation des risques, d'ici fin 2045.

En France, 90% des eaux usées sont actuellement traitées conformément aux exigences de la DERU⁷⁰. À l'échelle nationale, l'extension des capacités de traitement biologique (traitement secondaire) concerne 4,62 millions d'équivalents-habitants supplémentaires, soit une augmentation de 6,3%. Par ailleurs, 2,61 millions d'équivalents-habitants supplémentaires doivent bénéficier d'un traitement biologique intégrant l'élimination de l'azote et/ou du phosphore (traitement tertiaire), représentant une hausse de 5,7%. A ce titre, neuf stations d'épuration en Île-de-France ne répondent pas encore aux exigences réglementaires de la DERU en termes de traitement appliqué.

Toutefois, même pour les stations d'épuration qui effectuent déjà un traitement tertiaire, cela ne garantit pas leur conformité avec la DERU, qui impose également des rendements encore plus stricts. A horizon 2045, les objectifs de rendement fixés sont les suivants⁷¹ :

- Pour les stations de plus de 10 000 EH et moins de 150 000 EH : rendement de 80% sur l'azote total et 87,5% sur le phosphore total ;
- Pour les stations de plus de 150 000 EH : rendement de 80% sur l'azote total et 90% sur le phosphore total.

De nombreuses stations respectent déjà ces seuils, mais d'autres vont devoir augmenter leur capacité de traitement. En Île-de-France, cela concerne **14 stations d'épuration pour l'azote, et 17 stations pour le phosphore**.

Estimation des coûts de mise à niveau des stations d'épuration : retours d'expérience

En 2020, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et la Commission européenne ont estimé que les investissements nécessaires pour les services d'eau et d'assainissement, d'un montant actuel estimé à environ 100 milliards d'euros par an pour l'ensemble des pays de l'UE (y compris le Royaume-Uni), doivent augmenter de **289 milliards d'euros par an pour les 28 États membres d'ici 2030**⁷². Cette augmentation vise à garantir la conformité avec la directive sur les eaux urbaines résiduaires (DERU) et la directive sur l'eau potable (DEP). Les investissements requis pour se conformer à la DERU constituent la majorité de ces dépenses supplémentaires. Cependant, il est difficile de séparer la part des coûts supplémentaires liés spécifiquement au traitement tertiaire de l'azote et du phosphore. De plus, à ce jour, aucune estimation précise des investissements requis n'a été réalisée à l'échelle nationale, et encore moins au niveau de chaque station d'épuration.

Bien que le coût de mise à niveau des stations d'épuration en Île-de-France pour atteindre les objectifs de la DERU révisée soit difficile à évaluer, il est possible de s'appuyer sur les travaux réalisés dans des stations d'épuration, en Île-de-France ou ailleurs, pour obtenir un ordre de grandeur approximatif.

⁷⁰ WISE Freshwater, Freshwater information system for Europe. France [en ligne]. Consulté le 10/03/2025

⁷¹ DIRECTIVE (UE) 2024/3019 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 27 novembre 2024 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines. 12 décembre 2024

⁷² Estimating investment needs and financing capacities for water-related investment in EU member states [en ligne]. Commission européenne. 28 mai 2020

La station d'épuration de Seine-Aval, située à Achères et gérée par le SIAAP, bénéficie depuis 2010 d'un programme de modernisation qui devrait se terminer en 2025⁷³. Ce site traite principalement des eaux usées domestiques, mais aussi industrielles et pluviales, de cinq millions de Franciliens. En 2014, la station traitait quotidiennement 1 700 000 m³ d'effluents, représentant environ 70% des eaux usées de l'agglomération parisienne. Sa capacité totale était de 7 500 000 équivalents-habitants, avec un débit de pointe de 45 m³/s.

En 2013, un contrat de financement a été signé entre le SIAAP et la Banque Européenne d'Investissement (BEI), laquelle a accordé un financement de 600 millions d'euros pour la modernisation de la station, sur un total de 1 300 millions d'euros de coûts prévus⁷⁴. Ce projet poursuit plusieurs objectifs essentiels, dont :

- **L'amélioration et la mise en conformité de la qualité des rejets** : renforcer le traitement des effluents pour restaurer l'équilibre écologique de la Seine dès 2021 et atteindre un bon état chimique du fleuve d'ici 2027, conformément aux exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE ;
- **La protection des installations contre les risques d'inondations** ;
- **La régénération de la zone d'implantation** : réduire l'empreinte de la station, passant de 700 à 150 hectares, et diminuer de 40% les surfaces bâties, tout en régénérant l'environnement de la zone d'implantation ;
- **L'amélioration du cadre de vie des riverains** : limiter les nuisances liées à l'exploitation (par ex. couverture des bâtiments, toitures végétalisées, traitement de l'air, désodorisation des ouvrages).

D'après la Banque européenne d'investissement⁷⁵, les travaux engagés permettraient d'améliorer significativement l'efficacité du traitement des eaux usées. Le rendement de l'élimination de l'azote passerait ainsi de 26,8% avant les travaux à 70,7%, tandis que celui du phosphore s'améliorerait de 86,8% à 92,4% à l'issue des travaux.

En résumé, cette hausse de 43,9 points pour l'azote et de 5,6 points pour le phosphore, soit une **amélioration globale cumulée de 49,5 points, aurait nécessité un investissement d'environ 1,3 milliard d'euros**. En répartissant ce coût de manière linéaire, on obtient une estimation de 26,3 millions d'euros par point de rendement gagné (tous éléments confondus). Si l'on rapporte cette estimation à l'échelle de l'équivalent-habitant, afin de tenir compte de la taille des stations d'épuration, le coût s'élèverait à **3,50 euros par point d'amélioration du rendement et par équivalent-habitant**.

Point d'attention méthodologique :

Dans le cas de Seine-Aval, les 1,3 milliard d'euros investis n'ont pas uniquement servi à la mise en place du traitement tertiaire. Toutefois, il est possible que plus le rendement d'une station est élevé, plus il devient coûteux d'en encore l'améliorer. Ainsi, bien que cette estimation repose sur une simplification, elle offre néanmoins un ordre de grandeur pertinent pour évaluer l'effort financier nécessaire à la mise en conformité des stations d'épuration franciliennes.

⁷³ Refonte globale du site de Seine-Aval, Etude d'impact globale de l'ensemble du programme, Résumé non technique [en ligne]. SIAAP. Novembre 2014

⁷⁴ Christophe Alix. France : 600 M€ pour la modernisation de la station d'épuration de Seine aval [en ligne]. Banque européenne d'investissement. 12 juin 2013

⁷⁵ Fiche technique sur les aspects environnementaux et sociaux, Aménagement Seine Aval [en ligne]. Banque européenne d'investissement. 4 juin 2013

Concernant les stations d'épuration d'Île-de-France, les 14 stations ne respectant pas encore les exigences de rendement de la DERU en matière d'azote devraient, au total, améliorer leur performance de 155 points de pourcentage pour 15,4 millions d'équivalents habitants. De même, les 17 stations nécessitant une mise à niveau pour le traitement du phosphore devraient, en cumulé, gagner 69 points de pourcentage pour 13,1 millions d'équivalents habitants. En extrapolant le coût des travaux par point d'amélioration du rendement et équivalent habitant de l'expérience de la station Seine-Aval, **le coût estimé pour la mise en conformité de l'ensemble des stations d'Île-de-France s'élèverait à environ 1,14 milliards d'euros.**

Par ailleurs, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a publié en 2018 une étude des coûts des opérations d'assainissement collectif⁷⁶. Il est possible d'en extraire différents montants de travaux pour le traitement de l'azote et du phosphore. Notamment, un coût de référence de **13,7 euros hors taxe par équivalent-habitant a été évalué pour un traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification**. Cette valeur permet également de calculer un ordre de grandeur des investissements nécessaires pour améliorer le rendement des stations d'épuration franciliennes qui ne respectent pas encore les exigences de la DERU, en fonction de leur capacité exprimée en équivalents-habitants. Toutefois, il s'agit encore d'une approximation à grosse maille, car chaque station présente en réalité des caractéristiques spécifiques et ne part pas du même niveau de performance initial.

En Île-de-France, 23 stations d'épuration doivent améliorer leur rendement pour le traitement de l'azote, du phosphore ou des deux, couvrant ainsi une capacité totale de 15,7 millions d'équivalents-habitants. En appliquant le coût estimé par équivalent-habitant, **le budget nécessaire pour la mise à niveau de ces stations d'épuration s'élèverait à 215,6 millions d'euros**. Ce montant est nettement inférieur à celui estimé à partir des travaux réalisés sur la station Seine-Aval, et **paraît largement sous-évalué** au regard de la réalité observée sur le terrain. Ces écarts importants entre les différentes évaluations mettent toutefois en évidence **la nécessité de mener des études complémentaires, afin de mieux appréhender les coûts réels de modernisation des stations d'épuration en Île-de-France.**

Ouverture et réflexions prospectives :

Pour atteindre le bon état écologique des cours d'eau conformément aux exigences réglementaires, deux solutions sont possibles :

- **Réduire les flux d'urine en station d'épuration** grâce à la séparation à la source, jusqu'à atteindre les rendements requis ;
- **Mettre à niveau les stations d'épuration** pour améliorer leur performance.

Ces deux approches permettraient a priori d'atteindre les mêmes résultats écologiques : améliorer la qualité des eaux, réduire les pollutions azotées et limiter les émissions de CO₂ issues des stations d'épuration. Toutefois, dans le cas où aucune des deux solutions ne permettait, à elle seule, d'atteindre les objectifs fixés, elles pourraient être complémentaires. Une approche combinée, articulant séparation à la source et modernisation des stations

⁷⁶ Assainissement collectif : réseaux, stations, pluvial, Etude des coûts [en ligne]. Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Septembre 2018

d'épuration, pourrait alors être envisagée pour optimiser les bénéfices environnementaux tout en maîtrisant les coûts.

Pour déterminer l'option la plus pertinente sur le plan économique, il conviendrait de comparer les coûts de déploiement des filières de séparation à la source, tels qu'estimés dans ce rapport, avec ceux de la modernisation des stations d'épuration pour atteindre un niveau de performance équivalent. En d'autres termes : les travaux de mise en conformité des stations d'épuration sont-ils techniquement réalisables et, si oui, à quel coût ? **Tant que cette question reste sans réponse, il est impossible d'affirmer si la séparation à la source des urines constitue la solution la plus efficace pour atteindre les objectifs écologiques recherchés**, du point de vue de l'assainissement.

5.5.3. L'utilisation des urino-fertilisants en agriculture permet d'éviter l'utilisation d'engrais de synthèse importés

5.5.3.1. *Un renforcement de la souveraineté alimentaire et de la résilience du pays face aux crises*

La production locale d'engrais constitue un levier stratégique pour garantir aux agriculteurs un approvisionnement stable, indépendant des fluctuations géopolitiques et économiques mondiales. Comme le souligne notre étude de marché (cf. [partie 5.2](#)), la France dépend fortement des importations d'engrais en provenance de pays dont la fiabilité peut être incertaine, qu'il s'agisse de nations hostiles (comme la Russie) ou d'alliés dont la position peut évoluer (États-Unis, pays d'Afrique du Nord).

Les crises internationales, à l'image de la guerre en Ukraine, ont démontré la dépendance et la vulnérabilité des exploitations agricoles françaises. En effet, l'augmentation des cours du gaz naturel et/ou la réduction des stocks d'engrais disponibles à l'importation peuvent entraîner une envolée des prix, fragilisant la viabilité économique des exploitations. Si certaines alternatives émergent (par ex. utilisation d'engrais organiques autoproduits), la consommation des agriculteurs français en fertilisants synthétiques reste majoritaire et conséquente.

Dans ce contexte, la fabrication locale d'urino-fertilisants représente une solution pertinente pour diversifier les sources d'approvisionnement et limiter la dépendance aux engrais de synthèse importés. En renforçant la résilience du secteur agricole, cette alternative pourrait également contribuer à stabiliser le modèle économique et organisationnel des exploitations.

Toutefois, l'ampleur de ces bénéfices est difficile à quantifier, faute de visibilité sur les futures crises susceptibles d'affecter le prix du gaz naturel et, par conséquent, celui des engrais de synthèse. Il est néanmoins raisonnable de supposer que ces crises surviendront périodiquement, tandis que les urino-fertilisants, reposant sur une ressource locale et abondante – l'urine –, resteraient moins exposés aux fluctuations du marché. Cette résilience économique ne sera néanmoins pleinement assurée qu'à condition que le prix des urino-fertilisants soit totalement décorrélé du cours du gaz naturel.

5.5.3.1. *Point de vigilance : des incertitudes et facteurs de risque à approfondir*

Si l'on se concentre uniquement sur les étapes de fabrication et valorisation des urino-fertilisants dans les scénarios étudiés, sans tenir compte des bénéfices générés pour le

secteur de l'assainissement, il apparaît que l'utilisation des urinofertilisants génère parfois davantage de pollution que le scénario de référence basé sur les engrais de synthèse.

Notamment, un point de vigilance concerne les rejets additionnels d'ammoniac (NH_3) liés à l'épandage des urinofertilisants et au processus de déshydratation des urines. En effet, les émissions d'ammoniac apparaissent plus élevées dans les scénarios étudiés, par rapport au scénario de référence avec pratiques agricoles conventionnelles. Ces rejets supplémentaires, liés à l'épandage des urines brutes et au traitement des urines déshydratées, sont estimés à 68 tonnes de NH_3 en 2045 pour le scénario 1, 70 tonnes pour le scénario 2 et 773 tonnes pour le scénario 3. Bien que l'ammoniac ne soit pas un gaz à effet de serre, son impact sur la qualité de l'air et la santé humaine ne doit pas être négligé, notamment pour les agriculteurs et les utilisateurs de WC électroménagers, qui pourraient être plus exposés. Il est donc essentiel d'approfondir l'évaluation de ces risques localisés.

Ainsi, si les scénarios intégrant les urinofertilisants restent globalement avantageux sur le plan environnemental, il convient de rester prudent quant aux effets spécifiques de certaines émissions in situ, notamment en matière de santé publique.

Ouverture et réflexions prospectives :

Les externalités positives liées à la valorisation des urinofertilisants en agriculture, telles que présentées dans ce rapport, ne se concrétiseront que si l'usage des engrais azotés en agriculture était maintenu à long terme, et notamment à l'horizon 2045 – date à laquelle le déploiement des filières de séparation à la source serait pleinement effectif selon les scénarios étudiés.

Les projections prospectives pour l'agriculture à horizon 2050, notamment celles de l'Ademe⁷⁷ et du Shift Project⁷⁸, anticipent une réduction significative de la consommation d'engrais azotés en valeur absolue. Ces scénarios prévoient également une diminution de la part des engrais de synthèse au profit d'alternatives organiques (fixation symbiotique via le développement des légumineuses, recyclage par les digestats et composts). Malgré cette évolution, l'azote minéral resterait utilisé en 2050, représentant au minimum 19% des sources d'azote apportées aux cultures – et ceci dans le scénario le plus restrictif de l'Ademe.

Dans une vision encore plus ambitieuse, comme celle proposée par le CNRS⁷⁹, l'agroécologie pourrait se généraliser en Europe d'ici 2050, avec l'adoption de rotations longues et diversifiées intégrant des légumineuses fixatrices d'azote, ce qui permettrait de se passer des engrais azotés de synthèse comme des pesticides. Dans tous ces scénarios, un changement important de régime alimentaire est à anticiper.

⁷⁷ ADEME. *Transitions 2050: Choisir maintenant. Agir pour le climat*. Chapitre 2: "Évolution du système productif". 2021

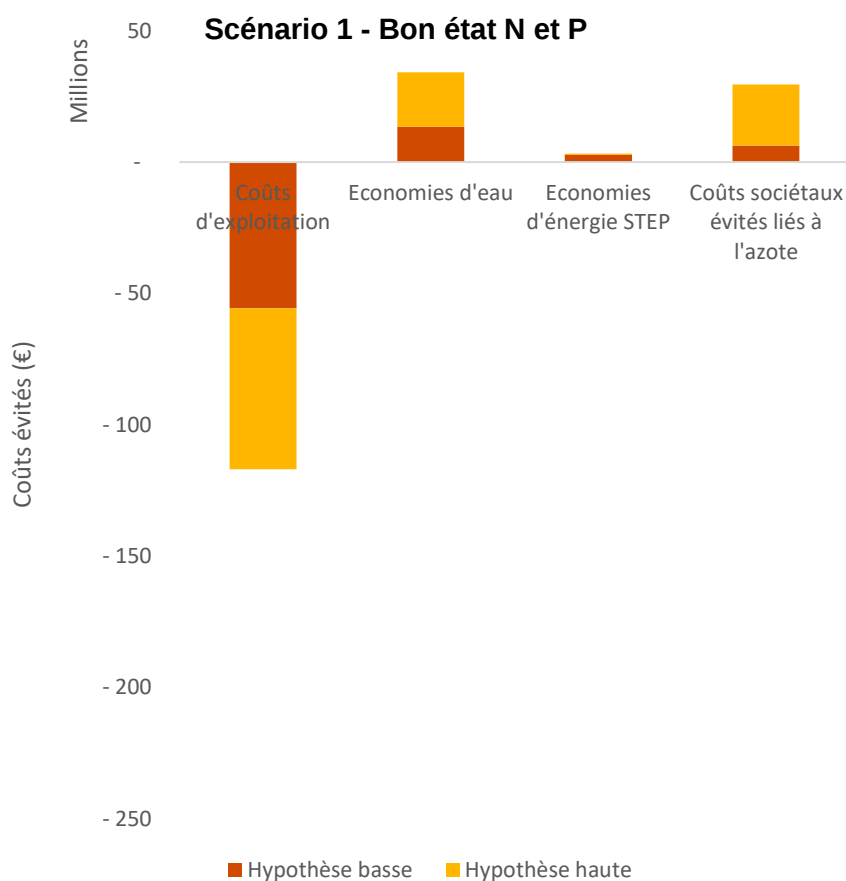
⁷⁸ Pour une agriculture bas carbone, résiliente et prospère, Synthèse [en ligne]. The Shift Project. Novembre 2024

⁷⁹ Gilles Billen, Eduardo Aguilera, Rasmus Einarsson, Josette Garnier, Simone Gingrich, Bruna Grizzetti, Luis Lassaletta, Julia Le Noe and Alberto Sanz-Cobena. Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity. *One Earth*, 18 juin 2021.

Si l'agriculture venait à évoluer vers un modèle totalement indépendant des engrais de synthèse, la pertinence du déploiement des filières de séparation à la source devrait être réévaluée, notamment au regard des investissements nécessaires. Il est donc essentiel d'anticiper dès aujourd'hui le modèle agricole vers lequel nous souhaitons tendre à l'horizon 2050, afin d'orienter les choix politiques et technologiques de manière cohérente et efficiente.

5.5.4. Mise en regard des coûts des filières de séparation à la source et des externalités monétisées

5.5.4.1. Comparaison des coûts d'exploitation et des externalités annuelles monétisées en 2045



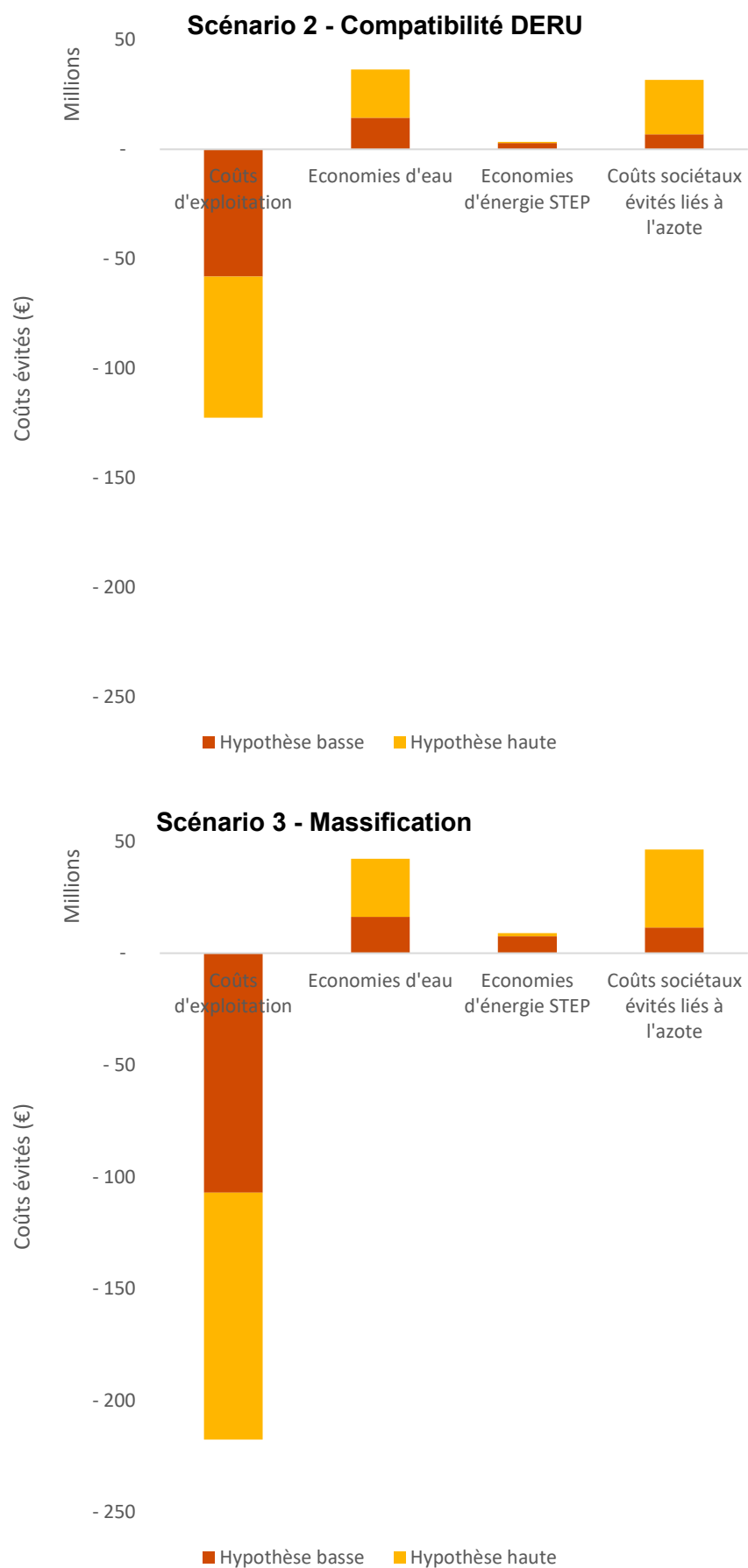
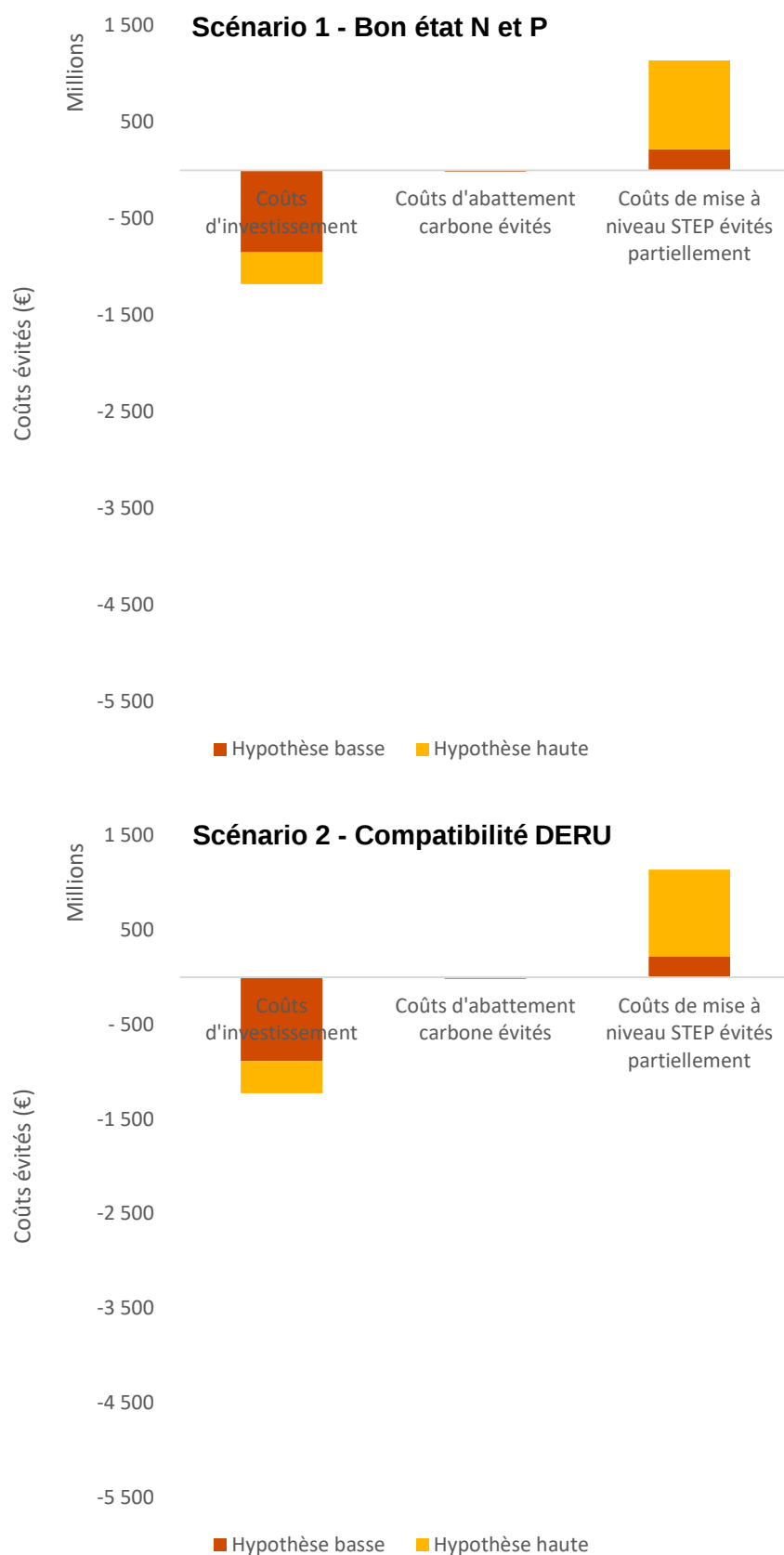


Figure 84. Comparaison des coûts d'exploitation et des externalités annuelles monétisées en 2045 par scénario.

5.5.4.2. Comparaison des coûts d'investissement et des externalités monétisées sur la période 2025-2045



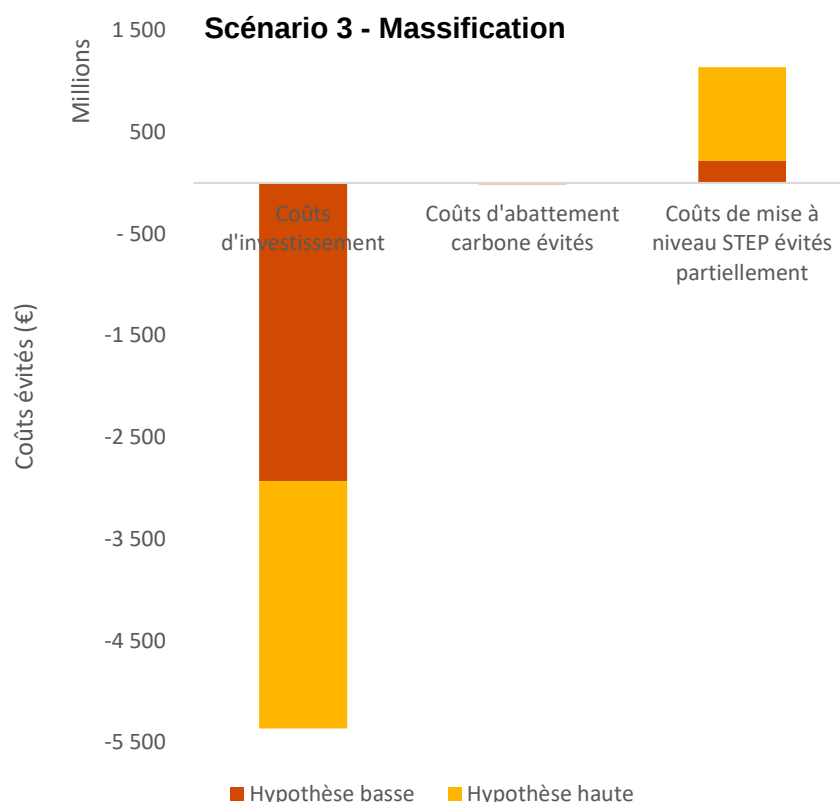


Figure 85. Comparaison des coûts d'investissement et des externalités monétisées sur la période 2025-2045, par scénario.

5.5.5. Nos messages-clés pour résumer notre analyse sur les externalités

L'analyse des externalités peut être synthétisée en quelques messages clés :

1. **Les coûts d'exploitation et les externalités positives monétisées présentent des ordres de grandeur comparables, mais il reste difficile de déterminer s'ils s'équilibrent ou non.** A noter que les hypothèses retenues pour l'évaluation des externalités sont conservatrices : le prix de l'eau est basé sur une estimation pour 2025, et le coût sociétal de l'azote repose sur des données de 2011, susceptibles d'être en réalité affectées par l'inflation. Par ailleurs, de nombreuses incertitudes subsistent quant à l'évolution de ces coûts à l'horizon 2045. Enfin, certaines externalités positives n'ont pas été monétisées (bénéfices en termes de souveraineté alimentaire, réduction des flux de phosphore vers les milieux naturels).
2. **Pour évaluer l'approche la plus efficiente entre la séparation à la source et la modernisation des stations d'épuration,** il convient d'examiner, au cas par cas pour chaque station, deux questions essentielles :
 - La mise à niveau de la station d'épuration est-elle techniquement réalisable ? Si oui, à quel coût ?
 - Une seule de ces solutions suffirait-elle, ou faut-il une approche combinée ?

3. Le **scénario 3, fondé sur l'utilisation des WC électroménagers**, présente un intérêt stratégique en matière de souveraineté alimentaire et pourrait générer d'importantes externalités positives. Cependant, ce dispositif étant encore à l'état de prototype, les hypothèses de cette filière restent entourées de **grandes incertitudes, concernant les coûts d'investissement** (prix d'achat), **d'exploitation** (frais d'opération et de maintenance) **et les impacts environnementaux** (émissions de CO₂, rejets de NH₃, consommation énergétique).
4. Le **critère carbone ne constitue pas le levier le plus pertinent pour évaluer ces filières**, car les coûts évités liés à la réduction des émissions carbone restent marginaux par rapport aux autres externalités. En effet, ces solutions ne relèvent pas directement d'une technologie de décarbonation. En comparaison, d'autres technologies se révèlent plus efficaces pour faire de l'abattement carbone.

Tableau 18. Comparaison des avantages et inconvénients relatifs entre les 3 scénarios en termes d'externalités.

	Scénario 1 Bon état écologique	Scénario 2 Compatibilité DERU	Scénario 3 Massification-WC
Consommations d'eau évitées*	-	+	++
Consommations énergétiques évitées*	-	+	++
Emissions de CO2 évitées*	+	++	-
Impacts azote et phosphore évités*	-	+	++
Renforcement de la souveraineté alimentaire*	-	+	++

*En valeur absolue, les externalités générées par les scénarios 1 et 2 sont très proches.

6. Conclusions

6.1. Résumé des messages clés de l'étude

Des opportunités de déploiement des filières de séparation à la source des urines existent sur l'ensemble du territoire. Même si ces filières, à elles seules, ne permettent pas partout d'atteindre le bon état écologique des cours d'eau ou les objectifs de rendement de la directive DERU 2 pour les stations d'épuration, elles apportent **toujours une contribution significative à l'amélioration de la qualité des masses d'eau**, notamment sur le paramètre nitrate.

Certains acteurs apparaissent comme particulièrement stratégiques pour le déploiement des filières. Notamment, dans les zones où ils sont surreprésentés, certains ERP offrent un fort potentiel de collecte d'urines, permettant ainsi de réduire la pression sur les stations d'épuration locales. Ces ERP peuvent donc être identifiés comme des cibles prioritaires pour initier des démarches ciblées.

Ces filières engendrent néanmoins des coûts d'investissement et d'exploitation significatifs, qui ne peuvent être intégralement couverts par les seules recettes issues de la vente d'urinofertilisants. Face aux enjeux de pollutions des milieux aquatiques, il est donc **nécessaire d'évaluer, pour chaque territoire, la solution la plus efficiente entre modernisation des stations d'épuration et déploiement de la séparation à la source.**

À long terme, la généralisation de la collecte des urines devra passer par un déploiement plus large des filières dans les logements existants. Le développement futur d'un « WC électroménager », capable de traiter les urines sur place, constitue une piste prometteuse pour massifier la collecte sans alourdir la logistique. Ce dispositif, encore au stade de prototype, est toutefois encore entouré de nombreuses incertitudes techniques, économiques et environnementales.

Au regard des enjeux majeurs de souveraineté alimentaire, le soutien à la filière doit dépasser le seul champ des politiques de l'eau **en établissant des passerelles avec les acteurs du monde agricole** et les autorités en charge des politiques alimentaires.

6.2. Chiffres clés et préconisations issus des scénarios

Cette étude a permis d'identifier neuf filières de séparation, de collecte et de traitement des urines adaptées au territoire francilien, en intégrant les faisabilités techniques et les contraintes logistiques liées à la typologie des bâtiments (logements ou ERP) ainsi qu'à la diversité des contextes territoriaux (zones denses, urbaines ou rurales). Par la suite, trois scénarios de déploiement ont été élaborés, chacun répondant à un objectif spécifique :

- Le premier scénario ciblait les territoires où les masses d'eau sont dégradées, afin de contribuer à l'atteinte du bon état écologique sur les paramètres azote et phosphore des milieux récepteurs en sortie de station d'épuration ;
- Le deuxième scénario visait à accompagner la mise en conformité des stations d'épuration actuellement non conformes avec les exigences renforcées de la directive européenne sur le traitement des eaux urbaines résiduaires (DERU 2) ;

- Le troisième scénario explorait les effets d'un déploiement généralisé des filières, sans distinction territoriale, intégrant l'essor de solutions innovantes telles que les WC électroménagers, capables de concentrer les urines directement au sein des logements.

Une approche ciblée sur les territoires à fort potentiel est préconisée, afin d'atteindre les objectifs spécifiques à chaque scénario et d'amorcer un passage à l'échelle industrielle des filières de séparation et de valorisation des urines.

- Le scénario 1 « Vers le bon état écologique sur N et P » permet d'identifier **9 bassins versants prioritaires**, où la mise en place de filières de séparation à la source pourrait permettre de séparer **2 072 tonnes d'azote par an en 2045**.
- Le scénario 2 « Vers la mise en compatibilité DERU » cible quant à lui **9 stations d'épuration en Île-de-France**, qui pourraient améliorer significativement leur rendement en azote – voire atteindre les objectifs fixés par la DERU –, en séparant jusqu'à **4 086 tonnes d'azote par an de leurs zones de collecte à l'horizon 2045**.

Ces deux scénarios restent toutefois théoriques et il est recommandé d'avoir une approche conjointe et complémentaire auprès des communes, gestionnaires des bassins versants et des opérateurs de STEP pour amorcer un déploiement à grande échelle des filières en région Ile-de-France.

7. Annexes

7.1. Modèle de calcul alimentation-excrétion

Le principe d'estimation de la production d'excreta se base sur le modèle Alimentation-Excrétion, théorisé par Esculier (2018) et développé dans le cadre du projet de recherche TANGO (Fardet et al. n.d.). Le principe de ce modèle est de considérer la quantité de nutriment excrétée comme directement dépendante de la quantité de nutriments ingérés dans l'alimentation, au travers d'un modèle dit « métabolique ».

Alors que les études précédemment réalisées considéraient la concentration des urines comme une constante et se focalisait donc sur l'estimation des volumes excrétés (MAMMO et al. 2024), la méthode retenue ici se base sur un flux de nutriment journalier excrété directement lié au flux journalier ingéré, en se basant sur les données de l'enquête INCA 3. A partir des flux ingérés, le modèle se base sur des ratios de répartition des nutriments ingérés entre les excreta (urines / fèces), la rétention, et les autres pertes (sueur, ...). Ces ratios sont construits par une compilation de sources bibliographiques issues de domaines de la médecine spécifiques à l'âge (notamment pour tenir compte de la partie rétention des enfants). Le volume d'urine n'est, dans ce modèle, pas directement lié à l'ingestion, mais est calculé de manière analogue en se basant sur la littérature. Il en va de même pour le nombre de miction journalier. Ainsi, dans ce modèle, la concentration n'est plus une hypothèse de départ, mais la résultante d'un calcul séparé du volume et des nutriments excrétés.

Les ratios journaliers d'excrétion de N et P retenus pour la moyenne de la population française sont présentés dans le tableau ci-dessous. Sur la base de la littérature, la fraction minérale de l'azote retenue est de 80% pour les urines (Martin et al. 2020) et 20% pour les matières fécales (Jönsson 2005).

	N g/j	P g/j
Total ingéré	10,5	0,7
Urines	8,90	0,43
Fèces	1,57	0,29

7.2. Modèle de calcul pour les gros gisements

La méthode générique pour évaluer ce gisement est la même, et comprend deux étapes permettant d'appliquer le modèle alimentation-excrétion.

- (1) Déterminer l'**effectif dans le lieu considéré** : cette étape vise à déterminer le nombre et le type de personnes concernées par le gisement calculé. Dans certains cas particuliers comme les WC publics, il est plus simple de comptabiliser le nombre d'équipements.
- (2) Définir la **fraction d'excrétion associée au lieu considéré** : deux méthodes peuvent être utilisées pour cela :

- a. La **méthode « flux »** déduit la fraction en fonction du temps passé dans le lieu. Lorsque ce temps se définit en jours entiers (par exemple, pour les flux touristiques, avec l'approximation qu'une nuitée touristique correspond à un jour sur le territoire), le ratio de production journalier peut directement être utilisé. Lorsque ce temps se définit en minutes, le flux d'excrétion correspond au rapport entre le temps passé dans le lieu et le temps journalier disponible pour uriner. Ce temps disponible est estimé à partir d'une enquête INSEE en fonction du sexe et de la catégorie socioprofessionnelle. Cette méthode ne prend cependant pas en compte la propension à passer aux toilettes de manière privilégiée dans certains lieux plutôt que d'autres. Elle a donc tendance à maximiser les flux calculés. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$\phi_{an} = J_{lieu} \times \phi_{jour} \frac{t_{lieu}}{t_{dispo}}$$

Avec ϕ_{an} le flux annuel par personne, J_{lieu} le nombre de jours passés dans le lieu, ϕ_{jour} le flux d'excrétion journalière (avec trois variables dissociées : volume, N et P, qui dépendent également du public considéré sur le lieu) ; t_{lieu} le temps journalier passé dans le lieu et t_{dispo} le temps journalier disponible pour uriner.

- b. La **méthode « passages »** formule une hypothèse sur le nombre de passage aux toilettes (ou miction) par effectif comptabilisé. Dans certains lieux (emploi, parcs d'attractions), il peut y avoir plus d'un passage aux toilettes par personne, tandis que dans d'autres (salles de spectacles, centres commerciaux), il y a moins d'un passage par personne. Lorsque l'effectif correspond à un nombre d'équipements (ex. WC publics), la méthode « passage » revient à déterminer le nombre annuel d'utilisation de l'équipement. Le nombre de mictions journalières en fonction de l'âge étant connu par la littérature, la quantité excrétée par miction en termes de volume N et P est également connue et peut simplement être multipliée par le nombre de miction.

$$\phi_{an} = J_{lieu} \times N_{mix} \times \phi_{mix}$$

Avec N_{mix} le nombre de miction par personne, et ϕ_{mix} le flux associé à une miction (ici également, distinct pour le volume, N et P, et dépendant de l'âge de la personne)

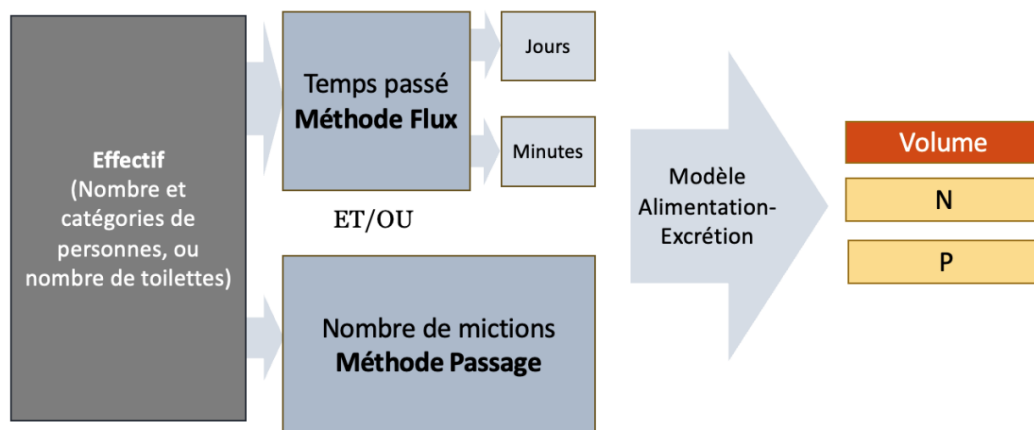


Figure 86. Méthodologie de quantification des urines : méthode Flux et méthode Passage.

Remarques :

- Lorsqu'il n'existe pas de source fiable pour réaliser des hypothèses sur le temps passé et sur le nombre de passage aux toilettes par personne, la valeur retenue est une moyenne des deux méthodes, permettant d'équilibrer les défauts de l'une et l'autre.
- Il existe un point d'équilibre entre la méthode flux et la méthode passage, auquel les deux méthodes donnent le même résultat :

$$(J_{pas}) \times N_{mix} \times \phi_{mix} = (J_{flux}) \times \phi_{jour} \frac{t_{lieu}}{t_{dispo}}$$

Note : par construction, le nombre de jour peut être différent dans la méthode flux et passage, mais s'il est identique, les deux termes s'annulent.

Ce point d'équilibre est utile afin de déterminer le nombre de passage théorique dans certains lieux tout en assurant une cohérence avec les hypothèses de temps passé dans ce lieu. C'est notamment le cas pour l'emploi et la formation, pour lesquels les données d'emploi du temps utilisées dans l'approche globale (méthode flux) peuvent être associées à un nombre de passage théorique (méthode passage) pour l'approche par gros gisements.

7.3. Résultats détaillés de l'analyse de gisements

7.3.1. Gisement global

	Urines		Fecès			Total			
	Volume (m3)	N (t)	P (t)	Masse (t)	N (t)	P (t)	Masse (t)	N (t)	P (t)
2020									
Domicile	4 157 797	28 346	1 963	424 988	4 628	1 288	4 582 784	32 973	3 251
Emplois	1 212 479	7 760	533	123 933	1 262	343	1 336 413	9 022	876
Formation	250 439	2 265	158	25 599	375	107	276 037	2 639	265
Tourisme	264 073	4 034	281	43 297	669	192	307 369	4 704	473
Autres - Loisirs	390 283	2 802	195	39 893	459	130	430 176	3 260	326
TOTAL	6 275 071	45 206	3 130	657 709	7 392	2 061	6 932 780	52 598	5 190
2030									
Domicile	4 223 965	28 813	1 995	431 751	4 704	1 310	4 655 716	33 516	3 305
Emplois	1 304 308	8 347	573	133 319	1 358	369	1 437 628	9 705	943
Formation	252 960	2 296	160	25 856	380	108	278 817	2 676	268
Tourisme	271 995	4 156	290	44 595	689	198	316 590	4 845	487
Autres - Loisirs	396 822	2 851	199	40 561	467	132	437 383	3 318	331
TOTAL	6 450 050	46 462	3 217	676 083	7 598	2 118	7 126 133	54 060	5 335
2035									
Domicile	4 257 628	29 046	2 011	435 192	4 742	1 321	4 692 820	33 789	3 332
Emplois	1 335 220	8 545	587	136 479	1 390	378	1 471 699	9 935	965
Formation	255 339	2 317	161	26 099	384	110	281 439	2 701	271
Tourisme	279 917	4 277	298	45 894	709	204	325 812	4 986	502
Autres - Loisirs	400 076	2 875	201	40 894	471	134	440 969	3 346	334
TOTAL	6 528 181	47 060	3 258	684 558	7 696	2 145	7 212 739	54 756	5 404
2045									
Domicile	4 324 955	29 514	2 044	442 074	4 819	1 342	4 767 029	34 333	3 386
Emplois	1 397 045	8 941	614	142 798	1 455	395	1 539 843	10 395	1 010
Formation	260 097	2 361	164	26 586	391	112	286 682	2 751	276
Tourisme	290 480	4 438	309	47 626	736	211	338 106	5 174	521
Autres - Loisirs	406 584	2 923	204	41 559	479	136	448 143	3 402	340
TOTAL	6 679 160	48 177	3 336	700 643	7 878	2 196	7 379 803	56 055	5 532

7.3.2. Gros gisements

	Nombre	Volume (m3/an)	N (t/an)	P (t/an)
Maternelles	2806	27 627	337	25
Ecoles élémentaires	4174	93 128	959	68
Collèges	1295	80 241	806	55
Lycées	1008	73 494	535	36
Université	14	42 755	274	19
Grande écoles	45	12 465	80	5
Grand établissement	8	6 797	44	3
Autres supérieur	216	31 962	205	14
Gare	5	302	2	0
Aéroport	2	24 886	173	12
Aires de repos	20	600	4	0
Aires de service	43	3 870	25	2
Gros centre commercial	6	5 126	33	2
Petit centre commercial	32	6 059	39	3
Gros musée	11	7 641	49	3
Petit musée	38	1 095	7	0
Petit parc à thème	10	1 086	7	0
Gros parc à thème	5	15 627	100	7
Île de loisir	12	796	5	0
Monument historique	2	704	5	0
Monument religieux	2	104	1	0
Château	9	2 134	14	1
Grosse salle de spectacle	21	1 497	10	1
Petite salle de spectacle	71	662	4	0
Cinéma	311	3 154	20	1
Stade	19	1 722	11	1
Toilettes publiques	2419	13 864	89	6
Toilettes RATP	47	269	2	0
Clusters d'entreprises	70	127 200	814	56
Entreprise > 5k	14	21 967	141	10
Entreprise 2-5 k	92	58 701	376	26
Centre de congrès	24	7 990	51	4
Petit Festival	24	195	1	0
Gros Festival	5	433	3	0

7.4. Calcul de l'utilisation d'engrais en agriculture

Les hypothèses détaillées permettant de déterminer l'utilisation d'engrais en agriculture sont indiquées dans le Tableau ci-dessous. Les principales sources de données utilisées sont les enquêtes PK :

Ministère de l'Agriculture (SSP), Pratiques culturales sur les grandes cultures - 2017

Ministère de l'Agriculture (SSP), Pratiques culturales en prairie - 2017

Tableau 19. Détail des hypothèses utilisées pour évaluer les besoins agricoles par culture (unités : kg/ha ; Ntot conv : azote total utilisé en conventionnel ; Norgbio : azote organique (et donc azote total) utilisé en agriculture biologique)⁸⁰.

CULTURE	Type	Donnée	Ntot conv	Dont N min conv	P2O5	K2O	Norg bio	%Nmin substituable
Blé tendre	Céréales	REG - CA	170*	169	35*	40*	75	50%*
Orge	Céréales	REG - CA	130*	113	35*	40*	186	50%*
Colza	Oléagineux	REG - CA	175	161	35*	40*	103	50%*
Maïs grain	Céréales	REG - CA	160*	131	35*	40*	236	100%*
Betterave non fourragère / Bette	Cultures Industrielles	REG - CA	114	86	35*	40*	0	50%
Prairie permanente	Prairies / Fourrages	REG	63	28	4	6	0	0%*
Pois protéagineux	Protéagineux	REG - CA	2	1	35*	40*	41	50%
Tournesol	Oléagineux	FR - CA	54	44	35*	40*	98	50%
Prairie temporaire diversifiée	Prairies / Fourrages	REG	109	49	11	16	0	0%*
Blé dur	Céréales	FR - CA	191	188	35*	40*	70	50%*
Lin	Oléagineux	FR - CA	79	66	35*	40*	90	50%
Légume / maraichage	Maraîchage, Vigne, Vergers, PPAM	SOL	150	75	50	300	150	50%
Féverole	Protéagineux	REG	7	7	17	24	0	50%
Triticale	Céréales	FR - CA	133	91	35*	40*	116	50%
Soja	Protéagineux	FR - CA	10	3	35*	40*	107	50%
Maïs ensilage	Céréales	FR - CA	160	62	35*	40*	178	100%*

⁸⁰ Données :

- REG : données régionales de l'enquête PK ;
- FR : valeur nationale de l'enquête PK ;
- CA : données validées et/ou modifiées à dire d'experts par la Chambre d'Agriculture. Les données directement issues des dire d'experts de la CA sont marquées par une étoile* ;
- SOL : Données Solagro.

Prairie rotation longue	Prairies / Fourrages	REG	109	49	11	16	0	0%*
PPAM	Maraîchage, Vigne, Vergers, PPAM	SOL	100	0	33		100	0%*
Arboriculture	Maraîchage, Vigne, Vergers, PPAM	SOL	30	15	10	40	30	50%
Prairie temporaire - graminée pure	Prairies / Fourrages	REG	63	28	4	6	0	0%
Maïs doux	Céréales	REG - CA	160*	131	35*	40*	236	100%*
Vigne	Maraîchage, Vigne, Vergers, PPAM	FR	13	0	15	29	0	50%

7.5. Fiches synthétiques des filières de gestion des urines

Voir pages suivantes.

F1



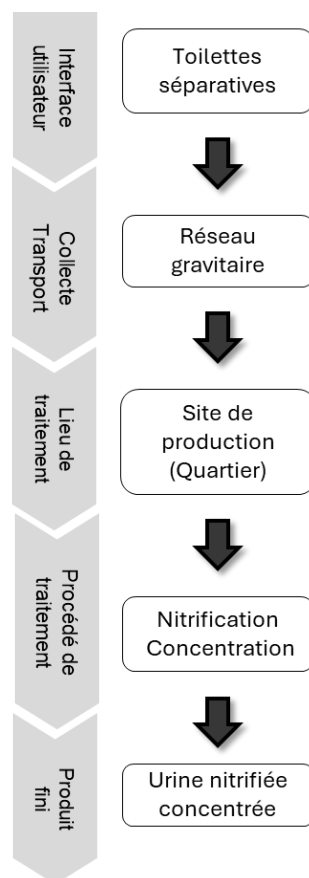
Logements neufs

Rénovation de
copropriétés



Dans les zones **denses**, les « **logements neufs et grosses rénovations** » bénéficient d'un traitement sur site pour concentrer et stabiliser les urines par nitrification.

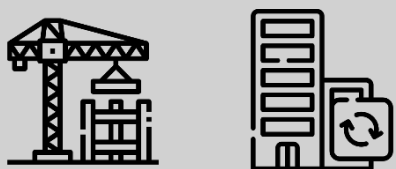
2035
2045



	2035		2045	
	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an
Logement neuf	27 643	139	20 969	106
Copropriétés rénovées	11 800	62	23 600	123

Le traitement se fait sur site à l'échelle du bâtiment ou du quartier, pour éviter des transports par camion en zone dense. Seuls les fertilisants concentrés produit sont transportés et exportés vers les zones agricoles.

F2



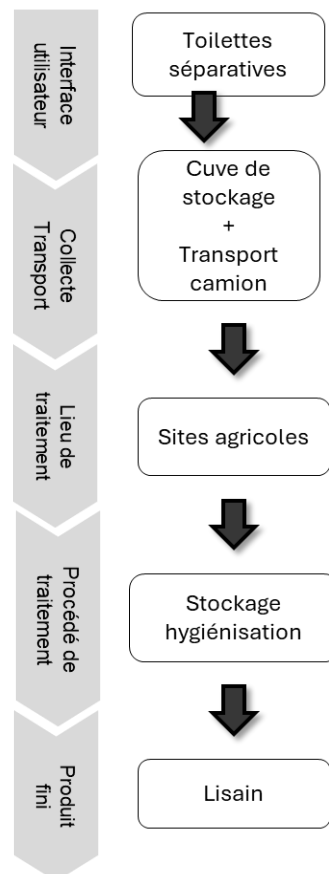
Logements neufs

Rénovation de
copropriétés



Dans les zones **urbanisées**, pour « *les logements neufs et grosses rénovations* », l'urine est stockée puis exportée vers les zones agricoles pour une hygiénisation et une utilisation en agriculture.

2035
2045



	2035		2045	
	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an
Logement neuf	18 928	96	13 904	70
Copropriétés rénovées	23 176	117	46 352	234

Les zones **urbanisées** sont proches des espaces agricoles. La collecte par camion peut être envisagée à partir de cuves installées en sous-sol ou RDC.

F3

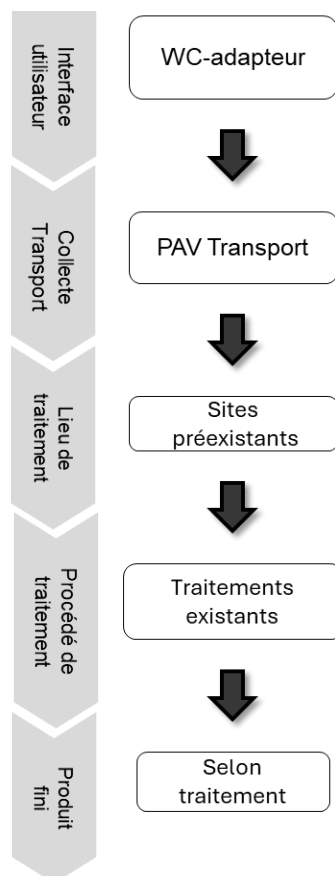


Rénovation de logements



Dans les zones **denses** et **urbanisées**, les « **logements en rénovation** » sont équipés d'adaptateur de toilettes pour collecter les urines. Des points d'apport volontaires permettent de collecter les urines qui sont traitées sur des sites existants.

2035
2045



	2035		2045	
	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an
Logements rénovés	95 851	488	191 701	977

F4

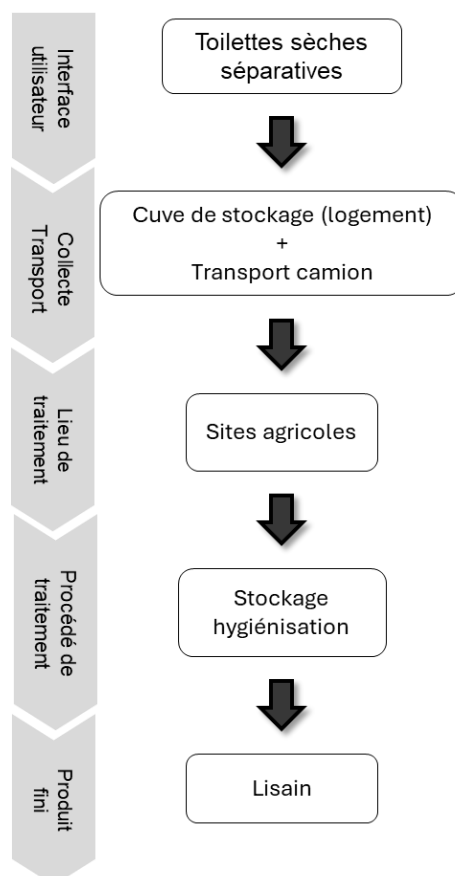


Logements
en ANC



Dans les zones **rurales**, les **logements en assainissement non collectif** s'équipent de toilettes sèches à séparation, avec une cuve de stockage individuelle pour collecter les urines, qui sont valorisées en Lisain sur les parcelles agricoles.

2035
2045



	2035		2045	
	Nb de logements	Gisement d'urine tN/an	Nb de logements	Gisement d'urine tN/an
Logements Neufs	459	2.3	359	1.8
Rénovation logements	2564	13	5128	26
Logements existants	50 005	254		

F5



Logements



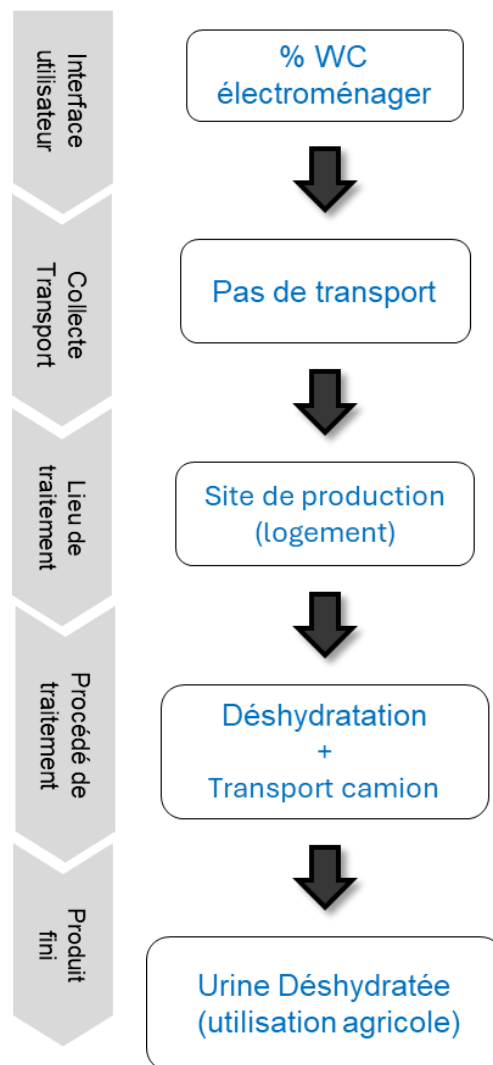
Tous les logements



AC

Filière « Plug and Play »

2045



	Nb de logement	Gisement d'urine tN/an
Logements existants	5 528 083	28 091

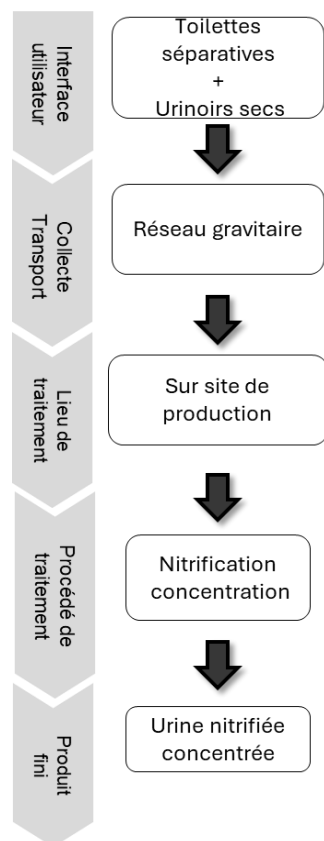
Une nouvelle filière « F5 » apparaît à l'horizon 2045. Cette filière se met en place dans toute la zone d'étude, indépendamment de la typologie du territoire et de l'état du bâtiment, et pourrait s'adapter à tout le parc de logements, avec simplement un changement de toilettes en WC électroménager (système « Plug and Play »). L'urine déshydratée est collectée par camion, pour une valorisation agricole.

F6



Les gros gisements en **zone dense** mettent en place un traitement sur site des urines collectées par des toilettes séparatives et des urinoirs. L'urine est nitrifiée et concentrée.

2035
2045



Type	Nb d'établissement	Gisement d'urine tN/an
Centres commerciaux	5	24
Culture	11	49
Monument et patrimoine	1	3.5
Parcs à thème	1	3.3
Salles de spectacles	1	1.3
Stades	2	4.1
Total	21	85

F7

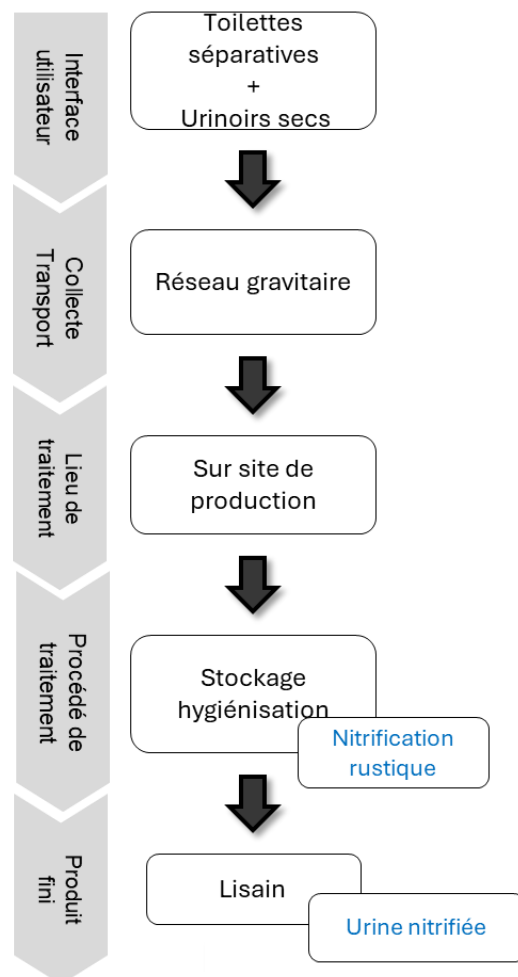


Gros ERP



Dans les zones **urbanisées** et **rurales**, les **gros gisements** hygiénisent leur urine et exporte le Lisain sur les parcelles agricoles.

2035
2045



Type	Nombre	Gisement d'urine m³/an
Aéroport	2	173
Centres commerciaux	15	42
Monument et patrimoine	1	11
Parcs à thème	3	87
Total	21	312

F8

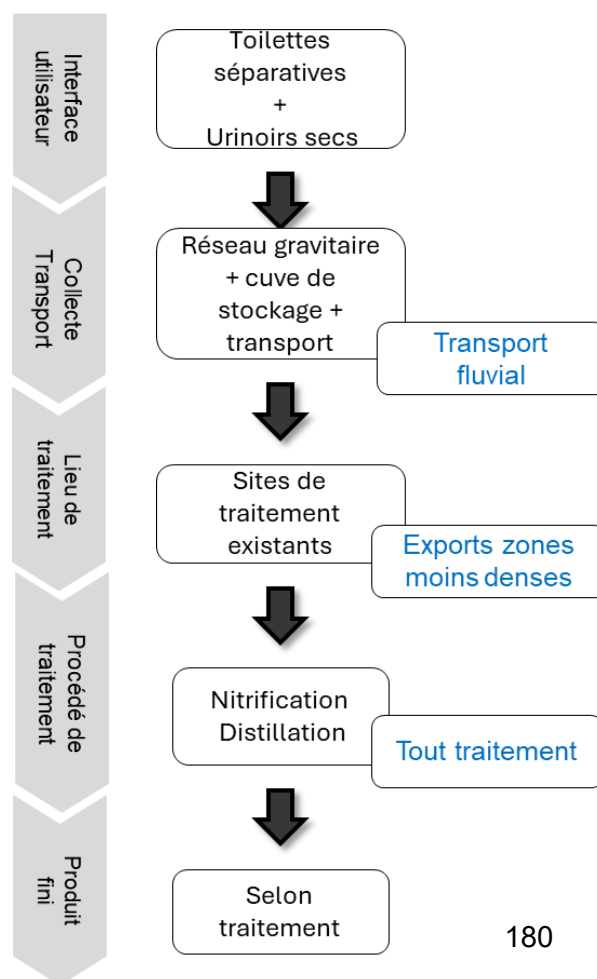


Petits ERP

D

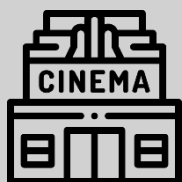
Les **petits gisements ERP** en **zone dense** utilisent les traitements existants dans leur zone pour valoriser leur urine.

2035
2045



Type	Nombre	Gisement d'urine tN/an
Centres commerciaux	2	0.3
Enseignement	2 908	1 223
Toilettes déconnectées	1 664	61
Aires d'autoroute	1	0.6
Gares	5	2
Culture	36	7
Monument et patrimoine	10	2
Parcs à thème	3	2
Salles de spectacles	202	20
Stades	8	4
Total	4855	1 321

F9

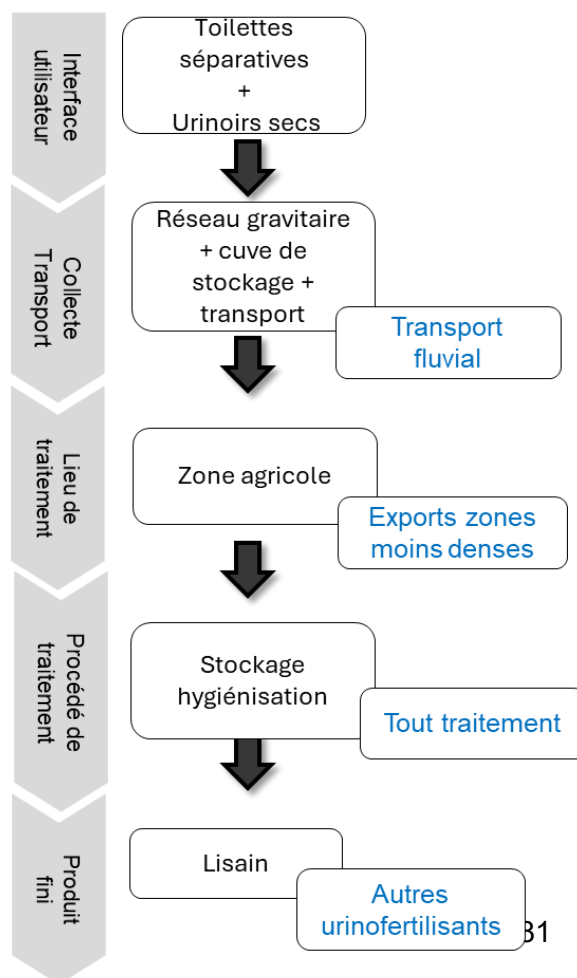


Petits ERP



Dans les zones **urbanisées** et **rurales**, les **petits gisements ERP** exportent leur urine sur les parcelles agricoles où elles sont hygiénisées.

2035
2045



Type	Nombre	Gisement d'urine tN/an
Centres commerciaux	16	5
Enseignement	6658	2 078
Toilettes déconnectées	802	29
Aires d'autoroute	62	28
Culture	2	0
Monument et patrimoine	7	2
Parcs à thème	19	7
Salles de spectacles	215	13
Stades	10	3
Total	7796	2 165

7.6. Lien entre les concentrations cibles dans les milieux récepteurs et le ratio P/Q

Dans le chapitre 3 de ce rapport, les concentrations cible en rivière sont définies comme les concentrations en nutriment liées aux rejets de station d'épuration à atteindre bon respecter le bon état écologique des masses d'eau.

Cette manière d'identifier les stations d'épuration avec un problème concentration à atteindre trop faible est identique à la réflexion P/Q exprimé à un équivalent habitant (EH) par L/s de débit d'étiage. En effet, on peut calculer une concentration cible de rejet en station d'épuration, pour respecter la valeur cible en rivière en fonction du rapport P/Q, comme détaillé dans les formules suivantes :

$$C_{rivière}^{cible} (g/L) = \frac{EH}{Q_{MNA5} (L/s)} * \frac{Flux_{rejeté} (gN/EH/j)}{24 h/j * 3600 s/h} = \frac{EH}{Q_{MNA5} (L/s)} * \frac{150 L/EH/j * C_{rejet-STEP}}{24 h/j * 3600 s/h}$$

Donc

$$C_{rejet-STEP}^{cible} = C_{rivière}^{cible} \left(\frac{g}{L} \right) * \frac{24 * 3600}{EH / Q_{MNA5} * 150}$$

Le tableau ci-dessous résume les valeurs cibles de concentration dans le rejet de la STEP pour trois ratios P/Q : 50 et 200 et 500 (EH/L/s). On remarque ainsi qu'un ratio P/Q de 50 correspond plus ou moins aux normes de rejets d'une station d'épuration en zone sensible et d'une taille inférieure à 100 000 EH. Le ratio P/Q de 200 montre des rejets bien plus stricts qui vont au-delà de la réglementation zone sensible pour les stations de plus de 100 000 EH.

Tableau 20. Concentration cible en rejet de station d'épuration pour trois valeurs de P/Q.

	Ratio EH/ QMNA5 = 50 EH/(L/s)	Ratio EH/ QMNA5 = 200 EH/(L/s)	Ratio EH/ QMNA5 = 500 EH/(L/s)
Ammonium (mgN-NH ₄ /L)	2,4	0,6	0,2
Nitrites (mgN-NO ₂ /L)	0,5	0,1	0 ,05
Nitrate (mgN-NO ₃ /L)	13	3,2	1,3
Phosphore total (mgP/L)	1,2	0,3	0,1

Il existe ainsi une relation entre les concentrations cibles en rejet de STEP et le P/Q comme le montre la Figure 87. Pour un certain nombre de stations, les flux à retirer des cours d'eau sont très importants et les concentrations résiduelles dans les rejets sont très faibles et techniquement difficiles à atteindre. Ce sont les stations dont le P/Q est très élevé. Pour ces stations, la séparation à la source permettrait d'améliorer le rejet, mais pas d'atteindre le bon état.

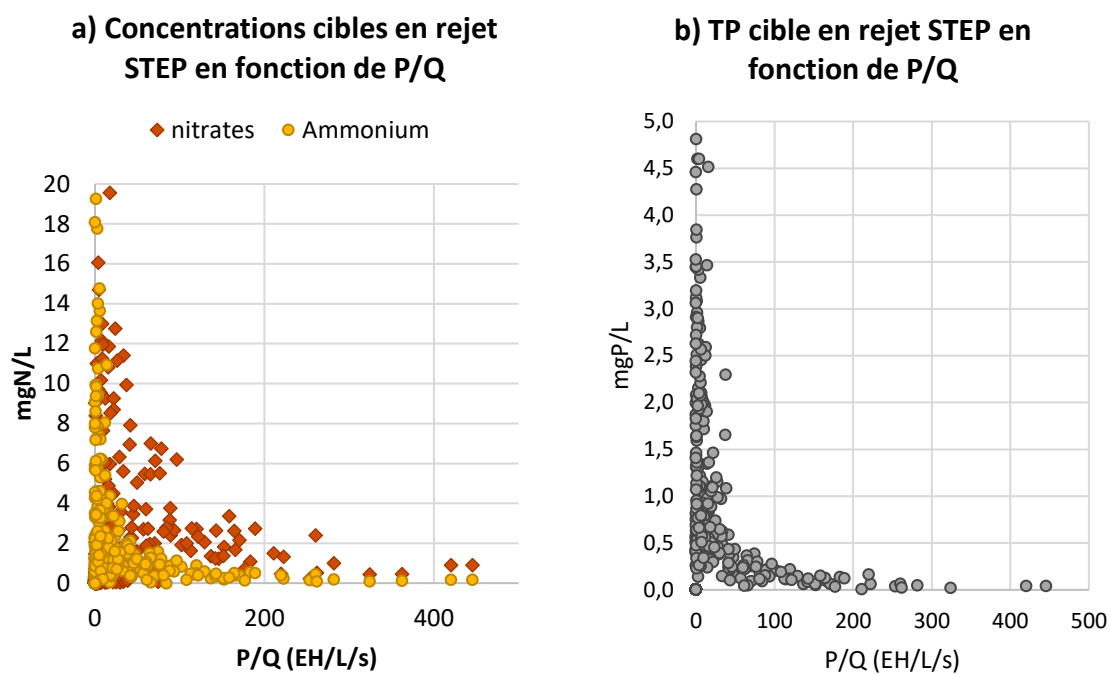


Figure 87. Concentrations cibles pour a) les nitrates et l'ammonium et b) le phosphore pour respecter le bon état en fonction de P/Q.

7.7. Hypothèses technico-économiques utilisées pour le chiffrage économique des filières et scénarios

7.7.1. Coûts d'investissement

7.7.1.1. Interface usager

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Toilettes séparatives	334	334	€/toilette	Laufen (2024)	F1, F2, F6, F7, F8, F9
Urinoirs secs	-139	19	€/toilette	Benchmark urinoirs masculins (Geberit, Duravit, Ti'Pi) et féminins (Ti'Pi, Madame Pee)	F6, F7, F8, F9
Toilettes sèches séparatives	-194	1723	€/toilette	Benchmark toilettes sèches séparatives (Separett, Bibok, Ecodomeo)	F4
WC adaptateur	100	200	€/toilette	Rapport Enville (OCAPI)	F3
WC électroménager	1723	3446	€/toilette	Hypothèse	F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Les coûts d'investissement liés aux interfaces usagers sont considérés en termes de **surcoût en euros hors taxe (HT)** par rapport à l'achat et l'installation de toilettes classiques, qui auraient eu lieu en l'absence de filières de séparation des urines. Ainsi, seules les **différences de coût avec des interfaces usagers standards** sont prises en compte dans les hypothèses basses et hautes.
- Références pour la comparaison des coûts :
 - Toilettes séparatives** : comparées à des toilettes classiques (≈ 780 € HT/unité pour la cuvette et le bâti support).
 - Urinoirs secs masculins** : comparés à des urinoirs à eau pour hommes (≈ 120 € HT/unité).
 - Urinoirs secs féminins** : comparés à des toilettes classiques (≈ 780 € HT/unité), puisque les urinoirs secs féminins existent très peu aujourd'hui.
 - Toilettes sèches séparatives** : comparées à des toilettes classiques (≈ 780 € HT/unité).
 - WC adapteurs** : ces objets étant ajoutés sur des WC classiques, seuls les surcoûts sont par nature comptabilisés dans leur coût d'achat.
- Pour les urinoirs secs** : l'hypothèse retenue pour les ERP est une répartition égale (50/50) entre urinoirs masculins et féminins. Ainsi, les surcoûts présentés pour les urinoirs secs correspondent à la moyenne des surcoûts estimés pour chaque type d'urinoir.
- Pour les WC électroménagers** : n'étant pas encore commercialisés, leur coût reste inconnu. À titre d'hypothèse, leur surcoût par rapport à un modèle standard est estimé au moins aussi élevé que la fourchette haute des toilettes sèches séparatives.

7.7.1.2. Collecte

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Réseau gravitaire quartier	39	53	€/L d'urines diluées/jour	Retours d'expérience EPAPS et SVDP	F1, F6, F7
Réseau gravitaire bâtiment			€/L d'urines diluées/jour	Retour d'expérience SVDP	F2, F8, F9

7.7.1.3. Stockage

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Cuve chez l'habitant	731	1010	€/unité de 2m ³	Benchmark cuves de stockage d'eau de pluie	F4
Cuve de stockage	2400	3121	€/unité de 10 m ³	Benchmark cuves de stockage d'eau de pluie	F2, F8, F9
Bidon	3	10	€/unité de 10L	Benchmark bidons	F3, F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Il est supposé que les cuves de stockage des urines peuvent être similaires à celles utilisées pour le stockage de l'eau de pluie, en polyéthylène (retour d'expérience Oasiis).

7.7.1.4. Point d'apport volontaire (PAV)

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Station de transvasement – PAV petit échelle	1914	1914	€/PAV	Rapport Enville (OCAPI)	F3
Station de transvasement – PAV grande échelle	3885	4385	€/PAV	Rapport Enville (OCAPI) Retour d'expérience Solagro (digestat)	F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Il est considéré que les cuves installées dans les stations de transvasement ont une capacité de 650 litres, soit 1 300 litres pour deux cuves par station.
- Dans le cas du PAV à grande échelle, on prend des cuves de moindre capacité pour le transvasement (130L), auxquelles on ajoute une poche de stockage souple de contenance 100 m³ afin de stocker les urines.

7.7.1.5. Traitement

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Nitrification distillation	263	350	€/L d'urine diluée/jour	Retours d'expérience EPAPS et SVDP	F1, F3 (zone dense), F6, F8
Hygiénisation	30	35	€/m ³ de poches souples	Retour d'expérience Solagro (digestat)	F2, F3 (zone urbaine), F4, F7, F9
Déshydratation	N/A	N/A			F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Les investissements liés à la solution de nitrification-distillation correspondent à l'acquisition et à l'installation d'une usine de traitement.
- Les investissements liés à la solution d'hygiénisation concernent l'achat de poches souples destinées au stockage à long terme des urines. Il est estimé que ces poches seront vidées deux fois par an, soit tous les six mois. Leur capacité doit donc permettre de stocker l'équivalent de la moitié du volume annuel d'urines collectées dans les filières concernées.
- Aucun investissement supplémentaire n'est prévu pour la solution de déshydratation, les coûts d'achat étant directement intégrés à celui du WC électroménager.

7.7.1.6. Transport

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Camion-citerne	0	0	€/camion		F1, F2, F4, F5, F6, F7, F8, F9
Utilitaire	802	802	€/utilitaire	Rapport Enville (OCAPI)	F3
Voiture individuelle	0	0	€/voiture		F3, F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Le transport par camion peut intervenir à différentes étapes de la chaîne de valeur, selon les filières : soit pour acheminer les urines brutes depuis le lieu de collecte jusqu'au site de traitement, soit pour transporter les urines concentrées du site de traitement jusqu'au lieu de distribution.
- L'amortissement du coût d'achat des camions et utilitaires est intégré aux coûts d'exploitation de ces véhicules.
- Les utilitaires nécessitent un investissement initial pour l'aménagement de deux cuves de stockage des urines, avec pour chacune une capacité estimée à 140 L.
- Les voitures individuelles utilisées pour acheminer les urines vers les PAV appartiennent aux particuliers et ne sont pas acquises spécialement pour ce transport. Par conséquent, ni leur achat ni leur amortissement ne sont pris en compte dans les coûts.

7.7.1.7. Distribution

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Distribution	N/A	N/A			F1, F3 (zone dense), F5, F6, F8

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Les coûts de distribution sont considérés en coûts d'exploitation uniquement. Bien que certains investissements initiaux, tels que la construction d'un entrepôt, puissent être nécessaires, ils sont pris en compte à travers leur amortissement, à l'instar des camions.

7.7.1.8. Valorisation

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Epandage urines concentrées en agriculture	0	0	€/m ³ d'engrais	Méthode Solagro	F1, F3 (zone dense), F6, F8
Epandage urines brutes en agriculture	0	0	€/m ³ d'engrais	Méthode Solagro	F2, F3 (zone urbaine), F4, F7, F9
Epandage urines déshydratées en agriculture	0	0	€/m ³ d'engrais		F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Pour l'épandage des engrais par les agriculteurs, l'analyse repose sur le surcoût par rapport à leurs pratiques actuelles, plutôt que sur le coût total en valeur absolue.
- Le coût de mécanisation supplémentaire pour l'épandage des urines brutes et concentrées (cuves d'épandage) est intégré aux coûts d'exploitation sous forme d'amortissement.
- S'agissant des urines déshydratées, il est supposé que leur utilisation s'inscrit dans la continuité des pratiques agricoles existantes, sans nécessiter d'investissement ou de surcoût d'exploitation.

7.7.2. Coûts d'exploitation

7.7.2.1. Interface usager

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Toilettes séparatives	8	17	€/toilette		F1, F2, F6, F7, F8, F9
Urinoirs secs	8	17	€/toilette		F6, F7, F8, F9
Toilettes sèches séparatives	8	17	€/toilette		F4
WC adaptateur	8	17	€/toilette		F3
WC électroménager	30	46	€/toilette		F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Les coûts d'exploitation liés à l'entretien et la maintenance des interfaces usagers sont considérés en termes de **surcoût** par rapport à l'entretien et la maintenance de toilettes classiques, qui aurait été nécessaire même en l'absence de filières de séparation des urines. Dans le cas des interfaces permettant cette séparation, un coût additionnel pourrait résulter de l'**usage accru d'acide citrique** pour limiter la cristallisation, comme signalé par certains acteurs (Oasiis).
- **Pour les WC électroménagers**, les coûts d'exploitation incluent non seulement une maintenance renforcée, similaire à celle des autres toilettes séparatives, mais aussi le coût d'opération du traitement intégré des urines (consommation électrique, maintenance). Ce coût est ici estimé équivalent à celui de la nitrification-distillation, rapporté à l'unité d'urine, avec une hypothèse de 2 L d'urines traitées par jour et par toilette (conformément aux données de sortie du scénario 3).

7.7.2.2. Collecte

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Réseau gravitaire quartier	0,5	0,8	€/L d'urines diluées/jour	Retours d'expérience EPAPS et SVDP	F1, F6, F7
Réseau gravitaire bâtiment	3	4,7	€/L d'urines diluées/jour	Retour d'expérience SVDP	F2, F8, F9

7.7.2.3. Stockage

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Cuve chez l'habitant	0	0	€/unité de 2m ³		F4
Cuve de stockage	0	0	€/unité de 10 m ³		F2, F8, F9
Bidon	0	0	€/unité de 10L		F3, F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Il est estimé que le coût d'entretien et de maintenance des cuves de stockage et bidons est négligeable.

7.7.2.4. Point d'apport volontaire (PAV)

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Station de transvasement – PAV petit échelle	618	618	€/PAV	URSSAF (Smic)	F3
Station de transvasement – PAV grande échelle	1853	1853	€/PAV	URSSAF (Smic)	F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Le coût d'exploitation d'un PAV est estimé à une heure de travail par semaine pour un petit PAV, et à trois heures par semaine pour un PAV de plus grande taille. Cette estimation repose sur l'hypothèse qu'un même agent pourra être affecté à plusieurs PAV ou partager son temps avec d'autres missions déjà en place sur le site (par ex. gestion d'une déchetterie).

7.7.2.5. Traitement

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Nitrification distillation	10,4	14,2	€/L d'urine diluée/jour	Retours d'expérience EPAPS et SVDP	F1, F3 (zone dense), F6, F8
Hygiénisation	0	0	€/m ³ de poches souples		F2, F3 (zone urbaine), F4, F7, F9
Déshydratation	N/A	N/A			F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Les coûts d'exploitation de la solution de nitrification-distillation incluent la consommation électrique, la main-d'œuvre ainsi que l'entretien et la maintenance de l'usine de traitement.
- Le traitement par hygiénisation n'engendre aucun coût d'exploitation, les frais d'entretien des poches de stockage étant considérés comme négligeables.
- Pour la solution de déshydratation, aucun coût d'exploitation supplémentaire n'est prévu, ces coûts étant directement intégrés à ceux du WC électroménager.

7.7.2.6. Transport

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Camion-citerne	0,5	0,7	€/t/km	Retour d'expérience Solagro (digestat)	F1, F2, F4, F5, F6, F7, F8, F9
Utilitaire	0,5	0,7	€/t/km	Retour d'expérience Solagro (digestat)	F3
Voiture individuelle	0,08	0,17	€/km	Historique coût de l'essence et consommation des véhicules légers	F3, F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Le transport d'urines brutes ou concentrées par camion-citerne est estimé comparable à celui du digestat en termes de coûts d'exploitation.
- L'hypothèse pour les camions et utilitaires est exprimée en euros par tonne-kilomètre (€/t/km), indépendamment de la filière, afin de prendre en compte à la fois la capacité des véhicules et les distances parcourues. Cette hypothèse couvre le coût total d'une prestation, incluant le carburant, la main-d'œuvre et la gestion des véhicules. En revanche, pour les voitures individuelles, l'hypothèse est exprimée en euros par kilomètre (€/km) uniquement, car ces trajets ne seront pas réalisés par des prestataires et la capacité des véhicules n'est pas un facteur pertinent, les voitures étant utilisées uniquement pour transporter des bidons vers les PAV.

7.7.2.7. Distribution

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Distribution	0,15	0,68	€/L d'engrais	Benchmark coûts d'exploitation engrais liquides, REX SVDP	F1, F3 (zone dense), F5, F6, F8

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Les coûts de distribution représentent la somme de plusieurs hypothèses concernant les frais liés à la mise en réservoir des engrais, l'entreposage et le stockage, les charges de personnel, ainsi que les coûts de marketing et de communication. En revanche, les coûts d'assurance et de conformité réglementaire n'ont pas été comptabilisés ici.

7.7.2.8. Valorisation

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Epandage urines concentrées en agriculture	2,58	3,72	€/m ³ d'engrais	Méthode Solagro	F1, F3 (zone dense), F6, F8
Epandage urines brutes en agriculture	2,94	3,96	€/m ³ d'engrais	Méthode Solagro	F2, F3 (zone urbaine), F4, F7, F9
Epandage urines déshydratées en agriculture	0	0	€/m ³ d'engrais		F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Pour l'épandage des urinofertilisants par les agriculteurs, l'analyse présente le **surcoût** par rapport à leurs pratiques actuelles, plutôt que le coût total en valeur absolue.
- La moindre concentration en azote des urines brutes et concentrées par rapport aux engrais standards entraîne des coûts d'épandage plus élevés. Cela s'explique par la nécessité de réaliser davantage de passages, ainsi que l'utilisation de matériel spécifique (cuves d'épandage), dont l'amortissement est intégré dans les coûts d'exploitation.
- S'agissant des urines déshydratées, il est supposé que leur utilisation s'inscrit dans la continuité des pratiques agricoles existantes, sans nécessiter d'investissement ou de surcoût d'exploitation.

7.7.3. Flux économiques liés à la valorisation des urinofertilisants

7.7.3.1. Recettes pour les exploitants via la vente des urinofertilisants

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
Lisain	0	1	€/kg d'azote	Coût zéro rendu racine Benchmark engrais minéraux et organiques	F2, F3 (zone urbaine), F4, F7, F9
Urines nitrifiées concentrées	1	2	€/kg d'azote	Benchmark engrais minéraux et organiques	F1, F3 (zone dense), F6, F8
Urines déshydratées	1	2	€/kg d'azote	Benchmark engrais minéraux et organiques	F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Ces hypothèses doivent être interprétées en termes de **recettes d'exploitation pour les exploitants**, permettant de compenser tout ou partie de leurs coûts d'exploitation.
- Ces recettes sont financées par les agriculteurs qui achètent les engrais auprès des exploitants. Cependant, le surcoût pour les agriculteurs ne correspond pas directement à ce montant, mais à la différence entre ces coûts et ceux des engrais traditionnels (voir tableau ci-dessous).

7.7.3.2. Surcoûts pour les agriculteurs liés à l'achat d'engrais

Solution	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité	Source de données	Filière(s) concernée(s)
----------	-----------------	-----------------	-------	-------------------	-------------------------

Lisain	-1	0	€/kg d'azote	Coût zéro rendu racine Benchmark engrais minéraux et organiques	F2, F3 (zone urbaine), F4, F7, F9
Urines nitrifiées concentrées	0	1	€/kg d'azote	Benchmark engrais minéraux et organiques	F1, F3 (zone dense), F6, F8
Urines déshydratées	0	1	€/kg d'azote	Benchmark engrais minéraux et organiques	F5

Points méthodologiques et hypothèses retenues

- Ces hypothèses doivent être interprétées en termes de **surcoûts pour les agriculteurs par rapport à leurs pratiques actuelles** avec des engrais de synthèse.
- Les surcoûts pour les agriculteurs ne doivent pas être additionnés aux recettes d'exploitation, car tous deux représentent le même flux, mais pour deux acteurs différents : les recettes pour l'exploitant d'une part, et les surcoûts pour les agriculteurs d'autre part.

7.8. Chiffrage économique des externalités monétaires liées à l'azote

Grâce au bilan matière, les quantités d'azote évitées ou générées par rapport à un scénario de référence ont pu être estimées.

Tableau 21. Quantités de différentes formes d'azote évitées ou générées par rapport au scénario de référence (en kg de N par an en 2045).

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Impacts évités en station d'épuration			
Kg N_r évité/an*	1 310 700	1 401 864	2 886 392
Kg N₂O évité/an	53 532	56 941	116 258
Impact additionnels liés aux urinofertilisants			
Kg N₂O généré par le traitement nitrification distillation / an	19 235	20 527	19 686
Kg NH₃ additionnels générés / an	68 422	69 757	772 545

*Note : il est considéré que l'azote évité en rivière est constitué à 85% d'azote réactif (N_r).

Par ailleurs, le chiffrage des externalités monétaires liées à l'azote s'appuie sur les hypothèses suivantes, extraites de l'étude ENA (*European Nitrogen Assessment*, 2011).

Tableau 22. Plages estimées des coûts unitaires des dommages pour les principaux polluants à l'azote (en euros par kg d'azote).

	Santé		Ecosystèmes		Climat	
	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute
N_r dans l'eau	0	4	5	20	0	0
NH₃-N dans l'air	2	20	2	10	0	0
NO_x dans l'air	10	30	2	10	0	0
N₂O-N dans l'air	1	3	0	0	5	15

En rapportant les impacts de l'azote aux coûts monétaires estimés, il est possible d'évaluer les externalités monétisées. A noter que **seules les externalités liées aux effets de l'azote sur la santé et les écosystèmes ont été quantifiées ici**, puisque les impacts sur le climat ont été pris en compte séparément, via la valeur tutélaire du carbone selon le rapport Quinet (voir [partie précédente](#)).

Ainsi, les externalités économiques estimées en euros par an en 2045 sont les suivantes, en commençant par celles relatives à la **santé**.

Tableau 23. Impacts monétaires estimés sur la santé (en euros par an en 2045).

	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute
Impacts évités en station d'épuration						
N_r évité (€/an)	0	5 242 800	0	5 607 456	0	11 545 567
N₂O évité (€/an)	53 532	160 596	56 941	170 823	116 258	348 773
Impacts additionnels liés aux urinofertilisants						
N₂O généré nitrification distillation (€/an)	19 235	57 704	20 527	61 581	19 686	59 059

NH₃ additionnels générés (€/an)	136 845	1 368 450	139 515	1 395 147	1 545 090	15 450 905
Solde net	- 102 547	3 977 243	- 103 101	4 321 551	- 1 448 519	- 3 615 624

En soustrayant les impacts monétaires additionnels liés aux urino-fertilisants aux économies associées aux réductions de rejets d'azote en station d'épuration, on obtient un bilan contrasté en matière de santé. En effet, dans l'hypothèse basse, ainsi que dans le scénario 3, quel que soit le cas de figure, les coûts sanitaires générés dépasseraient les économies réalisées. En revanche, dans l'hypothèse haute des scénarios 1 et 2, les économies en matière de santé l'emporteraient sur les coûts additionnels.

Toutefois, dans tous les cas, les éventuelles pertes économiques liées aux impacts sur la santé seraient compensées d'un point de vue monétaire par les économies liées aux impacts évités sur les écosystèmes.

Tableau 24. Impacts monétaires estimés sur les écosystèmes (en euros par an en 2045).

	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute	Hyp basse	Hyp haute
Impacts évités en station d'épuration						
N, évité (€/an)	6 553 500	26 214 000	7 009 319	28 037 278	14 431 959	57 727 836
Impacts additionnels liés aux urino-fertilisants						
NH₃ additionnels générés (€/an)	136 845	684 225	139 515	697 573	1 545 090	7 725 452
Solde net	6 416 655	25 529 775	6 869 805	27 339 704	12 886 869	50 002 384

Au total, sur le plan strictement comptable, les économies réalisées en matière de santé et de préservation des écosystèmes sont estimées dans les fourchettes suivantes :

- **Scénario 1** : entre **6,3 et 29,5 millions d'euros** de coûts évités par an liés à l'azote à compter de 2045,
- **Scénario 2** : entre **6,8 et 31,7 millions d'euros** de coûts évités par an,
- **Scénario 3** : entre **11,4 et 46,4 millions d'euros** de coûts évités par an.