

Mémoire de fin d'études Le WC comme architecture de la rupture à la recouture métabol

Auteur : Dautzenberg, Sam

Promoteur(s) : Zimmer, Alexis

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/25657>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Université de Liège, Faculté d'Architecture

Le WC comme architecture de la rupture à la recouture métabolique

Travail de fin d'études présenté par Sam DAUTZENBERG en vue de
l'obtention du grade de master en Architecture

Sous la direction de Monsieur Zimmer

Année académique 2025-2026



LE WC COMME ARCHITECTURE
DE LA RUPTURE
À LA RECOUTURE MÉTABOLIQUE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon promoteur, Alexis Zimmer, pour son accompagnement tout au long de ce travail. Je le remercie pour ses conseils, sa disponibilité, sa bienveillance ainsi que son enthousiasme pour ce sujet, qui ont été encourageants dans le processus de ce TFE.

Je tiens également à remercier Céline Bodart et Jean-Philippe Possoz, pour leur disponibilité et leur intérêt porté à ce travail.

Je remercie Nicolas et Émeline pour leur soutien, pour leur relecture attentive ainsi que pour leurs retours et leurs remarques constructives.

RÉSUMÉ/ABSTRACT

Mots-clés : WC, rupture métabolique, assainissement, toilettes séparatives, nutriments, architecture, écologie

Résumé

Ce travail de fin d'études porte sur le WC comme objet du quotidien, mais aussi comme élément technique, social et architectural qui influence notre manière d'habiter et de gérer les excréta humains. À partir de ce sujet, la problématique cherche à comprendre comment les toilettes modernes, en particulier le tout-à-l'égout, ont participé à la rupture entre les villes, les campagnes et les cycles naturels, en assimilant les nutriments contenus dans les déchets humains de retourner aux sols qui nourrissent nos aliments. Pour y répondre, la recherche s'appuie sur des sources historiques, théoriques, réglementaires et graphiques, ainsi que sur l'étude de plans, de documents d'archives et d'alternatives contemporaines comme les toilettes séparatives. Les résultats montrent que le WC n'est pas seulement un outil de confort et d'hygiène, mais aussi un acteur d'un système plus large qui a rendu les flux invisibles et renforcé une logique linéaire de rejet. Le travail montre également que des solutions existent pour recréer des boucles plus circulaires, notamment en valorisant l'urine et en repensant les infrastructures sanitaires. Ainsi, ce mémoire met en évidence que concevoir autrement les toilettes peut contribuer à une transition écologique et à une nouvelle relation entre architecture, ville et nature.

USAGE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET OUTILS NUMÉRIQUES

Dans ce travail, j'ai utilisé ponctuellement des outils d'intelligence artificielle. Ils m'ont aidé à reformuler certains passages, clarifier des idées et organiser le texte. Je les ai également utilisés pour corriger l'orthographe, la syntaxe ainsi que pour mieux comprendre certains points.

J'ai également utilisé DeepL pour m'aider à traduire certains extraits ou documents en langue étrangère. Zotero m'a servi à organiser les références bibliographiques, et Scribbr a été utilisé comme outil d'aide à la vérification bibliographique.

Ces outils ont uniquement servi d'appui technique et méthodologique. Le contenu, les analyses, l'argumentation et les conclusions présentés dans ce travail résultent de mon travail personnel, de ma réflexion et de mes recherches.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	11
LE WC	12
BASCULEMENT	18
CONTEXTE GENERALE	19
CHOISIR CE SUJET	20
RUPTURE METABOLIQUE	23
PROBLEMATIQUE	25
MÉTHODOLOGIE	26
PLAN	28
 LA RUPTURE DU XIX^e SIÈCLE	 31
GESTION CIRCULAIRE	32
URBANISATION	36
DISLOCATION	40
 EVOLUTION ET SPATIALISATION DES WC	 46
XVII ^e - FIN XIX ^e : latrines collectives et excréta hors du logement	47
FIN XIX ^e - DÉBUT XX ^e : intériorisation hiérarchies sociales	56
FIN XIX ^e - XX ^e : normalisation ouvrière et logement social	66
FIN XX ^e : un modèle que l'on ne questionne plus	80
XXI ^e : un modèle qui se perpétue	84
 AMPLIFICATION	 89
STATION D'ÉPURATION	91
RUPTURE METABOLIQUE	97
LES LIMITES	101
DU GUANO	106
CRISE DU PHOSPHATE	110
 CONSÉQUENCES	 115
LES SOLS	118
ÉPANDAGE	121
LES EAUX	125

RECOUDRE	133
POSITION DE L'ARCHITECTE	134
LE PROGRAMME OCAP	138
BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX	147
LIMITES ET FRAGILITÉS	154
CONCLUSION	161
SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	162
RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE	163
VERS DE NOUVEAUX IMAGINAIRES ARCHITECTURAUX	166
BIBLIOGRAPHIE	167
ICONOGRAPHIES	187

INTRODUCTION

LE WC COMME OBJET SOCIOTECHNIQUE

« Dans les régions d'Europe les plus prospères, parmi les classes sociales les plus favorisées, il est une question qui se pose très peu, tant elle relève de l'évidence : celle du confort. Celle d'une facilité, d'une fluidité de l'existence quotidienne, d'un accès facile à tout, doublé d'une absence de préoccupation pour le sous-bassement matériel et les infrastructures qui rendent cela possible. » (Legrand et al., 2021)

Aujourd'hui, en Europe occidentale, notamment en Belgique et en France, le WC est un objet de confort matériel moderne, banal, mais indispensable au quotidien. Son rôle est d'évacuer nos excréments et de maintenir nos espaces de vie salubres. Dans sa forme contemporaine, il se compose généralement d'une cuvette en céramique vitrifiée la rendant très résistante, imperméable et facile à entretenir, d'un abattant souvent en plastique, en bois ou en résine (fig. 01) que l'on soulève ou referme, d'un réservoir d'eau, et d'un mécanisme de déclenchement comme une commande ou un levier, qui permet d'actionner le flux d'eau appelé la "chasse". Selon les modèles, la toilette peut être posée au sol ou suspendue au mur, son réservoir apparent ou dissimulé. Cette description matérielle rejoint déjà celle qu'en faisait Robert Brudenell Carter, médecin britannique, dans *Our Homes, and How to Make Them Healthy* (Cassell, 1883).

RÉDACTION
ABONNEMENTS
ET
ADMINISTRATION
42, Rue Saint-Sabin 42
PARIS (X^e)

Téléphone : ROQUETTE 42-02

Abonnement : 10 Frs
Le Numéro : 4 Fr.

LE CONFORT

REVUE DE L'HYGIÈNE MODERNE ET DU CONFORT MÉNAGER

à l'usage des Architectes, Entrepreneurs :

Piomberie, Installations Sanitaires, Chauffage, Électricité et toutes Installations de Confort

Rég. des Cont. Serice 907.907

La PUBLICITÉ est reçue :
au BUREAU du JOURNAL
42, Rue Saint-Sabin, 42
123, Rue Lafayette 123
et à
l'Agence "ELIT"
11 bis, Rue Portefeuille, 11 bis
PARIS (10^e)

Téléphone :
LABORDE 75-14

L'Abattant Ch. BLANC

IMPUTRESCIBLE

est, pour le particulier ou l'hôtelier,
l'abattant le moins cher, parce qu'il
ne nécessite pas d'entretien



I nattaquable aux acides
ndéformable à la cha-
leur ou à l'humidité
ncassable grâce à ses
qualités mécaniques

Se fait en noir,
bleu, rouge ou
vert, simple
ou avec
convercle

Etablissements Charles BLANC

42 et 42^{bis}, Boulevard Richard-Lenoir - PARIS

Téléphone : Roquette 93-14 à 17

Fig. 01 : : Revue du confort moderne : les abattants pour WC, 1929
Source : Bibliothèque nationale de France, dép. Droit, consulté sur Gallica

L'auteur présentait le water-closet comme un dispositif technique très performant, qui serait le résultat d'une évolution dans la science de l'hygiène domestique.

Pour Carter, chaque élément de sa conception, le matériau lisse et non poreux de la cuvette, l'efficacité de la chasse d'eau, l'étanchéité des tuyaux et la ventilation de la pièce, participe à la santé de l'habitat.

Lorsqu'on soulève l'abattant, aucune mauvaise odeur ne s'y dégage. Grâce au siphon, l'eau au fond de la cuvette empêche les gaz des canalisations de remonter. Cette eau est claire et est un indicateur de l'entretien du lieu. Dans la version européenne des WC, tout est pensé pour préserver la propreté. Autour de la cuvette, les éléments essentiels sont à portée de main. On y retrouve une brosse qui trempe dans un produit nettoyant, du papier toilette, ainsi que la chasse d'eau, un bouton qui déclenche le système d'assainissement basé sur l'utilisation de l'eau comme moyen de transport de la saleté domestique, hors de l'habitat (Legrand et al., 2021). L'espace se réinitialise immédiatement, prêt pour le prochain usage. L'externalisation des excréments les rend invisibles et rapidement oubliés.

Mais, comme l'explique la sociologue Madeleine Akrich, les objets techniques qui nous entourent ne sont pas uniquement techniques. Ils sont le résultat de valeurs sociales, de normes culturelles et de formes de pouvoir. Ils résultent d'un ensemble de choix, de contraintes et d'intérêts qui interagissent (Akrich, 1987). L'efficacité des WC repose ainsi sur un équilibre entre des matériaux, leur agencement (tuyaux, chasse d'eau, évacuation), des valeurs sociales et des manières de faire société (usages, intimité, genre, hygiène). Ils créent un pont entre

ce qui est “dedans” (le corps, l’habitat) et ce qui est “dehors” (la ville, la nature) (Akrich, 1987) et ce qui transite de l’un à l’autre. Plus précisément, leur forme, leur hauteur, leurs matériaux (porcelaine, plastique, inox) traduisent des choix liés à l’hygiène, à la propreté, à l’esthétique et à l’usage quotidien. La céramique, par exemple, est choisie pour sa facilité de nettoyage et sa durabilité.

Ainsi, le WC peut être compris non seulement comme un objet sociotechnique, mais aussi comme un opérateur qui reconfigure les espaces et redirige les flux de matières et d’eau entre la ville et la campagne.

Cette configuration technique contribue donc à fabriquer des manières de faire société. Elle façonne nos postures corporelles (s’asseoir, uriner en silence, dissimuler les odeurs), renforce la norme d’une hygiène fondée sur l’effacement des traces et rend difficilement pensable d’autres rapports aux excréta (réutilisation, partage, gestion collective).

Aller aux toilettes n’est donc pas un geste purement fonctionnel. C’est aussi un moment social et culturel. On s’y isole, parfois on lit, on fait une pause. Mais cette intimité repose sur tout un ensemble de dispositifs collectifs. L’espace des toilettes est conçu pour que la technique s’efface derrière le confort, tout en imposant des manières de faire (s’asseoir, tirer la chasse, ne pas voir ses excréments). Autour de cet artéfact, tout un monde industriel et institutionnel s’est structuré (fig. 02): fabricants, ingénieurs, designers, entreprises de nettoyage, producteurs de papier ou de désodorisants. La toilette participe ainsi à une chaîne technique et économique mondiale et à un système d’infrastructures macros et invisibles (réseaux d’eau,

canalisations, stations d'épuration) qui rendent possible ce rapport apparemment « naturel » au confort et à la propreté (Akrich, 1987; Lopez, 2016).

Ainsi, le WC apparaît comme un artefact qui relie en permanence le corps et l'architecture, la technique et la société. Il condense à la fois des besoins biologiques et des choix culturels, la matérialité des dispositifs et l'imaginaire collectif du "propre". Plus il s'inscrit dans notre quotidien, plus il se fond dans le décor des pratiques ordinaires, jusqu'à devenir invisible et ne plus être questionné (Akrich, 1987; Callon, 2017).

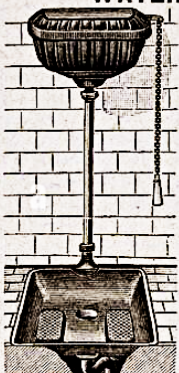
WATER-CLOSETS



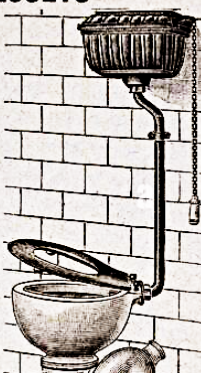
17-5102. Closet à siège dit "de campagne", pour installation sans cuvette, comprenant 1 soude fonte peinte avec trou pour tuyau de descente directe de 110 mm, cuvette porcelaine blanche ovale, siège chène verni à charnières, soupape de vidage cuivré avec tige de commande à bouton porcelaine. Dim. d'encombrement 55x40 cm, haut. du siège 42 cm, poids 16 kgs 300.
Modèle très simple à poser avec vis et facile à nettoyer..... 195. »



17-5104. Closet à siège dit "de baignoir" pour installation avec eau à faible pression provenant d'un réservoir, socle en fonte peinte avec trou pour tuyau de descente directe de 110 mm, cuvette porcelaine blanche ovale avec tubulure d'arrivée d'eau, siège verni à charnières, soupape de vidage en cuivre avec tirette à bouton porcelaine commandant à la fois l'ouverture de la soupape et l'arrivée d'eau. Raccord cuivre coudé pour tuyau plomb d'arrivée d'eau de 15x35 mm. Dim. d'encombrement 55x40 cm, h. du siège 42 cm. Pds total 18 kgs 500. Pour la pose, souder au raccord spécial le tuyau d'eau venant du réservoir. Il est bon de prévoir un robinet d'arrêt sur le parcours de ce tuyau. 275. »



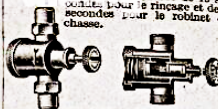
17-5106. Closet commun dit "A la Turque", pouvant se brancher sur toutes les canalisations d'eau, cuvette rectangulaire, grès massif émaillé blanc de 58x67 mm, pose-pieds surélevés, trou d'évacuation de 115 mm, avec siphon droit en fonte émaillée. Livré complet avec un réservoir d'eau dit "de chasse" n° 17-5118, à mètres de tuyau de descente en plomb de 35x42 mm et un jet disperser en cuivre dit "queue de carpe" n° 455. »
17-5108 bis. Même modèle, branché directement sur canalisation d'eau à pression. Livré avec robinet dit "de rinçage" n° 17-5113, 2 mètres de tuyau plomb à pression 15/25 mm, un jet disperser dit "queue de carpe" n° 455. »
17-5106 ter. Même modèle, avec robinet dit "de chasse" n° 17-5118, 2 m. de tuyau plomb à pression 35/42 mm et un jet disperser dit "queue de carpe". 565. »



17-5108. Closet à siège dit "de ville", pouvant se brancher sur toutes les canalisations d'eau, cuvette en céramique blanche massive avec tubulure d'arrivée d'eau et siphon d'évacuation pour tuyau de descente de 120 mm, cuvette ovale à larges bords, siège verni monté à charnières. Livré complet avec réservoir d'eau dit "de chasse" n° 17-5118, 2 m. de tuyau de descente en plomb de 35x42 mm et manchon caoutchouc p. ligature. Pds tot. 16 kgs. 390. »
17-5108 bis. Même modèle, branché directement sur canalisation d'eau à pression. Livré avec robinet dit "de rinçage" n° 17-5113 et 2 mètres de tuyau plomb à pression 15/25 mm. 350. »
17-5108 ter. Même modèle, avec robinet dit "de chasse" n° 17-5118 et 2 mètres tuyau plomb de 35x42 mm. 500. »

ROBINETS AUTOMATIQUES pour chasses d'eau de W.-C.

Ces robinets ont l'avantage de se raccorder directement sur les conduites d'eau, sur le robinet d'arrêt et de donner un eco de chasse qui dure de 15 secondes à 1 minute et 15 secondes pour le robinet de chasse.



17-5113. Robinet automatique pour W.-C. dit "de rinçage", tout en cuivre massif, avec bouton de commande à ressort. Livré avec raccords pour tuyau plomb de 15x25 mm poids 1 kg. Modèle réduit spécial pour conduite d'eau de la ville à pression..... 105. »

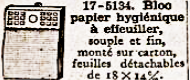
17-5115. Gros robinet automatique pour W.-C. dit "de chasse", tout en cuivre massif, avec bouton de commande à ressort. Livré avec raccords pour tuyau plomb à pression de 35x49 mm, poids 2 kgs 700. Modèle très robuste, remplaçant avantageusement la chaîne d'eau et convenant pour s'implanter quelle conduite d'eau à partir de 16 mm de pression et au-dessus..... 175. »

17-5118. Réservoir d'eau automatique pour W.-C. dit "de chasse", en fonte moulée peinte, couvercle mobile, contenance 10 litres. Robinet d'arrivée d'eau à système automatique, vidage à l'air tant par tirage, chaîne de tirage cuivre nickelé à poignée porcelaine, livrée pour tuyau plomb de 35x42 mm et robinet d'arrêt de 10 mm. (Voir gravure aux n°s 17-5106 et 17-5108). 130. »

TUYAUX PLOMB

18-8142 C. Tuyau plomb à pression, 15x25 mm pour arrivée d'eau au robinet de W.-C. n° 17-5113. Le mètre. 21.70
18-8142 E. Tuyau plomb à pression, 35x49 mm pour arrivée d'eau au robinet de W.-C. n° 17-5115. Le mètre. 87. »
18-8144 D. Tuyau plomb d'évacuation de 35x42 mm pour chasse de W.-C. Le mètre..... 28.50

PAPIERS HYGIÉNIQUES — PORTE-PAPIERS



17-5134. Bloc papier hygiénique à effeuiller, souple et fin, monté sur carton, feuilles détachables de 15x14 cm. Le bloc de 300 feuilles..... 2.80
Papier hygiénique souple (feuille détachable)
Papier solide (feuille détachable)
Rouleau papier hygiénique en bande perforée, par feuille.
17-5132. Souple. Les 500 feuilles. Prix..... 4.70
17-5124. Très mince et souple. Les 450 feuilles..... 2. »



17-5126. Porte-papier, applique, bois dur ciré avec rouleau mobile, dim. 26x16 cm, pour tous nos papiers en rouleaux..... 3.50



17-5132. Porte-papier cuivre nickelé, rouleau bois dur, dim. 22x15 cm. Modèle de fabrication soignée..... 10.50



17-5137. Grand porte-papier, applique, tout en bois dur ciré, avec glace ronde biseautée de 95% de dim., rouleau mobile, dim. 33x18 cm, p. tous nos papiers en rouleaux 45. »



17-5139. Serviettes hygiéniques, papier mince et souple, en 1^{re} coupe, p. distribuer 17-5138. Le pag. de 300. 1.80



17-5133. Distributeur de papier, bois verni, à couvercle spécial..... 6.50



17-5140. Essuie-siège dit "de toilette", montage et fixation fer à pression 15/25 mm. 350. »



17-5142. Balai garde-robs, chendent extra, long. tot. 24 cm. 3.50
17-5144. Porte-balai de garde-robs, en bois dur, long. tot. 24 cm, 11.50



17-5146. Porte-balai tout en faïence blanche, forme ronde facile à nettoyer, h. 20 cm. 15. »

APPEARELS POUR SOINS D'HYGIÈNE



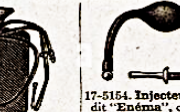
17-5148. Poire à injections et lavements, caoutchouc rouge extra-souple. 17-5152. Diam. 4 cm. 3.50
17-5148 A. — 6 cm. 5.50
Poire à lavements, caoutchouc rouge, extra, très souple, canule os fin. 17-5152. Diam. 6 cm. 7.20
17-5152 A. — 8 cm. 7.20



17-5158. Douche à injections, en tôle d'acier émaillée blanc filé bleu, contenance 2 litres environ. Complète avec tuyau caoutchouc de 1 m 50 de long et double canule à robinet pour injections et lavements..... 16.50
17-5158 bis. Douche seule. 10. »



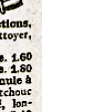
17-5160. Douche à injections, en tôle d'acier émaillée blanc filé bleu, emboutie d'un seul piece, fond sans angle vif, facile à nettoyer, contenance 2 lit. Complète avec tuyau caoutchouc de 1 m 50 de long, double canule à robinet pour injections et lavements..... 20. »
17-5160 bis. Douche seule. 12.50



17-5168. Douche à injections, caoutchouc rouge extra, accord métallique avec bouchon à vis, tuyau caoutchouc, long. 1 m 50, canules caoutchouc durci, p. injections et lavements, contenance 2 lit. Convient également comme bousille d'eau chaude..... 33.50



17-5154. Injecteur à poire dit "Enéma", caoutchouc rouge verni très souple, soupape d'aspiration métal nickelé, canule os via, pour injections et lavements, long. 60 cm. En bois carton. 45.50
17-5173. Canule double p. injections et lavements, caoutchouc durci, avec raccord à robinet..... 3.40



17-5178. Tuyau caoutchouc rouge très souple, p. douches, injections et lavements. Lem. 2.50
17-5180. Tuyau caoutchouc blanc, extra, qualité extra, avec bouts à boursillet, long. 1 m 50. Le tuyau..... 5.70

Maisons à PARIS (42, Rue du Louvre), MARSEILLE, LYON, BORDEAUX, LILLE, TOULOUSE, NANTES, ROUEN, NANCY

BASCULEMENT

Pourtant, derrière cette banalité du confort moderne, la toilette se trouve au centre d'une transformation importante des relations entre les humains, les villes, les campagnes et les cycles naturels. Si cet artéfact a permis d'améliorer la salubrité et de rendre les déchets moins visibles, il a aussi participé au changement du cycle des nutriments. Les matières rejetées par le corps humain contiennent pourtant des nutriments essentiels au développement des plantes.

Les WC font partie d'un système technique plus large, qui organise la manière dont nos excréments sont collectés, transportés, traités puis rejetés. Dans le modèle d'assainissement linéaire, ce que nous mangeons, digérons et éliminons se mélange aux autres eaux usées, puis finit en station d'épuration. Une partie est filtrée, mais les nutriments ne retournent plus à la terre ayant permis de produire nos aliments.

Ce fonctionnement a donc contribué à séparer les espaces où l'on consomme et les espaces où l'on produit. Autrement dit, il a rompu une boucle qui autrefois reliait étroitement les villes, les campagnes et les sols. C'est ce qui permet de comprendre le concept de rupture métabolique : il désigne la fracture entre ce que nous mangeons et les écosystèmes qui nous nourrissent. Comprendre le WC comme un objet architectural et comme un élément d'un réseau technique, c'est donc comprendre comment nos habitudes, nos infrastructures sanitaires, nos régimes alimentaires et nos choix de société s'entremêlent.

CONTEXTE GENERAL

SYSTEME TECHNIQUE INVISIBLE

Aujourd'hui, pour un européen, les toilettes font partie des éléments basiques à avoir chez soi, et ce, dans toutes les architectures. On ne les questionne plus. Intégrées dans chaque logement, elles paraissent banales et purement fonctionnelles. Pourtant, aller aux toilettes cache une infrastructure complexe faite de tuyaux, de réseaux souterrains, de stations d'épuration et de normes techniques, qui relie chaque bâtiment à l'échelle du territoire. Ce dispositif, généralisé au XIX^e siècle, a participé à la transformation l'espace domestique et urbain. Il a également pris part à cette rupture entre les villes et leurs milieux naturels. Les excréments, autrefois recyclés dans les champs, sont désormais évacués, dilués, puis traités à distance, coupant de nombreux liens entre le corps humain, le sol et la production alimentaire (Raguet 2024).

Ainsi, le tout-à-l'égout a influencé les logements (salles d'eau, colonnes techniques, ventilations, organisé les villes (réseaux enterrés, stations d'épuration), et modifié notre manière d'habiter en rendant invisibles les flux de matière et d'eau. Ce système, conçu pour répondre à une crise sanitaire du XIX^e siècle, montre aujourd'hui ses limites : vieillissement des canalisations, consommation excessive d'eau potable, pollution des systèmes biologiques et perte de nutriments essentiels pour les sols (Raguet, 2024).

CHOISIR CE SUJET

SENS ET PERSPECTIVES

Ce TFE est né d'un questionnement autour d'un objet du quotidien : les toilettes. Dans le cadre du cours d'initiation à la recherche en master 1, mon promoteur, Alexis Zimmer, m'a proposé une thématique de recherche portant sur les WC, un sujet qui semblait au départ anodin. Pourtant, au fil des recherches, j'ai été surpris de découvrir la complexité du dispositif et de son impact à la fois dans la relation entre les humains et leurs excréments, dans nos manières de produire et de consommer, et dans les équilibres environnementaux plus larges.

Je me suis rendu compte que cet objet, que je pensais universel et ordinaire, renvoie à un modèle spécifique d'habitat, d'infrastructures et d'organisation sociale, propre à un monde urbanisé et industrialisé, mais aussi vecteur de colonisation. Si manger et excréter sont des besoins physiologiques universels, les manières d'y répondre varient fortement selon les contextes sociaux et culturels. Cette diversité m'a amené à interroger la place particulière qu'occupent les toilettes dans mon propre quotidien. Disposer d'un WC relié à l'eau courante et à un réseau d'égouts n'est pas une évidence universelle, mais le produit d'un certain modèle d'habitat et d'infrastructures.

Au contraire, ce modèle technique a souvent été diffusé, voire imposé dans d'autres contextes, notamment dans des situations coloniales ou de développement, comme l'ont montré certains travaux en histoire des techniques et de la santé (notamment W. Anderson). Les toilettes modernes ne sont donc pas seulement un progrès en matière de

confort ou de salubrité : elles participent également à la diffusion de normes hygiéniques qui peuvent entrer en tension avec d'autres pratiques, savoirs et rapports au corps.

Dès lors, ce confort ne doit pas être évident ni considéré comme la seule forme légitime d'hygiène. Cette prise de conscience m'a amené à porter un autre regard sur mon propre quotidien. À chaque chasse d'eau tirée, je me pose désormais des questions : où va cette eau ? Pourquoi utilise-t-on de l'eau potable pour évacuer nos excréments ? Où vont ces matières ? Et surtout, que disent ces pratiques de notre relation à la nature, aux cycles écologiques et à la terre qui nous nourrit ?

En creusant ces questions, j'ai découvert le concept de rupture métabolique, qui désigne la fracture entre nos activités humaines (manger, digérer, rejeter) et les cycles naturels qui permettent la régénération des sols et la fertilité de la terre (Foster, 1999). Ce que nous mangeons vient de la terre, mais ce que nous rejetons ne lui revient que très peu. Cette déconnexion a de grandes conséquences telles que l'appauvrissement des sols, la pollution des rivières et la dépendance aux engrais chimiques.

Le WC, loin d'être un simple objet technique, est un acteur d'un système complexe qui repose sur nos corps, nos logements, nos villes et nos campagnes.

Ce travail m'a aussi confronté à des contradictions personnelles. Je vis dans un logement équipé de toilettes modernes, je consomme de la nourriture issue d'un système mondialisé, je participe moi-même à

cette rupture métabolique que je critique. Cela m'a poussé à chercher des pistes de transformation.

Je pense que les architectes jouent un rôle réel dans cette transition. Ils conçoivent les espaces dans lesquels l'humain vit, mange, dort, évacue ses déchets organiques. Nous devons donc réfléchir à la manière dont ces espaces se placent dans des systèmes plus larges, techniques, sociaux, écologiques.

RUPTURE METABOLIQUE

QU'EST-CE QUE C'EST ?

La rupture métabolique ou métabolisme rift, définie dans les analyses du philosophe Karl Marx comme la fracture entre les activités humaines (production, consommation de nourriture, gestion des déchets) et les cycles naturels qui assurent la régénération des ressources écologiques nécessaires à la vie, désigne cette dissociation entre sociétés humaines et conditions naturelles d'existence (Foster, 1999 ; Saito, 2021).

Cette rupture produit un déséquilibre écologique : une grande partie des aliments que nous consommons provient de chaînes d'approvisionnement éloignées, tandis que les nutriments prélevés dans les sols ne leur sont que très peu restitués. La fertilisation naturelle des sols est alors progressivement remplacée par des engrais chimiques d'origine industrielle, fabriqués sur d'autres continents, ce qui renforce la dissociation entre production alimentaire, consommation et cycles écologiques locaux. Cette séparation est encore accentuée par les infrastructures urbaines, qui organisent une distance matérielle et symbolique entre les lieux de production, de consommation et d'évacuation des déchets, rendant moins visibles les liens entre alimentation, nature et retour des matières organiques au sol.

Ce phénomène a aujourd'hui une ampleur mondiale, les cycles de nutriments, d'énergie et d'eau sont perturbés et globalisés par les logiques de production du capitalisme industriel et la séparation de

plus en plus forte entre ville et campagne (Foster, 1999 ; Moore, 2011 ; Zylberman, 2017 ; Saito, 2021).

Le sociologue John Bellamy Foster résume cette idée en écrivant que « *la rupture métabolique est l'éloignement matériel des êtres humains, au sein de la société capitaliste, des conditions naturelles qui forment la base de leur existence* » (Foster, 1999, p. 383).

PROBLEMATIQUE

LE WC COMME ARCHITECTURE DE LA RUPTURE MÉTABOLIQUE

Au-delà de sa fonction sanitaire, le WC révèle les contradictions du modèle urbain occidental moderne. Il montre comment nos gestes quotidiens les plus intimes s'inscrivent dans des systèmes techniques, alimentaires et économiques mondialisés. Mais cette invisibilité du système crée un paradoxe : alors que nous consommons une alimentation mondialisée, nos déchets métaboliques ne retournent jamais aux terres qui nous nourrissent. Pourtant, les nutriments contenus dans l'urine humaine pourraient fertiliser une grande partie des cultures mondiales. Des alternatives techniques, comme les toilettes séparatives aussi appelées toilettes à séparation d'urine, permettent de séparer directement l'urine des matières solides pour en faire de l'engrais afin de recréer des boucles écologiques.

Dès lors, comment l'architecture et la conception de ce dispositif quotidien pourraient être repensées pour réinscrire les toilettes dans les cycles écologiques plutôt que dans un système linéaire d'extraction-rejet ?

Peut-on recoudre cette rupture entre humains et cycles naturels, en faisant des toilettes non plus un simple système d'évacuation mais un lieu de valorisation, de fertilisation ?

Et finalement, comment repenser nos infrastructures urbaines et nos modes d'habiter afin de recoudre la rupture métabolique que le WC a contribué à instaurer ?

MÉTHODOLOGIE

Dans ce travail de fin d'études, je considère le WC comme un objet sociotechnique : à la fois un dispositif technique (tuyaux, matériaux, réseaux d'égouts) et un objet social lié aux usages, aux normes d'hygiène, à l'intimité et aux rapports entre ville et campagne.

L'objectif est de montrer comment cet objet participe à la rupture métabolique entre alimentation, excrétion et cycles naturels, puis d'explorer comment il pourrait, au contraire, aider à reconnecter ces cycles.

Pour répondre à cette question, je m'appuie sur plusieurs types de sources.

D'une part, une littérature secondaire en sciences sociales, en histoire, en urbanisme et en environnement me permet de construire un cadre d'analyse et historique. Je mobilise notamment les travaux des sociologues Madeleine Akrich, Michel Callon et Bruno Latour sur les objets techniques et les réseaux sociotechniques, ceux de l'historienne Fanny Lopez sur les systèmes énergétiques, ainsi que ceux des sociologues John Bellamy Foster, Jason Moore, du philosophe Kohei Saito, de l'ingénieure Sabine Barles ou du chercheur spécialiste de la gestion des nutriments et de l'assainissement écologique en milieu urbain Fabien Esculier, sur le métabolisme urbain et la rupture métabolique. J'utilise aussi des recherches historiques sur l'hygiénisme et la ville, ainsi que des travaux sur les flux d'azote et de phosphore.

D'autre part, je mobilise des sources primaires : règlements de bâtisse (par exemple à Bruxelles au début du XX^e siècle), textes sur les égouts,

plans de logements, coupes, détails techniques et extraits de revues. J'utilise également des catalogues de fabricants, des publicités, des photographies et des documents d'archives. Ces éléments permettent de suivre l'introduction du WC dans le logement et d'observer ses effets sur l'architecture et l'organisation des espaces.

Je m'appuie aussi sur des travaux récents concernant les flux de nutriments et les alternatives aux systèmes d'assainissement classiques : articles scientifiques, rapports et études sur l'azote, le phosphore et la pollution des milieux. Je mobilise notamment les travaux de la designer en assainissement écologique Louise Raguet, du chercheur Thomas Starck et Jönsson, ainsi que ceux du programme OCAPI et du projet Saint-Vincent-de-Paul à Paris.

Ces données sont analysées de différentes manières. J'ai d'abord croisé les sources pour comprendre le passage d'une gestion circulaire des excréta (latrines, épandage agricole) au système du tout-à-l'égout, en lien avec l'industrialisation et l'urbanisation. J'ai ensuite analysé des plans et des coupes pour observer l'évolution des espaces (cabinet d'aisance, salle de bains) et leur influence sur le logement.

Enfin, j'adopte une lecture « métabolique » en reliant les flux de nutriments, les systèmes techniques et les formes urbaines, afin de montrer comment le WC participe à la séparation entre ville et campagne.

PLAN

Le travail s'organise en plusieurs parties articulées autour d'une double démarche : d'une part, l'analyse historique et technique de l'évolution des dispositifs sanitaires et d'autre part, une réflexion critique sur leurs implications métaboliques, sociales et architecturales.

La première partie introduit le contexte général et le cadre théorique. Elle définit la notion de « métabolisme urbain » et le concept de « rupture métabolique », en les replaçant dans une perspective historique reliant écologie, urbanisme et techniques sanitaires. Cette section expose également les enjeux environnementaux et sociétaux liés aux cycles de l'eau et des nutriments.

La deuxième partie retrace l'évolution des toilettes et des systèmes d'évacuation, depuis les dispositifs collectifs ou rudimentaires jusqu'à l'installation domestique et son intégration à l'architecture du logement. Elle s'appuie sur une lecture croisée de sources historiques, de plans de bâtiments, et de textes réglementaires afin de montrer comment les transformations techniques ont influé sur les formes architecturales et les modes d'habiter.

La troisième partie s'attache à l'analyse des infrastructures contemporaines de gestion des eaux usées et à leurs effets sur la dissociation entre ville et territoire productif. Cette étape montre les conséquences de l'urbanisation et du tout-à-l'égout sur la circulation des matières, à travers une approche à la fois technique et systémique.

Pour finir, la dernière partie ouvre une réflexion prospective sur les alternatives possibles. Elle interroge les pistes d'un « retissage métabolique » à travers des dispositifs de toilettes écologiques, des modèles décentralisés de traitement et de valorisation des nutriments, et leur intégration architecturale. Cette conclusion propose des perspectives de conception où la toilette devient un acteur de la transition écologique du bâti et de l'habitat.

Chaque partie se répond, formant un chemin progressif de la compréhension du passé à l'imagination de l'avenir.

LA RUPTURE

DU XIX^e SIÈCLE

GESTION CIRCULAIRE AVANT LA MODERNITÉ

Au début du XIXe siècle, les villes européennes possédaient des systèmes de gestion circulaire pour traiter les excréta humains (fig. 03), qui valorisaient les matières organiques en les considérant comme « des ressources naturelles ». Pour la collecte des excréments, les habitants utilisaient des latrines généralement situées au pied des maisons ou dans des fosses communes à l'intérieur des cours.

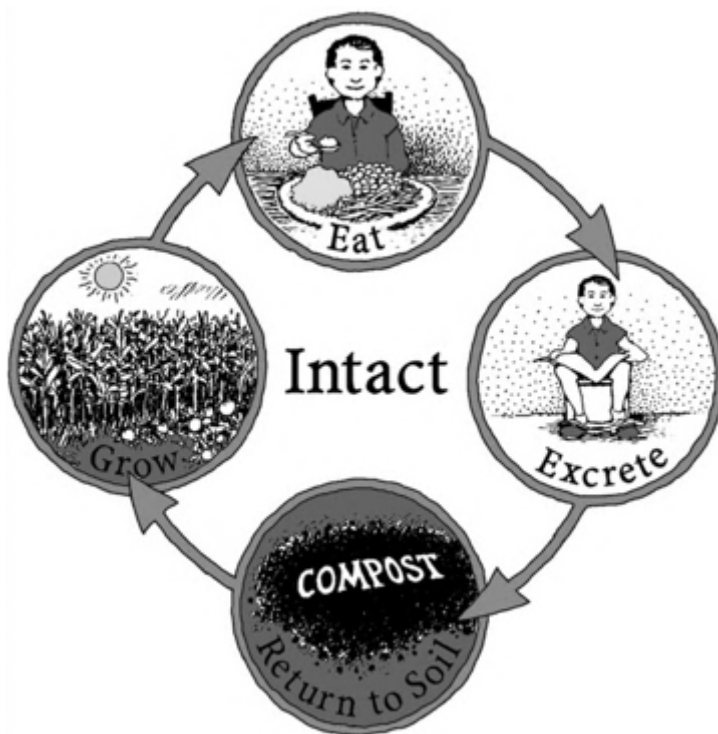


Fig 03 : Le cycle des nutriments avant l'adoption du tout-à-l'égout et recours aux engrais chimiques.
Source: Iconographie du manuel des déjections humaines de Joseph Jenkins, dans La Fonderie.
(2022). L'égout : une infrastructure au service de la nature.

Ces latrines (fig. 04) consistaient généralement en un banc percé qui servait d'assise par lequel les excréments tombaient directement dans un pot placé en dessous. Une fois remplis, ces pots étaient vidés dans des fosses collectives où s'accumulaient les matières fécales. Les villes faisaient appel à des services de vidange qui venaient régulièrement récupérer ces matières et les transporter vers les ceintures agricoles, un système comparable au compostage actuel, c'est-à-dire à un processus de décomposition naturelle des matières organiques destiné à les transformer en engrais riche pour les sols (Raguet, 2024).

Comme l'illustre la figure 5, ce système de gestion des excréments repose sur une économie circulaire de la matière organique qui lie les villes et les campagnes. À Bruxelles, par exemple, la collecte des excréments était assurée par des services municipaux appelés « fermes de boue », qui transformaient les déchets en engrais vendus aux agriculteurs pour l'épandage (Kohlbrenner, 2014).

Les campagnes envoyaient des produits alimentaires vers la ville qui étaient digérés avant de redevenir des fertilisants dans les campagnes. Cela permettait de créer une boucle agricole (Raguet, 2024), c'est à dire un cycle fermé qui garantissait le maintien de la fertilité des sols sans recours à des entrants externes. Ce fonctionnement instaurait une interdépendance des deux milieux et une proximité géographique entre la production alimentaire et la consommation.



Fig 04 : Latrine collective située impasse Sainte-Ursule, Bruxelles, 1920
Source : Photographie extraite des archives de la ville de Bruxelles, dans
La Fonderie. (2022). *L'égout : une infrastructure au service de la nature.*

Déféquer début XIXème

Du pot de chambre au champ

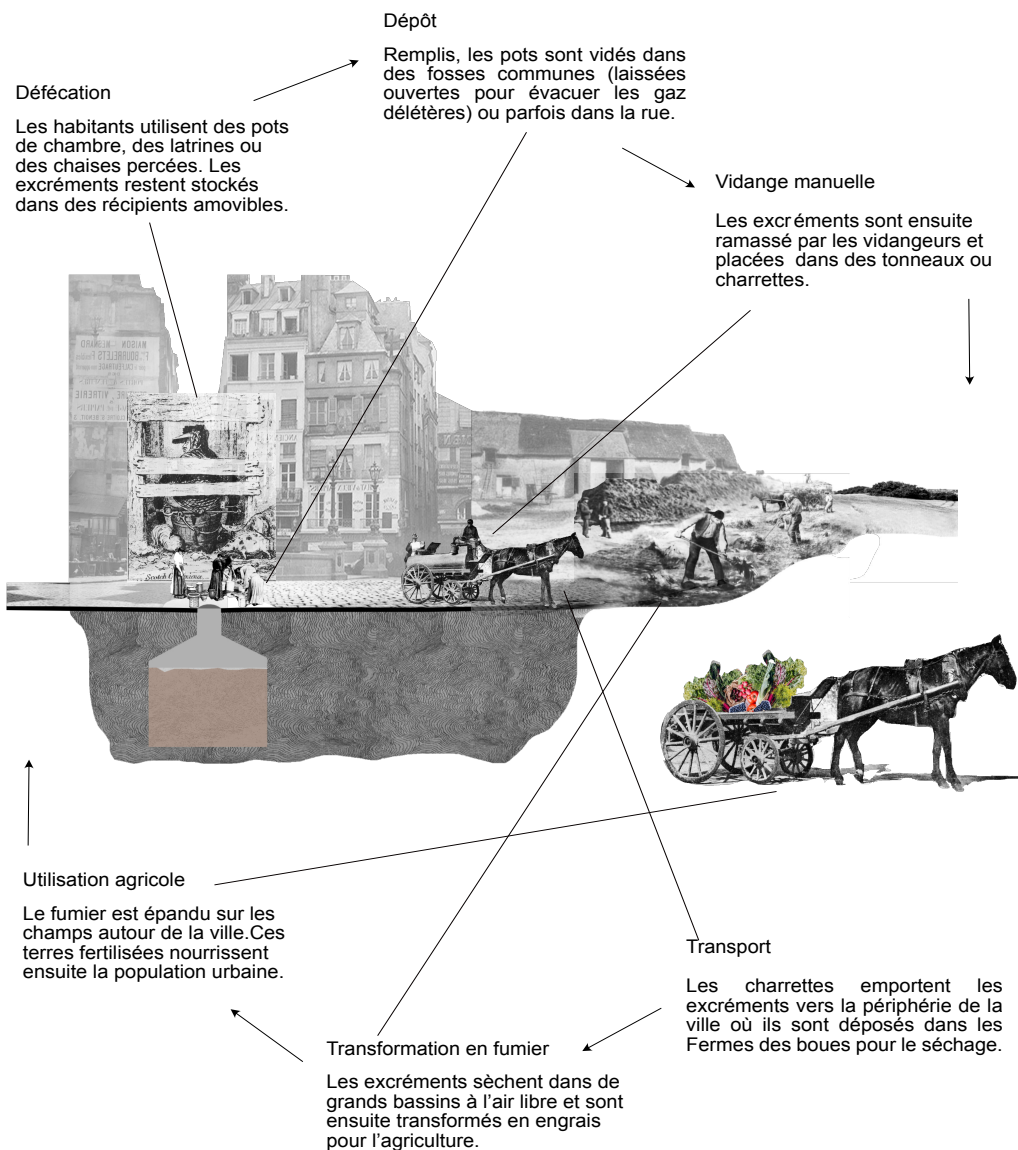


Fig 05 : Cycle des nutriments circulaire avant l'adoption du tout-à-l'égout et recours aux engrais chimiques.

Source: Photographies par Victor Porcher extrait du musée de la Ville de Paris

Source: Iconographie : Bridgeman/ACI, image reproduite dans Sánchez Arreseigor, J. J. (2025). *Voici comment les toilettes sont devenues l'une de nos inventions les plus importantes*. National Geographic.

URBANISATION

EXPLOSION DÉMOGRAPHIQUE ET HYGIENISME

Au milieu du XIXe siècle, l'industrialisation et l'urbanisation bouleversent profondément l'équilibre des grandes villes européennes. La croissance démographique dépasse alors les capacités des fosses d'aisance. À Bruxelles, par exemple, la population passe de 140 000 habitants en 1831 à 210 000 en 1848 (Kohlbrenner, 2014). Cette situation génère une accumulation de déchets dans l'espace public.

Les rues, les cours d'eau et les fleuves urbains se transforment progressivement en canaux de déjection (fig. 06), entraînant une pollution majeure et une dégradation des conditions sanitaires. Ces environnements insalubres deviennent propices à la propagation de maladies infectieuses, comme la dysenterie, la fièvre typhoïde et le choléra (fig. 07). Ce dernier, transmis par l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales, provoqua près de 500 000 morts en France (Gillet, 1959 ; Bourdelais, 1991 ; Kohlbrenner, 2014). Dans les quartiers les plus insalubres, la crise sociale et sanitaire est encore plus grave, au point de provoquer des émeutes (Higounet-Nadal, 1975). C'est en grande partie dans ce contexte de crise sanitaire que va changer la représentation de la propreté et de la malpropreté (Béguin, 2013).

Au tournant des XVIIIe et XIXe siècles, l'hygiène se définit de plus en plus comme une science de la salubrité visant à prévenir les maladies en agissant sur le milieu : air, eau, sols, déchets, densité de population. Elle prolonge les premières théories médicales sur le rôle du climat et de l'environnement, mais les systématise à travers des enquêtes et des réglementations urbaines (Béguin, 2013). On parle d'hygiénisme



Fig 06: *Latrines donnant directement dans la Senne*, 1867,
Source : Ghemar Frères. (1867). *Assainissement de la Senne, Bruxelles* (Album XVII-18, folio 10). Collection iconographique, Archives de la Ville de Bruxelles.



Fig 07: *Habitants précarisés entourant une pompe à eau actionnée par une figure de la mort désignant le choléra.*
Source : Iconographie de George Pinwell « *Le dispensaire de la mort* », dans *Fun Magazine* (Londres, 1866).

lorsque cette science devient un mouvement social et politique, porté par des médecins, des ingénieurs et des administrateurs, qui veulent transformer les villes pour les rendre plus saines.

Dès le XVIII^e siècle, les grandes épidémies avaient déjà poussé les autorités à se préoccuper de la santé publique, conduisant notamment à la création de la Société royale de médecine en 1778. Celle-ci s'accompagne des premières enquêtes systématiques sur les causes d'insalubrité, qui croisent l'observation des conditions météorologiques, du milieu urbain et des habitudes de vie des habitants (Béguin, 2013). Les hygiénistes proposent alors trois grands types d'interventions pour assainir les villes : isoler l'espace public par le pavage des rues et la construction de trottoirs, utiliser l'eau pour laver et évacuer régulièrement les ordures, et améliorer la ventilation de l'air tout en désentassant les populations (Béguin, 2013). Ces premières politiques urbaines d'assainissement réduisent certains vecteurs de contamination et contribuent à la baisse de la mortalité, sans toutefois suffire à contenir l'insalubrité des grandes villes en pleine croissance (Béguin, 2013).

La croissance des connaissances en matière de microbes fait émerger de nouvelles formes d'hygiène et de nouvelles solutions techniques (fig. 08). Face à cet enjeu majeur de santé publique, une solution s'impose progressivement : le tout-à-l'égout. Il s'agit d'un système d'évacuation conçu pour éloigner les déchets des villes via des réseaux souterrains, avant leur rejet dans les fleuves (Kohlbrenner, 2014). Ce choix n'est pas seulement technique : il constitue aussi une décision politique qui privilégie l'élimination rapide des excréments comme réponse à la crise sanitaire (Raguet, 2024).

Celui-ci s'impose dès 1852, lors du congrès de l'hygiène de Bruxelles. Des normes sont alors établies pour des canalisations étanches et fonctionnelles, progressivement rendues obligatoires dans les logements, transformant la gestion des excréments en élimination rapide via la chasse d'eau (Kohlbrenner, 2014 ; Zylberman, 2017). Cependant, ce choix technique n'est pas neutre car il reconfigure les représentations de la saleté, les rapports de classe et les liens entre ville et campagne.



Fig 08: *De l'eau, de l'air, de la lumière*, affiche éducative de la collection Armand COLIN.

Source : Armand Colin. (1900). *De l'eau, de l'air, de la lumière...*, tableau 14 bis. Collection de tableaux muraux.

Transformation des représentations et des pratiques d'hygiène

Le « tout-à-l'égout » (fig. 09) s'impose comme le système majeur permettant la généralisation des toilettes à chasse d'eau, symbole d'une évacuation rapide et invisible des matières fécales et de la purification de l'espace (Legrand, 2019).

Au cours du XIX^e siècle, la salubrité est d'abord pensée à l'échelle urbaine à travers l'aménagement des égouts et des rues. Dès le milieu du siècle, les hygiénistes, comme Passot (1850), considèrent que la santé d'une ville dépend aussi des conditions d'hygiène domestique et individuelle, ce qui mène à reconfigurer les égouts dans les villes en extension, devenus insuffisants pour répondre aux problèmes de salubrité. Cette notion s'étend alors progressivement aux espaces privés. Selon l'historien Alain Corbin la salubrité d'une grande ville dépend de l'état sanitaire de l'ensemble des habitations privées (Corbin, dans *Le miasme et la jonquille* 1982). Cela entraîne la mise en place de contrôles et de règlements visant à encadrer l'aération, l'évacuation des eaux usées et la propreté des logements, particulièrement dans les quartiers ouvriers (Corbin, 1982). Corbin explique que les classes populaires conservent une « fidélité à l'ordure ». Un rapport particulier à la saleté incluant les vertus médicinales des excréments. Les médecins recommandent l'élimination de la crasse afin de réduire les risques d'infection, avec une dimension sociale : nettoyer les corps revient à les discipliner selon les normes propres à chaque classe sociale. La propreté devient ainsi un outil de normalisation sociale, participant à la construction et au maintien des comportements.

Déféquer au XXe siècle

Tout-à-l'égout

Départ : les excréments sont évacués dans la cuvette après la défécation

↓
Chasse d'eau : l'eau du réservoir entraîne les excréments vers le siphon.

↓
Colonne de chute : les excréments descendent par le tuyau vertical de l'immeuble.

↓
Siphon : les excréments passent dans le siphon en S, qui retient l'eau pour bloquer les odeurs.

↓
Collecteur de l'immeuble : les excréments arrivent dans le collecteur principal au sous-sol.

↓
Égout de quartier : les excréments circulent dans l'égout secondaire sous la rue.

↓
Égout principal : les excréments rejoignent le réseau principal de la ville.

↓
Rejet final : les excréments sont déversés directement dans une rivière, un canal ou un fleuve, sans traitement.

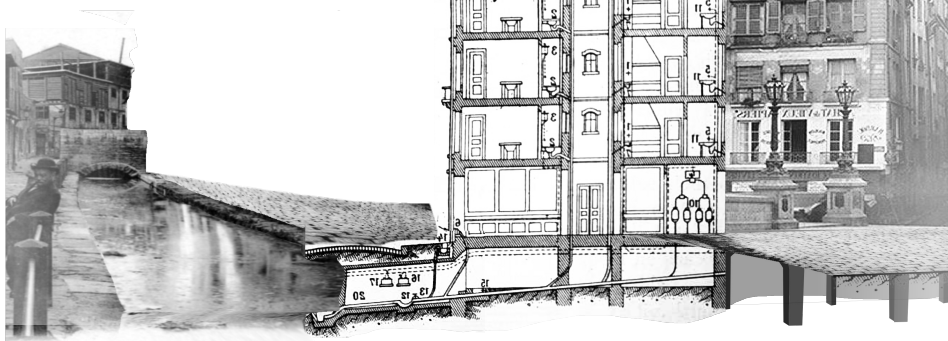


Fig 09: *Parcours des excréments : le tout-à-l'égout directement dans les eaux.*

Source : Coupe de l'immeuble de rapport par La Construction Moderne. (1890). page 153.

Source : Photographies extrait de *Parisrues.com*

Source: Thomas Crapper and Company. (1902). Gravure de WC extraite du catalogue de 1902, reproduite dans SSPL/Getty Images.

Pour appliquer ce principe, les hygiénistes cherchent à entrer dans les foyers des classes laborieuses via l'odorat. Il détecte les « mauvaises odeurs », indicateur de promiscuité, de misère et de maladie (Corbin, 1982). Le sociologue David Le Breton, décrit l'odeur comme une « atmosphère morale », jugeant et classant les individus entre ceux qui « sentent bon » et les autres, dans *Odeur et affectivité : les odeurs dans la relation* (Le Breton, 2019, p. 145-159). La salubrité n'est pas seulement médicale, elle devient un moyen de surveiller et de réguler les comportements populaires.

La bourgeoisie urbaine du XIX^e siècle se définit par sa distance à l'ordure quotidienne. Béguin montre que les matières jugées répugnantes sont écartées des habitats « respectables », tandis que leur manipulation est de plus en plus renvoyée aux classes populaires et aux chiffonniers stigmatisés pour leur proximité avec les immondices. Elle projette sur eux l'image du « sale » et du « dangereux » (Corbin, 1982 ; Béguin, 2013).

Ce changement transforme radicalement les représentations sociales des excréments. Autrefois, ils étaient perçus comme une ressource valorisable et indispensable pour le monde agricole. Au XIX^e siècle, ils deviennent progressivement synonymes d'ordure, de danger sanitaire et de saleté (Béguin, 2013).

Le WC incarne ce paradigme où la propreté et l'intimité s'imposent. Il efface les matières organiques du quotidien et redéfinit les normes de salubrité domestique transformant les pratiques domestiques en rituels de propreté.

Dans cette logique, la saleté n'est plus seulement physique, elle devient le signe d'un manque de moralité, voire de civilisation. L'historien Corbin montre qu'un lien symbolique s'établit entre « crasse » et « désordre moral ». Les classes pauvres se disent fidèles à l'ordure, non par ignorance mais parce qu'elles conservent certaines pratiques héritées (réutilisation des déchets, croyances dans les vertus médicinales des excréments, etc.) (Corbin, 1982).

Un tournant majeur intervient au XIX^e siècle avec l'hygiénisme pasteurien. Fondé sur la théorie microbienne, il réoriente la prévention vers les germes invisibles, ce qui bouleverse la perception et la gestion de la saleté (Béguin, 2013). Les découvertes de Pasteur déplacent la priorité : on passe de l'élimination des odeurs à la chasse aux agents pathogènes, ce qui renforce la sensibilité urbaine à la propreté (Bourdelaïs, 1991). Cette nouvelle conception s'exprime dans l'idée selon laquelle : une odeur désagréable n'est pas nécessairement mortelle, tandis que ce qui tue peut être inodore (De Silguy, 1996, cité dans Béguin, 2013).

Un nouvel art de vivre qui s'accompagne de l'émergence d'une industrie de l'entretien : produits de nettoyage, équipements sanitaires spécialisés, et protocoles d'hygiène pour garantir la propreté des toilettes (Cassell, 1883). La propreté devient progressivement un enjeu sociétal majeur, où l'entretien devient un marqueur de statut social (Architecture sans obstacles, 1994). Ce phénomène révèle un remodelage profond des pratiques et des sens autour du déchet et de l'hygiène quotidienne.

Rupture métabolique et déconnexion des cycles naturels

Le développement du tout-à-l'égout, en tant que système central de gestion des excréments urbains, s'inscrit dans cette transformation des rapports à la saleté et à la ville. Il entraîne alors des conséquences environnementales importantes. Il correspond à ce que Foster (1999) et Saito (2021) conceptualisent comme la "rupture métabolique", définie comme la fracture entre les activités humaines et les cycles naturels.

« Ce changement a transformé notre regard sur les excréments, désormais considéré comme sales et dangereux, rompant le lien entre les sociétés humaines et les cycles naturels » (Raguet, 2024). Avant, les excréments formaient une boucle circulaire naturelle : la nourriture produite aux champs retournait au sol sous forme de fertilisants organiques autrefois utilisés comme engrais. Maintenant, ils sont enfouis, traités comme déchets et dilués dans les cours d'eau (Kohlbrenner, 2014 ; Saito, 2021). Les nutriments ne retournent plus aux sols agricoles qui ont produit la nourriture consommée en ville. La boucle circulaire entre production alimentaire, consommation humaine et fertilisation des sols est ainsi rompue au profit d'un modèle centré sur la propreté publique urbaine (Architecture sans obstacles, 1994).

Cette perturbation du cycle métabolique naturel compromet les conditions écologiques d'une agriculture durable et provoque, dès le XIXe siècle, un épuisement généralisé des sols en Europe (Saito, 2021). Dans ce contexte d'industrialisation urbaine rapide, la classe ouvrière se concentre massivement dans les grandes villes pour travailler dans les usines. Les campagnes sont réduites au rôle

de zones d'extraction et d'approvisionnement. Elles doivent constamment transporter de la nourriture vers les villes pour nourrir cette population urbaine croissante, sans jamais recevoir en retour les nutriments qu'elles ont produits (Saito, 2021). Il en résulte un appauvrissement progressif des campagnes en ressources naturelles (fertilité des sols, matières premières).

Comme l'explique Sara Tower, chercheuse en géographie et spécialisée dans les systèmes alimentaires (2012), tout en s'appuyant sur Marx et Engels (1845), cette opposition spatiale repose sur une division sociale du travail capitaliste. L'exploitation n'existe pas sans une division sociale du travail qui repose sur la concentration de la classe ouvrière dans les grandes villes et la nécessité émergente de transporter les aliments depuis la campagne. Au niveau national, cette division se manifeste par l'opposition structurelle entre la ville et la campagne. Les villes accumulent capital et richesse tandis que les campagnes s'appauvrissent. Les ressources naturelles sont extraites des zones rurales pour nourrir les centres urbains, créant ainsi un déséquilibre écologique et social.

EVOLUTION ET SPATIALISATION

DES WC

XVII^e – FIN XIX^e SIÈCLE

LATRINES COLLECTIVES ET EXCRÉTAS HORS DU LOGEMENT



Dans le Paris de l'Ancien Régime (fig. 10) et jusqu'au XIX^e siècle, le logement ordinaire se caractérise par l'absence de cabinet d'aisance fixe à l'intérieur. Avant 1780, les habitations sont surtout des maisons individuelles ou des premières maisons locatives (Pavillon de l'Arsenal, 2018). Les toilettes sont alors extérieures et se présentent sous différentes formes : des tinettes, récipients en bois ou en tôle servant de fosses d'aisances mobiles pour la collecte des matières fécales, ou des fosses fixes situées dans les cours communes, où sont vidés les pots de chambre et les latrines installées dans la cour. (Didier, 2022 ; Lacousse, 2023). Le pot de chambre, vidé dans les fosses collectives, maintient les excréta hors des volumes habités (Lacousse, 2023).

Fig 10: Paris fin XVII^e, rive gauche de la seine, entre le pont Notre-Dame et le pont au Change

Source : Meryon, C. (1861). Iconographie reproduite dans Didier, C. (2022). À quoi ressemblait un logement parisien au XVII^e siècle ? Paris ZigZag.

Dans les logements populaires du XVII^e siècle, les plans montrent l'absence de pièce sanitaire. Un logement typique : rez-de-chaussée avec couloir longeant la boutique, cuisine commune et « *salle* » désignant la pièce de vie. Aux étages, généralement des chambres et en cave un garde-manger. On ne retrouve aucun cabinet d'aisance et les excréta sortent par les pots de chambre vers des fosses collectives dans la cour (Didier, 2022). Cette configuration persiste tout au long des XVI^e–XVIII^e siècles, où la cour accueille les dispositifs d'évacuation collective des déjections.

Dans les milieux aisés, certains hôtels particuliers ont des « *lieux* », pièces dédiées à ce qu'on appelle aujourd'hui « *aller aux toilettes* », où latrines et chaises d'aisance sont situées à l'intérieur comme le montre les plans d'une maison bourgeoise parisienne. Certaines chaises d'aisance sont alimentées en eau et reliées à des fosses étanches mais restent rares et réservées à une élite. Ces pièces sont placées à distance des pièces de vie, près des escaliers ou annexes, révélant une relégation spatiale (Lacousse, 2023).

Le XIX^e siècle maintient cette extériorité. La photographie de 1867 illustre cette persistance (fig. 10). Entre 1780-1870, Paris double sa population passant à un million d'habitants, dont les deux tiers vivent dans la précarité (Pavillon de l'Arsenal, 2018, p. 7). Les percées haussmanniennes et la généralisation de l'immeuble à logement dans la ville à partir de 1853, introduisent l'eau courante et le gaz, promettant un certain confort et des normes de salubrité renouvelées (Pavillon de l'Arsenal, 2018, p. 6-7). Pourtant, les toilettes restent majoritairement situées dans les cours, sur les paliers ou dans des bâtiments annexes. En 1891, on ne compte que 7398 « chutes directes » vers l'égout, signe

du faible degré d'intégration des WC à l'intérieur des logements (Lacousse, 2023).

Les cités ouvrières du XIXe confirment le cabinet extérieur. Dans la cité ouvrière Menier à Noisiel (1874) (fig. 12), les logements restent organisés avec des cabinets d'aisance situés au rez-de-chaussée, au fond de la cour ou dans des annexes techniques. De même, à la fin du XIXe siècle, dans les maisonnettes à bon marché, comme celles de la rue Chauvigny (fig.13) ou de la rue Tivoli (fig. 14) (1900), le WC demeure au rez-de-chaussée ou à l'extérieur, non intégré à l'espace privatif du logement (WorldFairs, 2004).

Avant l'invention du siphon par Alexandre Cumming en 1775, qui empêche les mauvaises odeurs de remonter des canalisations, il était recommandé de placer les « lieux », les toilettes, le plus loin possible des chambres pour des raisons olfactives et techniques (Eleb-Vidal, 2010).

Cette gêne a fait que les cabinets d'aisances sont restés longtemps à l'extérieur, en dehors du plan et de la représentation architecturale.

Paradoxalement, cette extériorité soutient une économie circulaire avec un cycle campagne → alimentation → déjections → champs. La relégation excréta hors du logis structure le métabolisme pré-industriel. (Kohlbrener, 2014 ; Raguet, 2024)

Maisons parisiennes types XVI^e siècle.

L'image ci-dessous (fig. 11) présente des plans d'étage types de trois maisons parisiennes datant du XVI^e. Ces documents sont des reproductions d'archives notariales et illustrent l'architecture domestique de l'époque, qui se caractérisait par des parcelles étroites et des constructions en longueur.

Dans les plans des figures 12 à 16, les latrines sont situées à l'extérieur, sous un abri ou les excréments sont recueillis dans des pots de chambre (récipients). Ces récipients portables, utilisés à l'intérieur notamment la nuit, sont ensuite vidés le plus souvent dans la rue ou dans les caniveaux.

Maison parisienne XVIe

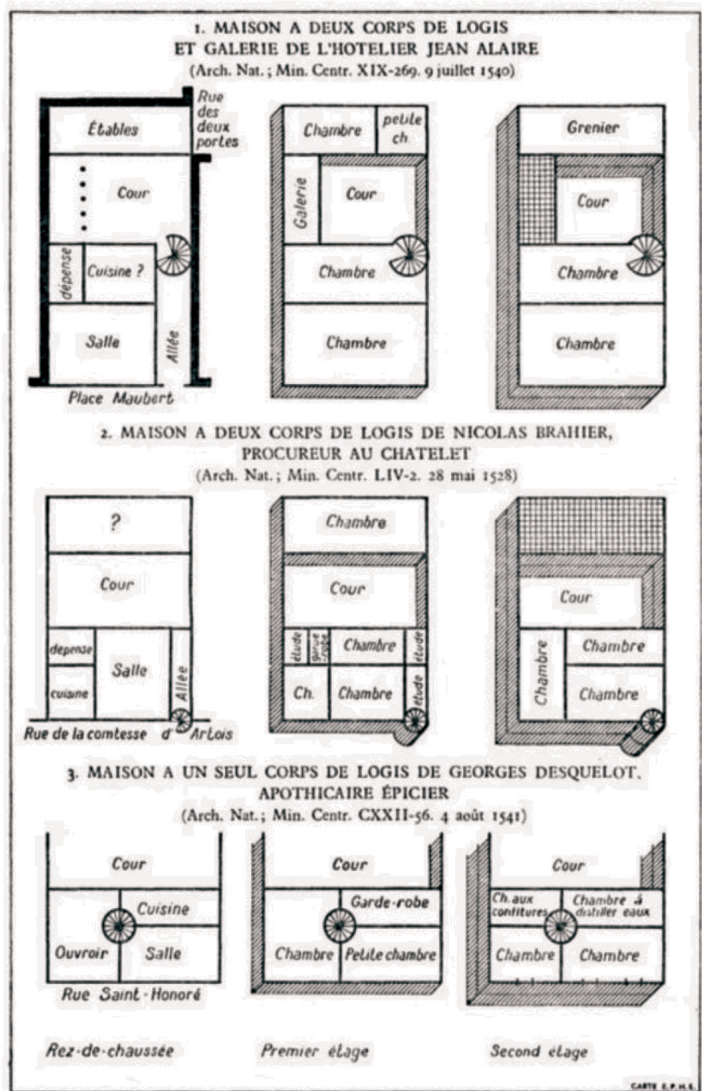


Fig 11: Maisons types parisiennes du XVIe siècle.

Source : Couperie, P., & Jurgens, M. *Le logement à Paris au XVIe et XVIIe siècles*. Iconographie reproduite dans Didier, C. (2020). *À quoi ressemblait un logement parisien au XVIe siècle ? Paris ZigZag*.

Cité ouvrière, Noisiel 1900

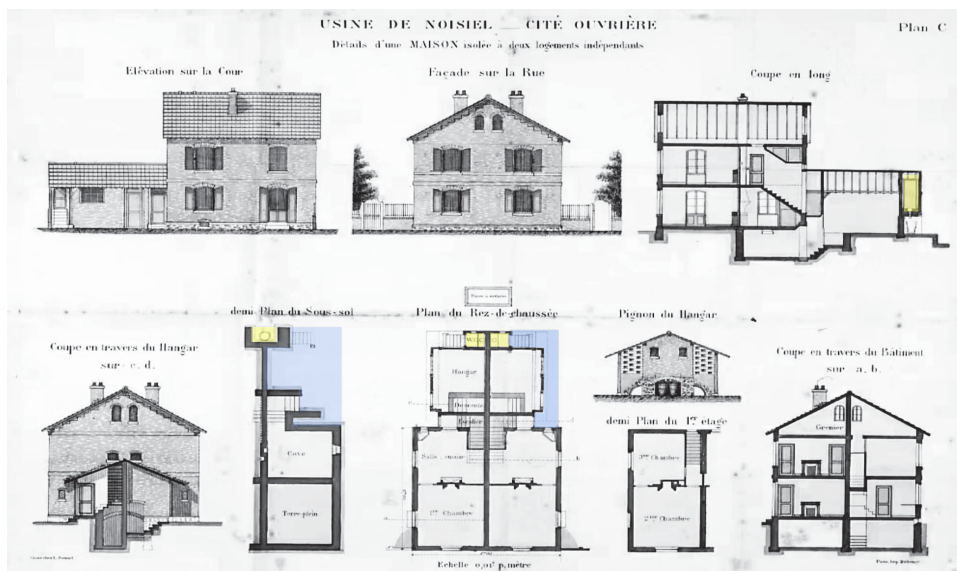
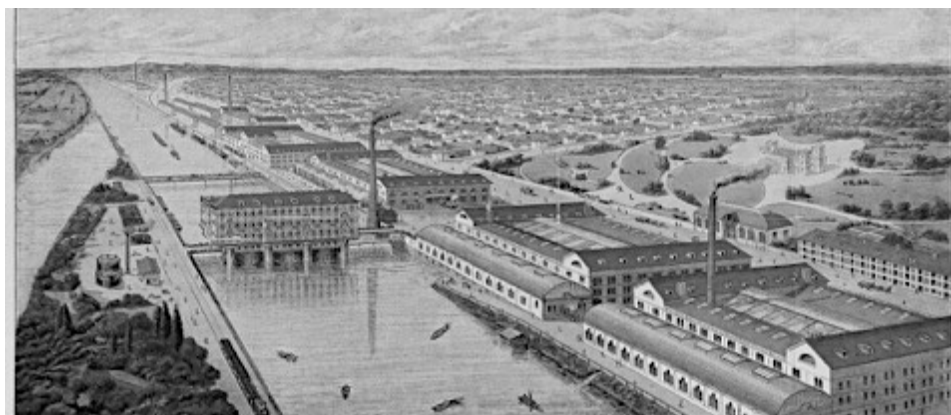


Fig 12: Vue générale de l'usine Menier et de la cité ouvrière, fin XIXe

Fig 12': La cité est présentée aux Expositions universelles de 1889 et de 1900 comme un modèle de « libéralité patronale ». À proximité de l'usine, des maisons ouvrières sont ajoutées jusqu'en 1911. Configuration en miroir, composée d'une chambre et d'une cuisine/salle à manger. Au R+1 deux chambres. Le WC (jaune) est installé à l'extérieur (bleu), accessible par la cour.

Source : Brochure de l'entreprise Menier pour l'Exposition universelle de Paris (1889) (AD77, 70J74), dans Ville de Noisiel. (2012). *Diagnostic et état initial de l'environnement*

Maisons ouvrières, exposition universelle de Paris 1900

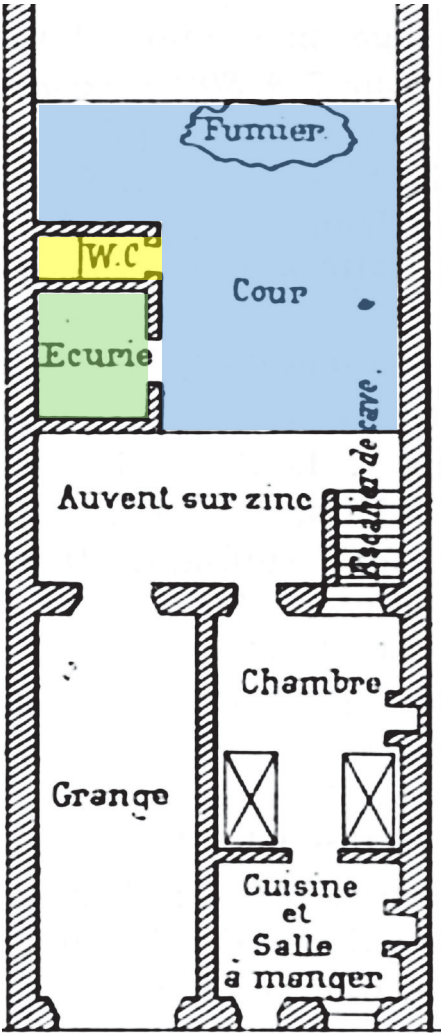


Fig 13: *Maison type ouvrière périurbaine. Rue Chauvigny, Paris. Maison constituée d'une cuisine/salle à manger relier à la chambre. Un grenier à fourrage. Le WC (jaune) accessible par la cour (bleu) à côté de l'écurie (vert).*

Source : Clugnet, M. (1900). *Les habitations à bon marché*. Iconographie reproduite dans WorldFairs.info (2024).

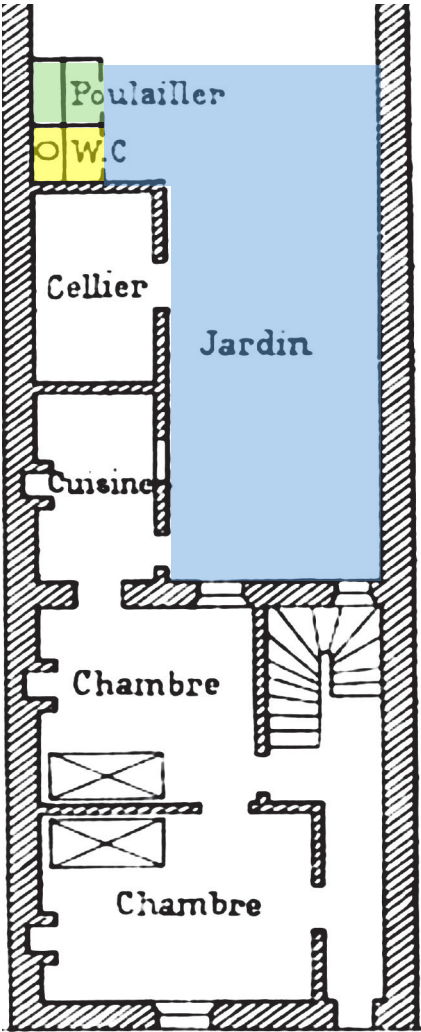


Fig 14: *Maison ouvrière rue Tivoli, France. Maison constituée de deux chambres, une cuisine et d'un cellier. Le WC (jaune) est accessible par le jardin (bleu) placé à côté du poulailler (vert).*

Source : Clugnet, M. (1900). *Les habitations à bon marché*. Iconographie reproduite dans WorldFairs.info (2024).

Maison bourgeoise, Paris 1835-1824

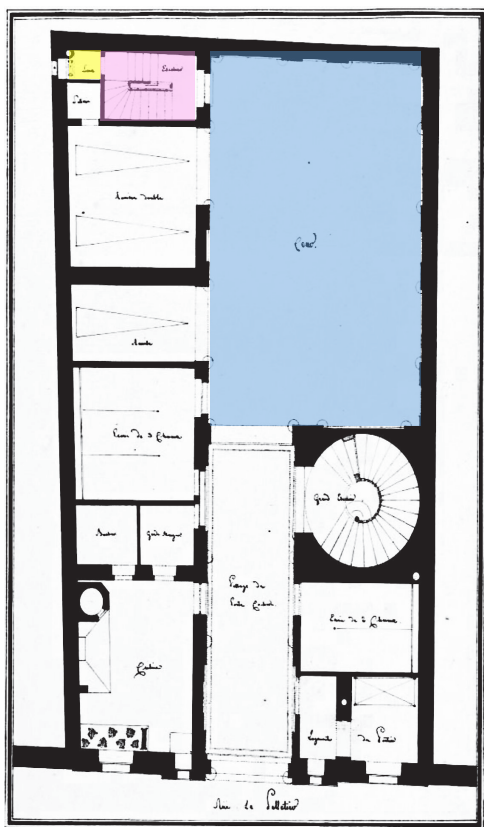


Fig 15: Maison bourgeoise située rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris, entre 1735 et 1824 : plan du rez-de-chaussée. Un seul cabinet d'aisance, nommé « lieux » et indiqué en jaune, est accessible par la cour, en bleu. Il est installé à l'intérieur, adossé à l'escalier, en mauve.

Source: Vincent, J.-B. [entre 1735 et 1824]. *Plan du rez-de-chaussée d'une maison située rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris*. Alamy.

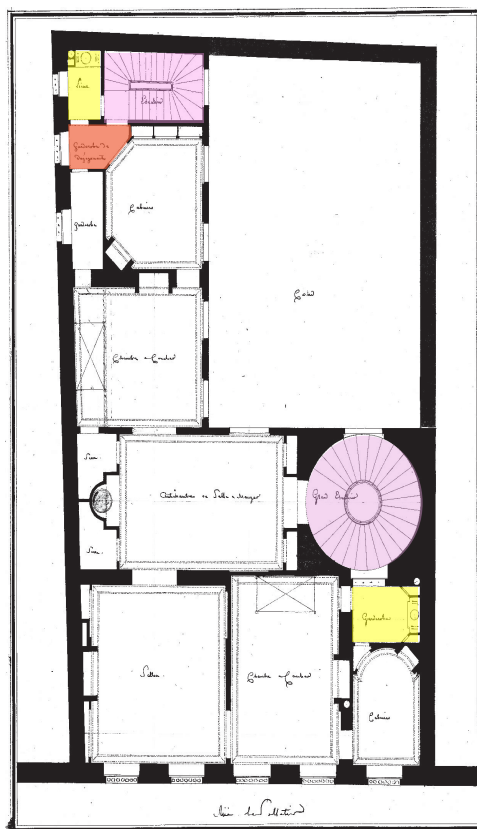


Fig 16: Maison bourgeoise située rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris, entre 1735 et 1824 : plan du premier étage. Le plan comprend de nombreuses salles et pièces spacieuses, ainsi que deux cabinets d'aisance, nommés « lieux » et indiqués en jaune. Ils sont installés à l'intérieur. L'un est contigu à la chambre à coucher et accessible par le cabinet côté rue. L'autre, côté cour, est séparé des pièces de vie et accessible par la garde-robe de dégagement, en rouge. Tous deux sont adossés aux escaliers, en mauve.

Source: Vincent, J.-B. [entre 1735 et 1824]. *Plan du rez-de-chaussée d'une maison située rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris*. Alamy.

FIN XIX^e – DÉBUT XX^e SIÈCLE

INTÉRIORISATION BOURGEOISE ET HIÉRARCHIES SOCIALES

La deuxième période voit une intériorisation sélective des toilettes par la bourgeoisie urbaine fin XIX^e siècle, tandis que les classes populaires restent attachées aux cabinets collectifs extérieurs. Les premiers water-closets intérieurs apparaissent dans les immeubles bourgeois fin XIX^e-début XX^e, (documentés par les plans de Destailleur (1854-1937) cité par Lacousse, 2023). Une ordonnance de 1878 fixe un volume d'air minimal par chambre, interdit la location de pièces non éclairées et exige un cabinet pour 20 personnes (Pavillon de l'Arsenal, 2018). La Commission technique prescrit en 1883 un cabinet par logement. Dès 1884, deux tiers des immeubles sont raccordés à l'eau courante (Pavillon de l'Arsenal, 2018).

La diffusion du water-closet à chasse d'eau anglaise s'impose grâce à Thomas Crapper (années 1880) et grâce à l'architecte Émile Trélat, qui en assure la promotion (Pavillon de l'Arsenal, 2018). Certains éléments se standardisent : pilier, cuvette, réservoir de chasse, abattant en porcelaine, faïence ou grès cérame. Cassell (1883) précise que ces latrines modernes doivent être équipées d'un siphon accessible et d'un réservoir automatique distribuant assez d'eau à chaque tirage pour éviter que les conduits ne se bouchent (Cassell, 1883). Le siphon permet l'intériorisation en neutralisant les odeurs, mais reste coûteux et socialement sélectif.

Dans les plans bourgeois, les WC occupent une position paradoxale : intégrés mais éloignés des pièces nobles. Lacousse (2023) souligne l'impératif d'être le plus lointain possible des réceptions et chambres. Destailleur les place au bout de galeries, dégagements, escaliers, près

de caves, garages, lingerie ou garde-mangers. Ils s'ouvrent sur l'extérieur via des petits jours ou des courettes pour l'aération. Dimensions types : 0,80-2,20 m de large x 1,65-3,70 m de profondeur ; matériaux blancs lavables (carrelage, faïence, porcelaine) symboles de propreté (Lacousse, 2023).

Cette intériorisation est hiérarchisée. Le WC des maîtres (près des chambres associées aux cabinets de toilette), au XIX le cabinet de toilette désigne une pièce où l'on fait sa toilette (habillage, coiffage, ...), vs domestiques (aile service, paliers, escaliers de service) (Lacousse, 2023). Cassell (1883) explicite cette hiérarchie en écrivant que, dans les petites maisons, le water-closet des domestiques peut, en règle générale, être placé à l'extérieur. Les désagréments pour y accéder sous la pluie étant jugés moins importants que les avantages de l'éloignement. La recherche d'« intimité sonore » pour les maîtres, éviter que le bruit de la chasse ne soit audible dans le salon, renforce cette distance symbolique et spatiale.

La salle de bains devient une pièce spécifique bourgeoise. Entre 1880 et 1914, elle passe de meublée à équipée et industrialisée (Eleb-Vidal, 1988). Des catalogues illustrés promettent « *La santé à la maison par l'hygiène* » (fig. 17) (Porcher, 1900). La Comtesse de Gencé, décrit une mode récente qui intègre le WC dans le cabinet de toilette-salle de bains, placé en coin ou derrière un paravent (Gencé, 1909, cité dans Eleb-Vidal, 2010).

Après 1900, Eleb-vidal et la chercheuse architecte Anne Debarre-Blanchard (1988) montrent les services (cuisine, WC, salles d'eau) sont regroupés en noyaux techniques, souvent ventilés par des courettes (Eleb-Vidal & Debarre-Blanchard, 1988). Dans certains immeubles, les

dépendances des chambres se rassemblent le long d'un « mur épais » qui concentrent les arrivées d'eau, de gaz et les conduits d'évacuation, préfigurant les gains techniques modernes. On voit ainsi se constituer une rationalité technique de l'espace domestique, où les WC participent au regroupement des pièces d'eau et des conduits.

Pour les classes populaires, l'adoption de ces techniques est plus lente. En 1906, 12 ans après le l'arrêté préfectoral de 1894 imposant un cabinet d'aisance par logement, deux logements sur trois ne possèdent toujours pas de WC intérieurs (palier/cour) (Lequin, 1983, cité dans Eleb-Vidal, 2010). Dans les maisons de rapport modestes, certains concours d'habitations à bon marché proposent des plans où les quatre logements par palier sont organisés autour d'une salle à manger centrale et de chambres attenantes (Eleb-Vidal & Debarre-Blanchard, 1988). L'immeuble du boulevard Bessières en 1911, (fig. 20) (Kamoun, 2025), regroupe les WC, vidoirs et postes d'eau dans une partie entièrement intérieure au logement, ouvert sur un balcon-dégagement, afin d'isoler les « activités salissantes » de la salle commune (Eleb-Vidal & Debarre-Blanchard, 1988). La bipartition entre, d'un côté, la cuisine et WC et, de l'autre, les chambres structure alors de nombreux plans de logements ouvriers.

L'arrêté préfectoral du 8 août 1894 de Paris impose : « *dans toute maison à construire, il devra y avoir un cabinet d'aisance par appartement, par logement ou par série de trois chambres louées séparément* situé dans ou à proximité immédiate du logement et fermé à clé » (Eleb-Vidal, 2010). Les WC intérieurs deviennent, pour la première fois, une obligation légale plutôt qu'un simple choix de

confort. Toutefois, leur généralisation effective dans les logements populaires ne se fera que dans la période suivante, fin XIXe début XXe.

Pl. 1

Installation de Salle de Bains (Modèle A)

1 Baignoire modèle "ROMAINE", émail porcelaine blanc à l'intérieur et sur la gorge, extérieur laqué crème avec filets or, montée avec robinetterie extérieure eau chaude et froide, vidage perfectionné en cuivre nickelé formant trop-plein, avec siphon, douche en pluie et douche en jet et plate interchangeable, cercle porte-tidans et ridess tous caoutchoués. Complète : 650 Frs.

1 Lavabo Louis XV avec gaine, monture fonte laquée crème et or, cuvette forme spéciale porcelaine crème et filets or avec vidage perfectionné formant trop-plein et robinets eau chaude et froide en cuivre nickelé. Complète : 375 »

1 Bidet "PEDESTAL" en une seule pièce de porcelaine crème avec filets or, robinetterie eau chaude et froide et vidage perfectionné formant trop-plein. Complète : 235 »

(Les bords de ce bidet sont chauffés par l'arrivée d'eau chaude qui se fait tout autour de la gorge, ce qui évite à la personne qui s'en sert la sensation désagréable du froid de la porcelaine).

1 Closot "LE PRIMO carré", appareil fonctionnant par aspiration avec siège double abattant azajou attenant à la cuvette; cuvette en une seule pièce de porcelaine crème et filets or; réservoir de chasse en porcelaine même décor, consoles, tuyau de descente et colliers en cuivre nickelé et tirage riche à glissière. Complète : 375 »

(Le closot de forme carrée a été créé de façon à pouvoir servir de tabouret ou de siège dans la salle de bains).

1 Porte-savon en cuivre nickelé mobile s'adaptant sur la gorge de la baignoire. 7 50

1 Porte-éponge cuivre nickelé. 12 »

1 Porte-serviettes en-c, cuivre nickelé n° 1070. 31 »

PRIX de l'installation complète comme ci-dessus 1665 50

Ces Salles de Bains sont alimentées d'eau chaude par-mètre Chauffe-Bains à pression, page ou par une circulation d'eau chaude sous pression.

ÉTABLISSEMENTS PORCHER
52 Rue d'Hauteville, PARIS

UNE SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE VENTE DÉTAILLÉE - PARIS

Fig 17: Affiche publicitaire pour des salles de bains luxueuses fabriquées par les Établissements Porcher, 1899. L'affiche met en avant le carrelage facile à entretenir et l'intégration du WC dans la salle de bain. Le WC est décrit comme « Le Primo carré », un appareil fonctionnant par aspiration, avec siège double, abattant attenant à la cuvette et tirage. Le « closet » de forme carrée est conçu pour pouvoir servir de tabouret ou de siège dans la salle de bain. Source: Porcher. (1900). *Appareils sanitaires, cabinets de toilette, hydrothérapie, salles de bains* [Catalogue commercial]. Bibliothèques spécialisées et patrimoniales de la Ville de Paris.

Appartement bourgeois

Dans la figure ci-dessous, le plan de l'immeuble à appartements à louer (fig. 18), montre deux appartements par palier, chacun d'eux est composé de deux cabinets d'aisances (WC) (jaune). Le premier, destiné aux hôtes, est situé près des salles à manger, dans un espace de dégagement (rouge) isolé par une galerie (orange). Cet emplacement permet de limiter les nuisances sonores et les odeurs dans les pièces de vie.

Le second, occupé par les domestiques, se trouve à proximité des cuisines et des buanderies, près des escaliers (mauve). Chaque WC est adossé à un espace extérieur ou à une courette (bleu), ce qui permet une aération directe et un apport de lumière naturelle.

Appartement bourgeois, Paris 1900



Fig 18: Maison à loyer située au 66, avenue de Wagram, Paris, 1900.

Source: Julien, F. (1900). Plan reproduit dans Eleb, M. (2000). La mise au propre en architecture : toilette et salle de bains en France au tournant du siècle, 1880-1914.

Maison de rapport bourgeoise

Dans cette maison (fig. 19), les pièces de vie sont orientées côté rue, tandis que les chambres donnent sur l'intérieur de l'îlot, placée entre 2 murs mitoyens. Le plan montre deux cabinets d'aisances (WC) (jaune). Le premier, adossé à la cuisine (gris), accessible par un espace de dégagement (rouge). Ce couloir est isolé des pièces de vie par l'antichambre (orange), permettant d'éloigner et séparer les odeurs des espaces humides, des pièces de jour.

Le WC ne contient pas de fenêtre, ni d'accès direct à l'air ou à la lumière extérieure et est destiné au propriétaire. Un second cabinet d'aisance, installé dans la cage d'escalier secondaire (mauve), est dédié aux domestiques et bénéficie quant à lui d'un accès direct à l'air et d'un apport de lumière naturelle.

Maison bourgeoise, Paris
1906

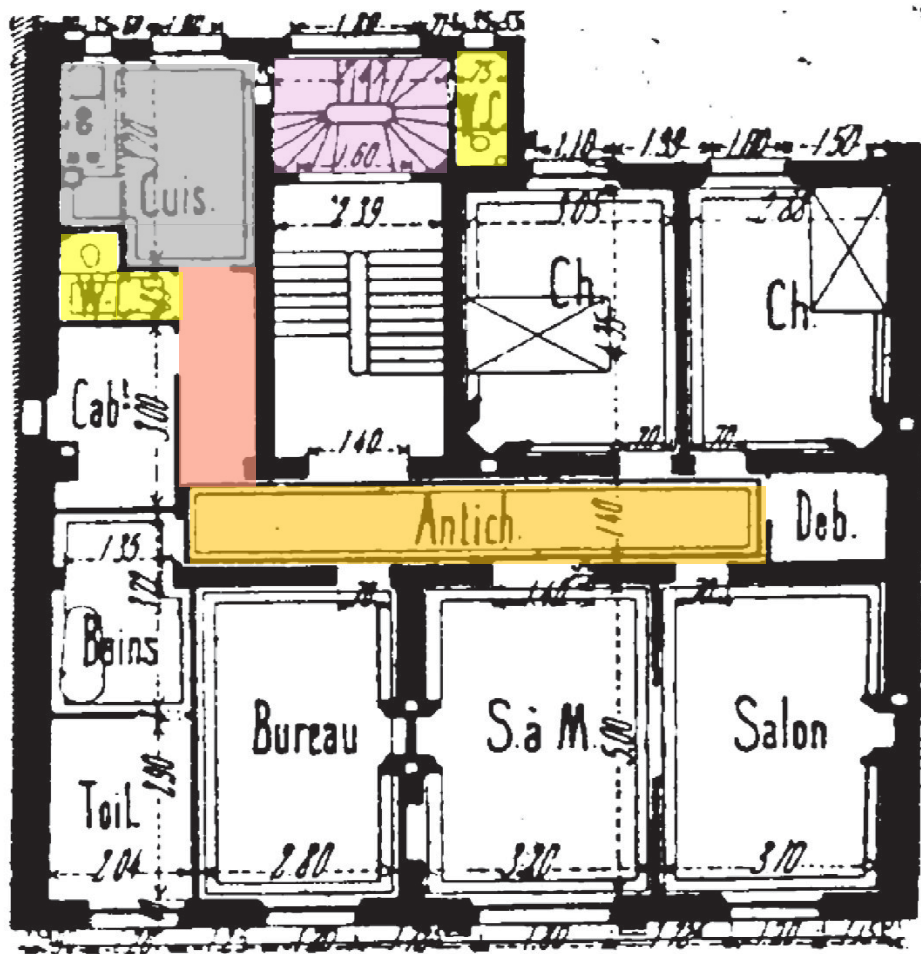


Fig 19: Maison de rapport bourgeoise située au 8, avenue Herbillon, Saint-Mandé, 1906.
Source: Viard. (1906). Plan reproduit dans Eleb-Vidal, M., & Debarre-Blanchard, A. (1987). Architecture domestique et mentalités : aux sources du XXe siècle, 1880-1914 [Rapport de recherche].

Logement à Bon Marché

Le nom « Habitations à Bon Marché » (HBM) apparaît à la fin du XIX^e siècle, notamment avec la loi Siegfried de 1894 en France. Cette appellation désigne les logements salubres et peu coûteux destinés aux classes ouvrières, grâce à des aides de l'État et des avantages fiscaux, afin de remplacer les logements insalubres. Les HBM désignent les premières formes de logements sociaux construits en France au tournant du XX^e siècle, principalement entre 1912 et 1939.

Dans l'immeuble du boulevard Bessières (fig.20), les 60 logements sont composés de deux pièces : une chambre de 20 m² divisé par des cloisons à mi-hauteur pour préserver l'intimité des parents et des enfants et une pièce commune de 11 m².

Un évier, des WC (jaune) et un monte-charge sont présents sur le palier pour quatre logements. Les WC, le vidoir, les postes d'eau servant d'évier et le monte-charge sont regroupés dans un appendice technique, ouvert sur un balcon-dégagement (rouge) qui permet d'isoler les chambres et les cuisines/salles à manger des WC.

Ceux-ci sont totalement extérieurs aux espaces privés du logement pour mieux isoler les activités salissantes de la salle commune. Un principe de dégagement (rouge) que l'on retrouve dans les logements bourgeois.

Immeuble à appartement à bon marché, Paris 1911

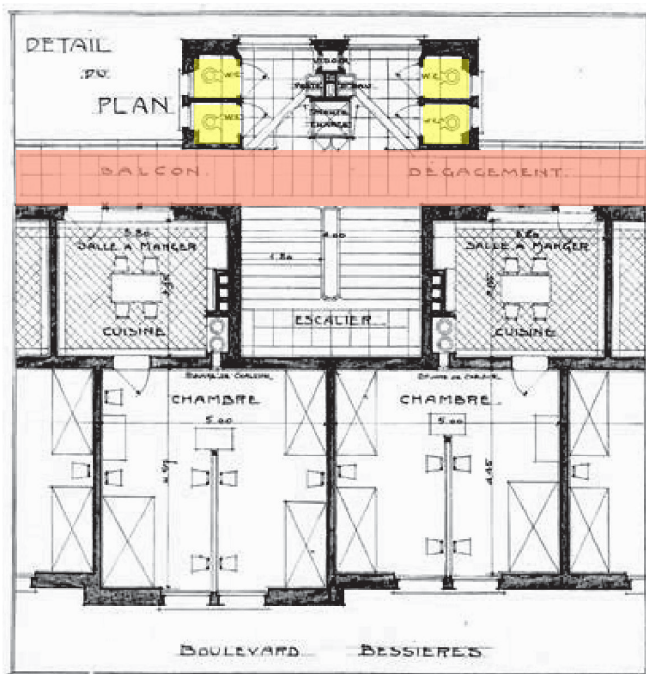


Fig 20: Immeuble du boulevard Bessières, Paris, 1911. Plan de deux logements et des espaces communs.
Source: Kamoun, P. (2025). *Le logement social de 1850 à nos jours: Architectures remarquables, prototypes, modes et modèles* [PDF]. Kheox - Médiathèque.

FIN XIX^e – XX^e SIÈCLE

NORMALISATION OUVRIÈRE ET LOGEMENT SOCIAL

La troisième période correspond à la traduction juridique et sociale du modèle bourgeois, lorsque les toilettes intérieures deviennent progressivement la norme du logement ouvrier et du logement social via les HBM (Atelier Parisien d'Urbanisme, 2019).

Elles naissent dans un contexte de crise du logement ouvrier, de préoccupations hygiénistes et de volonté de contrôle social face à la misère urbaine. Ces bâtiments, situés sur la ceinture des Maréchaux à Paris, ont une architecture fonctionnelle et rationnelle pensée pour offrir des logements sains, salubres et économiques aux classes modestes. Ce type de logement sera remplacé dans les années 50 par ce que nous connaissons aujourd'hui, les HLM (Habitations à Loyer Modéré) marquant l'évolution vers le logement social moderne (Atelier Parisien d'Urbanisme, 2019).

De 1912 à 1930, quatre catégories d'HBM sont créées via des concours de la Ville de Paris pour différents revenus : les HBMR rudimentaires (1912) pour les démunis avec confort minimal vite abandonné, les HBMO ordinaires (1912) pour ouvriers/employés, les ILM à loyers moyens (1923) avec confort bourgeois (eau chaude, chauffage central, ascenseur) et les HBMA améliorées (1930) intermédiaires entre HBMO et ILM (+12 m²) (Atelier Parisien d'Urbanisme, 2019).

- **Habitations à Bon Marché rudimentaire (HBMR)** sont les formes les plus simples de logement social pour les foyers les plus modestes.
- **Habitations à Bon Marché Ordinaire (HBMO)** correspondent à un niveau de confort standardisé pour les classes populaires.
- **Habitations à Bon Marché de type amélioré (HBMA)** offrent des logements spacieux et mieux équipés pour les classes moyennes.
- **Immeubles à Loyers Modérés (ILM)** représentent les normes de confort bourgeois (distribution, équipements, finitions), mais avec des loyers encadrés, ce qui en fait le « haut de gamme » du logement social de l'époque.



Salle à manger dans un logement type HBMO



Salle à manger dans un logement type HBMA



Salle à manger dans un logement type ILM

Fig 21: Aperçu du niveau de confort selon le type de logement.

Source: Office public d'Habitations à bon marché de la Ville de Paris. [avant 1945]. Photographies extraites du fonds d'archives antérieur de 1945, reproduites dans Atelier parisien d'urbanisme (APUR). (2019). *Les Habitations à bon marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

La loi Siegfried de 1894 permet la construction des HBM (fig. 22), complété par un arrêté imposant un cabinet d'aisance par appartement, logement ou série de trois chambres louées séparément et ce, dans toute maison à construire (Pavillon de l'Arsenal, 2018 ; Lacousse, 2023). En 1900, une coupe type de « maison salubre » (fig. 23) présentée au Musée d'Hygiène de la Ville de Paris illustre un logement populaire équipé d'un WC et d'une cuisine intérieure, servant de modèle pour l'habitat ouvrier salubre (Pavillon de l'Arsenal, 2018). Le règlement sanitaire de Paris de 1904 précise encore ces exigences en encadrant l'entretien, l'enlèvement des ordures, l'alimentation en eau, le branchement à l'égout et la surface minimale des pièces habitables. Les WC deviennent un véritable critère de salubrité du logement (Pavillon de l'Arsenal, 2018).

Dans les HBM (fig. 21) étudiées par la sociologue Monique Eleb-Vidal (1988), chaque appartement possède son propre cabinet d'aisance individuel, alors que la plupart des logements ouvriers contemporains n'offrent encore que des cabinets communs situés dans la cour ou sur les paliers. Ces cabinets d'aisance sont systématiquement éclairés et aérés par une fenêtre donnant sur la rue ou la cour, jamais par une simple trémie. Leur emplacement, proche des cuisines et locaux de service, permet de regrouper les arrivées d'eau et les évacuations tout en restant séparé par une porte, ce qui marque une frontière symbolique et hygiénique (Eleb-Vidal, 1988). Les sols en carrelage de grès et les murs en faïence lavables, peints à l'huile, montrent l'importance de la durabilité et de la facilité de nettoyage.



Fig 22 : *Porte d'Orléans, Paris, 1923*. Image issue du concours portant sur quatre portes : Champperret, Ménilmontant, Porte de Montrouge et Porte d'Orléans. Panneaux d'affichage pour la mise en location de HBM, groupe de la Porte de Montrouge, Paris Habitat, 1933.

Source: Doisneau, R. (1936). Iconographie reproduite dans Baziller, L. [date à vérifier]. *Le chantier de l'entre-deux-guerres. Les Fortifs*.

Les études de l'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR) abordent les HBM par trois caractéristiques : encadrement des loyers pour des publics ciblés, normalisation de l'habitat (surface, eau courante, WC, cuisine) et contrôle des organismes gestionnaires par la puissance publique (APUR, 2019). En 1905, a lieu le premier Congrès international d'assainissement et de salubrité de l'habitation à Paris, organisé sous les auspices de la Société française d'hygiène, avec le concours de la Société centrale des architectes et de la Société des architectes diplômés par le gouvernement (Pavillon de l'Arsenal, 2018). À partir de 1919, les textes de l'après-guerre montrent que les plans des logements intègrent systématiquement un WC dans chaque habitat (APUR, 2019).

Dans les opérations concrètes, cette normalisation se lit dans la distribution. À Saint-Denis, le groupe « Le Foyer » (1899-1900) comprend deux bâtiments d'habitation à bon marché dont chaque logement comporte une entrée, une cuisine, un water-closet, une salle à manger et deux chambres (Eleb-Vidal & Debarre-Blanchard, 1988 ; Hatton, cité dans La Construction moderne, repris par WorldFairs, 2004).

Le plan type des HBMO des années 1920 place le WC près de l'entrée, séparé et ventilé, souvent en relation avec la cuisine et un futur coin-douche. Les recherches d'Eleb-Vidal et Debarre-Blanchard (1988) montrent que les logements ouvriers du début du XX^e siècle tendent à copier certains codes bourgeois, comme la réduction à deux logements par palier pour garantir le calme et l'intimité et permettre l'installation d'un noyau sanitaire par appartement plutôt qu'un WC collectif (Eleb-Vidal & Debarre-Blanchard, 1988).

Cette normalisation reste néanmoins encadrée par un contrôle moral. Les dimensions maximales des petites pièces (1,25 m × 1,80 m) visent à empêcher leur transformation en chambres insalubres (Eleb-Vidal & Debarre-Blanchard, 1988). Parallèlement, au début du XX^e siècle, certains immeubles économiques ne disposaient encore que d'un seul WC par étage, notamment dans de nombreux ensembles ouvriers, tandis que persistaient des dispositifs d'alcôves et de « cabinets alcôves » dépourvus de fenêtre, malgré les efforts en matière d'hygiène.

Enfin, la généralisation de ce standard à l'échelle européenne reste tardive et inégale. En Belgique, certaines coopératives comme la Société Parmentier à Ixelles (1903) concernent un WC par maison dans les opérations sociales ou coopératives, mais la reconnaissance juridique explicite d'un « WC à chasse permanente accessible par logement » ne survient qu'avec l'Arrêté du Gouvernement wallon déterminant les critères minimaux de salubrité, les critères de surpeuplement et portant les définitions visées à l'article 1^{er}, 19° à 22° bis, du Code wallon de 2007 (Gouvernement wallon, 2007).

Coupe du logement salubre

Comprenant un WC et une cuisine (1900).



« Les WC seront éclairés et aérés directement ou exceptionnellement par trémie, celle-ci n'étant autorisée qu'à la condition qu'elle ait 0,2 m² de surface au moins et que sa profondeur sa profondeur maxima soit de 1,50 m du nu intérieur des WC au nu extérieur de la façade. La paroi inférieure de la trémie devra être inclinée » arrêté préfectoral du 7 août 1926.

Fig 23 : Coupe de maison salubre : W.-C. et cuisine, 1902. Musée d'Hygiène de la Ville de Paris.

Source: Coupe de Jacques Boyer/Roger-Viollet, (1902), dans Pavillon de l'Arsenal. (2018). *Habiter plus habiter mieux : Dossier de presse*

HBMO : Habitations à Bon Marché Ordinaire

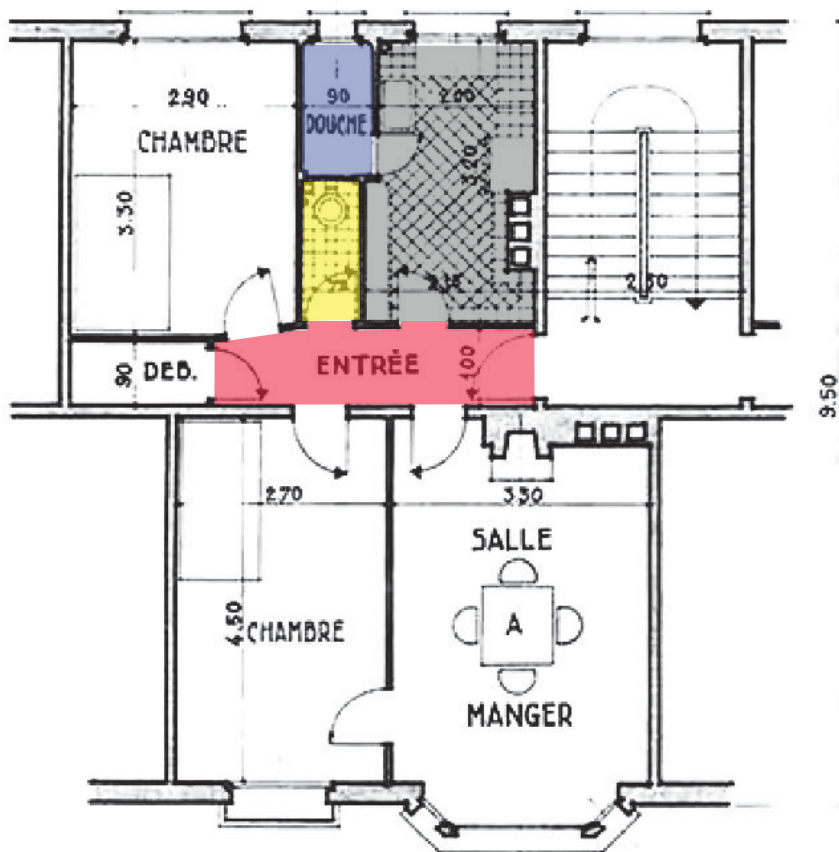
Un niveau de confort standardisé pour les classes populaires.

Dans les HBMO (fig. 24), le WC est indépendant, séparé des autres espaces et accessible directement depuis l'espace d'entrée (couloir). Cette implantation permet d'améliorer la ventilation naturelle et d'installer le conduit du vide-ordures derrière la cuvette des WC.

À l'origine, av. 1929, les logements HBMO ne comprenaient pas de douche (fig. 25), seuls des WC sont aménagés, soit accolés à la façade, soit implantés à une distance d'environ 1,50 m de celle-ci.

Dans cette configuration, la ventilation est assurée par une trémie horizontale en partie haute, intégrée dans un faux plafond et reliée à la façade. Sous cette trémie inclinée, l'espace de la cuisine, d'une surface d'environ 1 m², accueille un évier avec égouttoir.

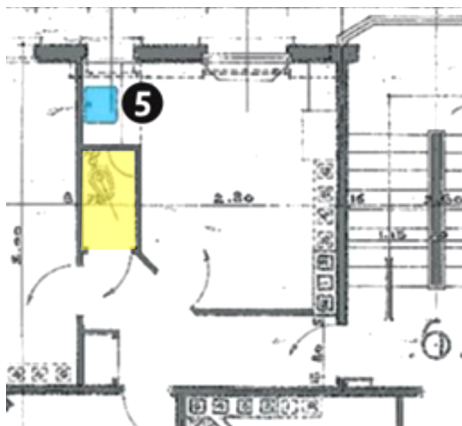
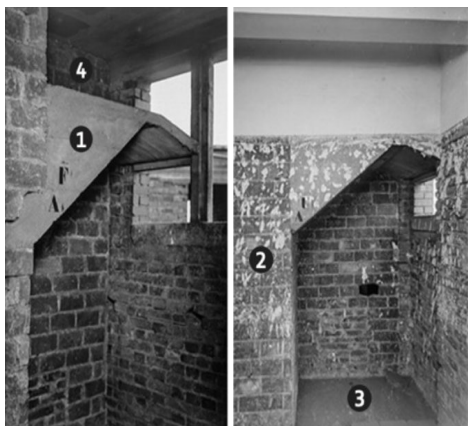
Plan type appartements HBMO



Logement du type normal.

Fig 24: Plan type appartements HBMO

Source: Iconographie par Paris Habitat dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique.*



WC - Évier dans les HBMO

- 1 Élément de ciment armé permettant la séparation des WC et de l'évier
- 2 Cloison derrière laquelle se trouve le WC
- 3 Espace réservé à l'évier
- 4 Espace dégagé pour l'installation d'un conduit d'aération tirant de l'air en façade

Installation de la douche à la place de l'évier

- 5 Espace réservé à l'évier
- 6 Évier remplacé par un coin douche

Fig 25: HBMO – WC avec trémie.

Après 1929, une douche est ajoutée dans le renforcement de la cuisine, sur environ 1 m². Cette transformation entraîne la création de deux baies superposées en façade, correspondant aux ventilations séparées du W.-C. et de la douche.

Source: Iconographie par Paris Habitat dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

HBMA : Habitations à Bon Marché de type Amélioré

Des logements spacieux et mieux équipés pour les classes moyennes.

Dans les appartements HBMA, les WC et autres pièces humides sont regroupés et accessibles par un couloir secondaire, que l'on peut assimiler au « dégagement » dans les logements bourgeois. Ce couloir a pour fonction d'éloigner tous les bruits et odeurs des pièces de vie (fig. 26).

Le WC est implanté à proximité de la cuisine et dispose d'une baie en façade permettant d'avoir une ventilation naturelle.

L'arrêté préfectoral de 1926 impose que les WC soient éclairés et ventilés naturellement, soit par une ouverture directe sur l'extérieur, soit, à titre exceptionnel, par une trémie de 0,20 m² minimum, d'une profondeur maximale de 1,50 m, avec paroi inférieure inclinée.

Plan type appartements HBMA

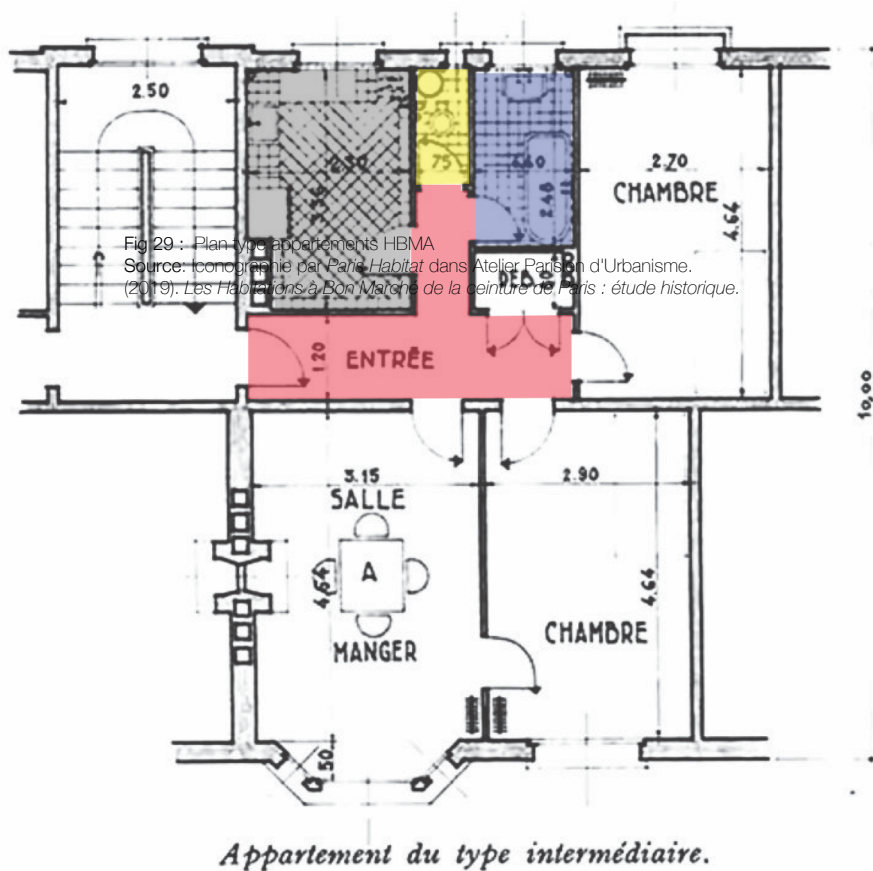


Fig 26 : Plan type appartements HBMA.
Source: Iconographie par Paris Habitat dans Atelier Parisien d'Urbanisme, (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique.*

ILM : Immeubles à Loyers Modérés

Représentent les normes de confort bourgeois mais avec des loyers encadrés, ce qui en fait le « haut de gamme » du logement social de l'époque.

Dans les appartements ILM, les WC et autres pièces humides sont accessibles par un couloir secondaire, que l'on peut assimiler aux « galeries » et « dégagements » des logements bourgeois. La porte de séparation entre ces deux espaces délimite la partie publique et la partie intime de l'appartement (fig. 27 et 28).

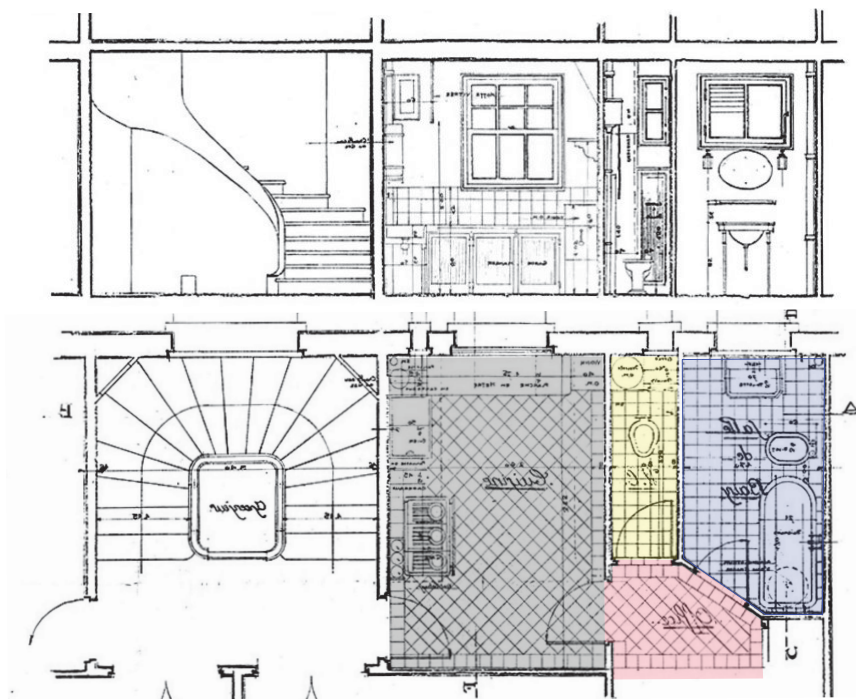
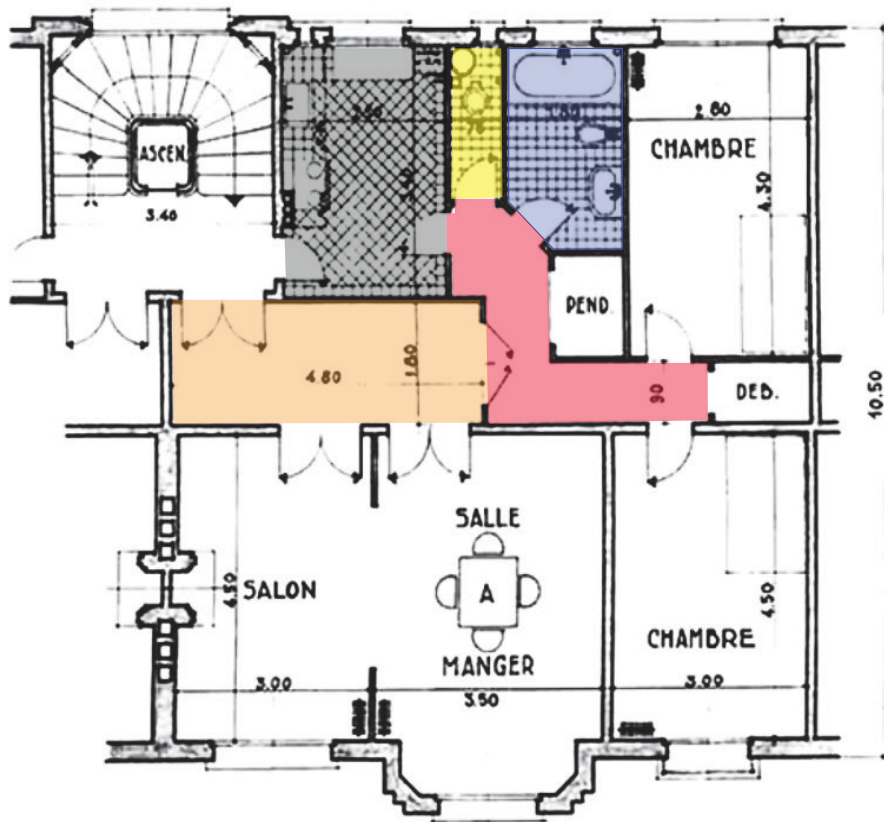


Fig 27 : Plan et coupe des pièces humides et bloc sanitaire du type appartements ILM

Source: Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

Plan type appartement ILM



Appartement à loyers moyens.

Fig 28 : Plan type appartements ILM.
Source: Iconographie par Paris Habitat dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique.*

Dans les années 1960, l'organisation du WC reflète l'héritage du mouvement moderne. Le logement est conçu comme un ensemble rationnel, fonctionnel et hygiénique, dont la distribution est largement standardisée. Le WC, désormais intégré au plan et rapproché de la salle de bain, devient un élément normalisé, participant à l'efficacité technique et au confort domestique. Ce modèle s'inscrit dans une logique plus large de production de masse, portée par le mouvement moderne pour répondre à la crise du logement, et qui a fortement marqué la forme des grands ensembles, malgré les critiques ultérieures liées à leur uniformisation et à certains dysfonctionnements urbains (Orgilles, 2020).

Dans les deux exemples présentés ci-dessous, l'un situé à Bagnolet (fig. 29), dans la cité des Malassis aux portes de Paris, un ensemble emblématique des grands ensembles construits en France, et l'autre dans la cité de Droixhe (fig. 30), situé dans la commune de Liège en Belgique, on retrouve une organisation spatiale qui rappelle en partie celle du logement bourgeois.

À l'entrée du logement, on trouve d'abord un espace de distribution (orange) qui donne accès aux pièces de vie. Cet espace joue un rôle similaire à celui de la « galerie » dans les logements bourgeois, il organise la circulation et sépare les espaces. Il mène ensuite un couloir de dégagement (rouge) qui distribue les différentes pièces du logement, dont les chambres, la salle de bain et le WC.

Le WC est placé à proximité de la salle de bain, ce qui permet de regrouper les réseaux et les descentes d'eaux usées dans une même zone technique avec un système du tout-à-l'égout où toutes les eaux noires sont dirigées vers les stations d'épuration. Cette organisation est fréquente dans le logement collectif et simplifie l'installation technique et la gestion des réseaux.

Cependant, le WC est situé à l'écart des espaces de vie principales et des chambres. Cette position permet d'éloigner les nuisances liées aux bruits et aux odeurs et de préserver l'intimité. Son emplacement dans un espace de circulation plutôt que directement dans les pièces principales montre l'importance accordée à la séparation entre les fonctions domestiques et les espaces de vie du logement.

Cité des 4000, La Courneuve, Paris
1960

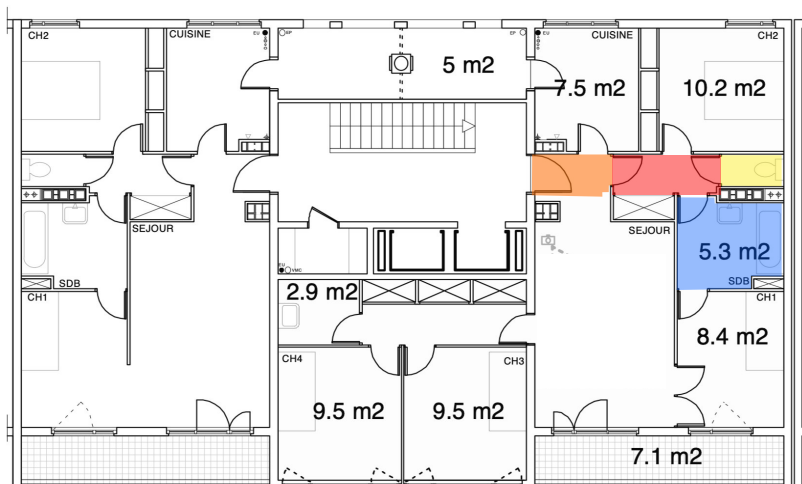


Fig 29 : Barre de logements de la cité des 4000, La Courneuve, années 1960.

Source: Archives municipales de La Courneuve. (1961). Plan et photographie extraits des archives municipales de La Courneuve.

Cité de Droixhe, Liège 1959 -1970



Fig 30 : Organisation du bloc sanitaire dans les logements de la cité de Droixhe, Belgique. Ce schéma d'organisation se retrouve dans cet exemple belge de la cité de Droixhe. Comme dans de nombreux logements collectifs de cette période, les toilettes sont placées à proximité de la salle de bain afin de regrouper les installations techniques et les réseaux d'évacuation. Elles sont également situées à l'écart des pièces de vie principales. Leur position dans un espace de circulation permet de limiter les nuisances liées aux bruits et aux odeurs, tout en maintenant une séparation claire entre les fonctions domestiques et les espaces de vie du logement.

Source : Cellule architecture de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Logements de la cité de Droixhe. Guides.archi.

XXI^e SIÈCLE

UN MODÈLE QUI SE PERPÉTUE

Au XXI^e siècle, ce modèle se perpétue. L'organisation spatiale reste très similaire (orange : espace de distribution, rouge : couloir de dégagement, bleu : salle de bain, jaune : WC) (fig 32 et 33). Les sanitaires demeurent regroupés dans une même zone technique et sont maintenus à distance des pièces de vie.

Dans les centres urbains, le système évolue finalement très peu. Les toilettes sont presque toujours reliées au système du tout-à-l'égout, qui évacue les excréments vers les stations d'épuration, éloignant ainsi physiquement et symboliquement ces matières du logement.

Cette organisation spatiale soulève une réflexion sur les transformations qu'elle implique dans nos manières d'habiter et de concevoir les espaces sanitaires. Un extrait des directives de l'administration de l'urbanisme de la ville de Liège (fig. 31) montre que, pour qu'un logement soit considéré comme « de qualité », l'aménagement doit prévoir un sas entre les sanitaires et les pièces de vie.

Cette règle illustre bien à quel point, aujourd'hui encore, le logement de qualité est souvent pensé comme un logement où la toilette est mise à distance et invisibilisée. Les excréments restent associés à quelque chose de sale, que l'on préfère ne pas voir. Cette conception influence encore largement la manière dont on enseigne et conçoit les espaces domestiques.

CHAPITRE II - PROGRAMME ET DE QUALITÉ DES LOGEMENTS (hors kots)

II.1. Généralités

Le Collège communal ne délivre un permis d'urbanisme que si celui-ci participe à la mise en œuvre des principes suivants :

- répondre à la croissance démographique en proposant des programmes de logement attractifs, de qualité, répondant aux nouveaux modes de vie et aux défis du contexte liégeois :
 - besoin de maintenir en ville les familles avec enfants ;
 - répondre à la diversité des types de ménage : familles, petits ménages, ménages monoparentaux, personnes isolées, population vieillissante, ménages recomposés, etc ;
 - favoriser l'accessibilité au logement pour tous ;
- préserver la qualité du cadre bâti existant ;
- contribuer à la constitution d'un cadre de vie de qualité ;
- encourager la mixité et la cohésion sociale dans les projets de logements multiples.

II.2. Champs d'application

La présente directive s'applique à tout projet de logement, à l'exception des programmes de logements particuliers, tels que les résidences-services, résidences de kots, maisons de repos, co-housing / co-living.

II.3. Règles communes à tous les logements (hors kots)

Le caractère admissible d'un programme de logement doit être apprécié en considérant tant la globalité du projet, d'une part, que chaque unité de logement, d'autre part. Il se fonde notamment sur les trois principes suivants :

II.3.1. Principe de qualité :

Pour être estimé de qualité, un logement doit présenter, au minimum, trois caractéristiques parmi les suivantes :

- Caractère traversant : à l'exclusion des studios, un logement doit présenter un caractère « traversant ». Un logement « traversant » est un logement qui dispose, au minimum, d'une double orientation (vues vers l'avant, l'arrière ou latéralement) afin de permettre des vues et un bon ensoleillement des différentes pièces de vie.
- Luminosité : les espaces de jour et de nuit disposeront, au minimum, d'une baie permettant une prise de vue verticale vers l'extérieur.
- Organisation :
 - les circulations entre les pièces d'une même unité d'habitation seront strictement privatives (les occupants ne doivent pas utiliser la cage d'escalier commune ou traverser les espaces communs pour passer d'une pièce à l'autre de leur logement) ;
 - l'aménagement des espaces de vie et de service doit être organisé selon les principes du bon aménagement des lieux en prévoyant un sas entre les sanitaires (wc) et les pièces de vie.
- Espace extérieur :
 - dans toutes les nouvelles constructions, chaque logement doit bénéficier d'un espace extérieur privatif sous la forme de jardin, terrasse, toit-terrasse... de dimensions suffisantes pour permettre son appropriation, idéalement en lien direct avec les pièces de vie ;

Fig 31 : Extrait d'une directive urbanistique de la Ville de Liège, 2023. Ce document, toujours en vigueur, illustre la manière dont les règlements relatifs au logement organisent l'espace sanitaire, tout en excluant la question du devenir des excréta hors du logement.

Source: Ville de Liège. (2023). *Directives d'analyse des demandes de permis d'urbanisme*, chap. 2, p. 5, « Programme et qualité des logements ».

Reconstruction, cité des 4000, La Courneuve, Paris 2009



Fig 32 : Photographie et plan des 97 nouveaux logements sociaux de la cité des 4000, La Courneuve, 2009.
Source: Abbadie, H. [photographie], reproduite dans Scoffier, R. (2010). *Loi de la pesanteur : Cité des 4000, La Courneuve*. D'Architectures, 188, février. Plan du projet : Atelier Germe & JAM.

Logements sociaux, St-Denis 2025



Fig 33 : *Logements sociaux à Saint-Denis, France, 2025.* Projet du bureau d'architecture Dream.archi.
Source: C. Weiner, photographies sur Dream.archi ; plan du projet, Dream.archi.

AMPLIFICATION

DE LA RUPTURE URBAINE
À LA COLONISATION MÉTABOLIQUE

Cette partie s'intéresse aux dispositifs qui amplifient la rupture métabolique produite par l'urbanisation moderne. Après la rupture urbaine, il ne s'agit plus seulement de constater la séparation entre la ville et ses cycles naturels, mais d'observer comment cette séparation s'est amplifiée par des infrastructures techniques, des réseaux et des organisations territoriales. L'assainissement conventionnel, la station d'épuration, le tout-à-l'égout et, plus largement, la circulation mondialisée des nutriments participent à cette amplification en éloignant toujours davantage les déchets des lieux de vie, de production et de retour à la terre.

Dans cette logique, la station d'épuration joue un rôle important. Elle reçoit les eaux usées et les filtre avant leur rejet dans le milieu naturel. Cette amplification se lit aussi dans l'histoire urbaine bruxelloise. La Senne a longtemps servi d'exutoire aux eaux usées, avant le développement tardif des stations d'épuration. Le passage à l'assainissement moderne a amélioré la qualité de l'eau, mais il a aussi confirmé une logique de séparation : la ville traite ses rejets dans des installations spécialisées, au lieu de les réintégrer localement dans un cycle agricole ou écologique. À une autre échelle, la mondialisation alimentaire prolonge ce même mouvement en déplaçant les impacts de la consommation vers d'autres territoires, notamment dans les pays du Sud global. Le Sud global se définit comme un ensemble de pays majoritairement situés en Afrique, en Amérique latine, en Asie et en Océanie, généralement caractérisés par des niveaux de développement économique plus faibles ainsi que par des trajectoires historiques et politiques distinctes de celles des pays du « Nord global » (Capdepuy, 2023)

STATION D'ÉPURATION SYSTÈME CONVENTIONNEL

La figure 34 montre schématiquement la gestion linéaire des excréments. Son parcours aboutit à un système, voir figure 35, qui rompt la circularité des matières métaboliques : la station d'épuration (fig 35). Celle-ci fonctionne comme une usine de dépollution des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel, généralement en rivière (Vandermeersch, 2006). Située à l'extrémité du réseau d'égouts, juste avant le milieu récepteur, la stations d'épuration enchaîne différents traitements afin d'extraire, étape par étape, les polluants présents dans les eaux usées.

En France, les toilettes à chasse d'eau consomment 10 000 L d'eau potable par an et par personne (20% de la consommation domestique) pour évacuer seulement 500 L de déjections (Lecomte, 2020).

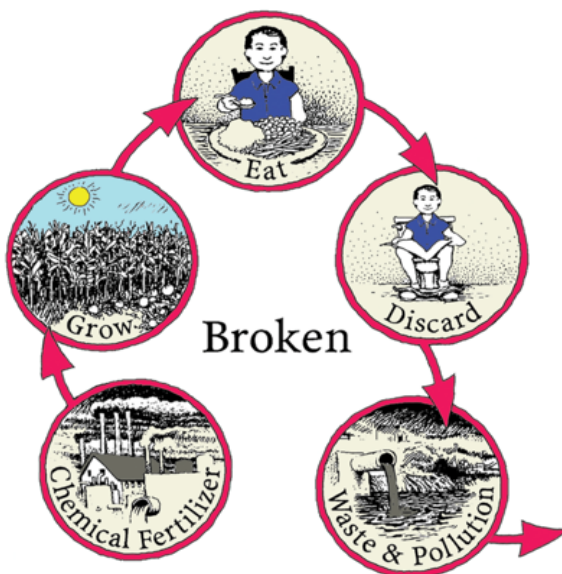


Fig 34: Le cycle des nutriments rompu par l'adoption du tout-à-l'égout. L'adoption du tout-à-l'égout entraîne le recours aux engrais chimiques.

Sources : Jenkins, J. C. *Manuel des déjections humaines*. Iconographie reproduite dans La Fonderie, (2022). *L'égout : une infrastructure au service de la nature*.

Déféquer au XXI^e siècle

Départ : les excréments sont évacués dans la cuvette après la défécation

Chasse d'eau : l'eau du réservoir entraîne les excréments vers le siphon.

Colonne de chute : Les excréments descendent par le tuyau vertical de l'immeuble.

Siphon : Les excréments passent dans le siphon en S, qui retient l'eau pour bloquer les odeurs.

Collecteur de l'immeuble : Les excréments arrivent dans le collecteur et égout domestiques au sous-sol.

Égout de quartier : Les excréments circulent dans l'égout public sous la rue.

Station d'épuration : Les eaux usées sont traitées pour séparer, nettoyer et assainir.

Rejet de l'eau : L'eau épurée est rendue aux rivières ou fleuves.

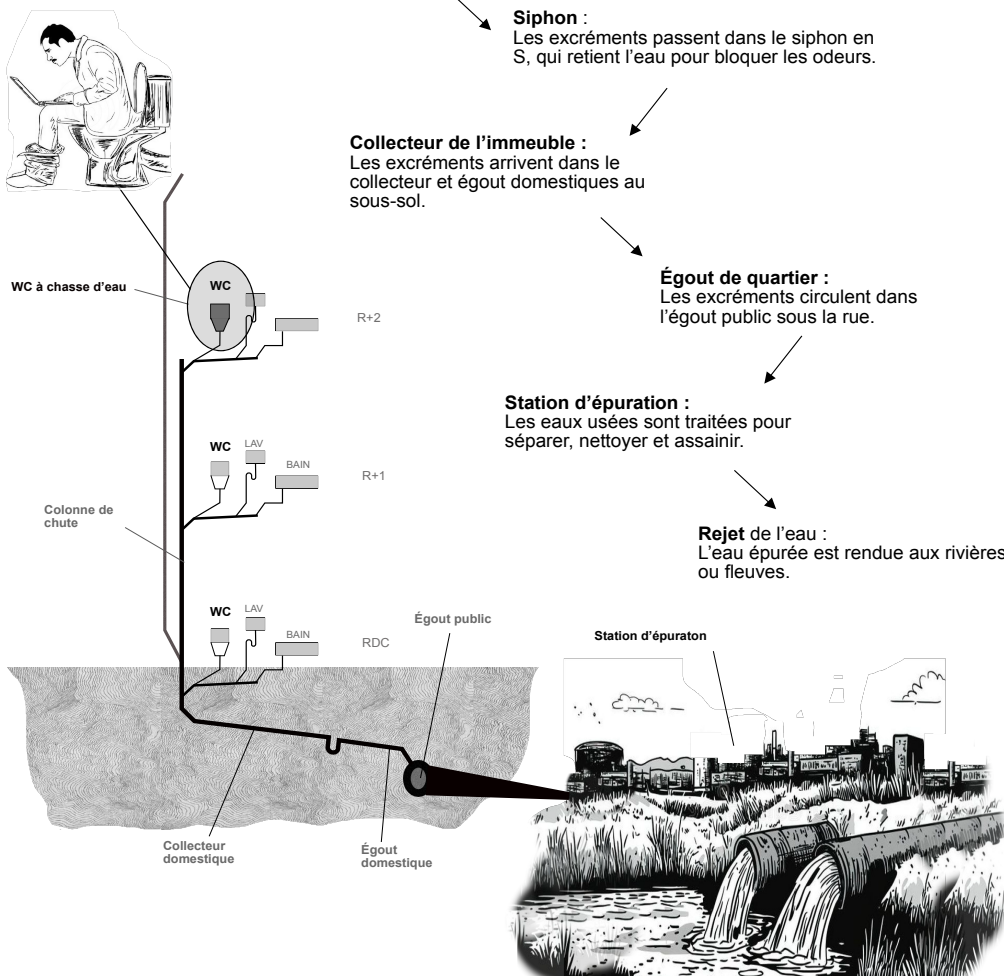


Fig 35: Parcours des excréments : du tout-à-l'égout à la station d'épuration.

Source : Iconographie par Margarita Vais, sur Dreamstime.com

Source : Iconographie par Èregraphique, sur Shutterstock.com

À Bruxelles, c'est en 1871 que les grands travaux d'assainissement sont achevés. La construction des infrastructures destinées à épurer les eaux usées prévue est reporté pour être finalement abandonné (La Fonderie, 2022). Ainsi, les 17 775 mètres de collecteurs construits à Bruxelles continuent pendant plus d'un siècle à évacuer plus de 85 000 m³ d'eaux usées par jour directement dans la Senne, à laquelle s'ajoutent d'autres pollutions comme les engrais utilisés dans les champs et les jardins ou les hydrocarbures rejetés par les voitures, etc (asbl Coordination Senne, 2017) et ce, sans aucun traitement, transformant donc la rivière en un exutoire opaque et biologiquement mort. Jusqu'en 2000, ces rivières voûtées et invisibilisées restent encore le lieu où se déversent les égouts bruxellois, puis des cours d'eau qui rejoignent la mer du Nord, contribuant à la destruction de la vie aquatique. (asbl Coordination Senne, 2017).

La situation commence à évoluer sous l'impulsion de la directive européenne de 1991 sur l'épuration des eaux urbaines résiduaires, qui redonne vie à un ancien projet d'assainissement conçu dans les années 1980. Cette directive impose aux États membres la mise en place de systèmes de collecte et de traitement, et classe le bassin de la Senne en « zone sensible » en 1994 (Cour des comptes, 2003).

Ce n'est qu'en août 2000 que la première station d'épuration de la capitale, Bruxelles-Sud, entre finalement en service. Exploitée par la Société Bruxelloise de Gestion de l'Eau (SBGE), elle traite les eaux usées de 360 000 équivalents-habitants, c'est-à-dire une quantité de pollution équivalente à celle produite par 360 000 personnes, dont 88% proviennent de la Région (Uccle, Forest, Anderlecht et Saint-Gilles), le reste de Flandre.

L'équipement tardif des stations d'épuration en Belgique marque une étape importante dans l'amélioration de la qualité des eaux urbaines. À Bruxelles, la mise en service de nouvelles infrastructures à partir de 2007 permet enfin de traiter la quasi-totalité des eaux usées avant leur rejet dans la Senne. Toutefois ces techniques ne rétablissent pas pour autant le cycle complet des matières. C'est précisément ce décalage entre traitement technique et réintégration écologique qui éclaire la notion de rupture métabolique (El Oifi & Védry, 2013 ;SPW, 2024).

Cette déconnexion se retrouve dans la conception même des stations d'épuration modernes, qui fonctionnent surtout pour éliminer les pollutions plutôt que pour valoriser les matières. Le processus se décompose en plusieurs étapes (fig. 36) :

Le prétraitement : les eaux sont débarrassées des déchets solides (plastiques, lingettes) et des sables. Cela protège l'usine mais ne traite pas la pollution dissoute.

Le traitement primaire : les matières en suspension tombent au fond et forment des boues. Une partie de la pollution est retirée, mais une grande quantité reste dans l'eau (Aquawal, 2014).

Le traitement secondaire : des bactéries dégradent la pollution et la transforment en gaz (CO_2) et en boues. L'azote devient un gaz qui s'échappe dans l'air, et le phosphore est en partie éliminé (Aquawal, 2014).

La clarification : dans le bassin final, les boues se déposent au fond et l'eau épurée est rejetée dans la rivière. Les boues, très polluées, sont ensuite incinérées ou parfois valorisées.

L'urine concentre presque 100% des résidus d'ibuprofène et certains antibiotiques rejetés par le corps, micropolluants mal éliminés par les stations d'épuration du fait de leur forte dilution dans les eaux usées (Lecomte, 2020).

En résumé, la station d'épuration détruit la matière organique et transforme l'azote en gaz, empêchant ainsi le recyclage local des nutriments. Elle ne parvient pas non plus à traiter certains micropolluants qui traversent les installations sans être totalement éliminés. Ainsi, ces infrastructures « réduisent » la pollution des rivières, mais ne permettent pas le retour des nutriments vers les sols (La Fonderie, 2022).

Fonctionnement d'une station d'épuration

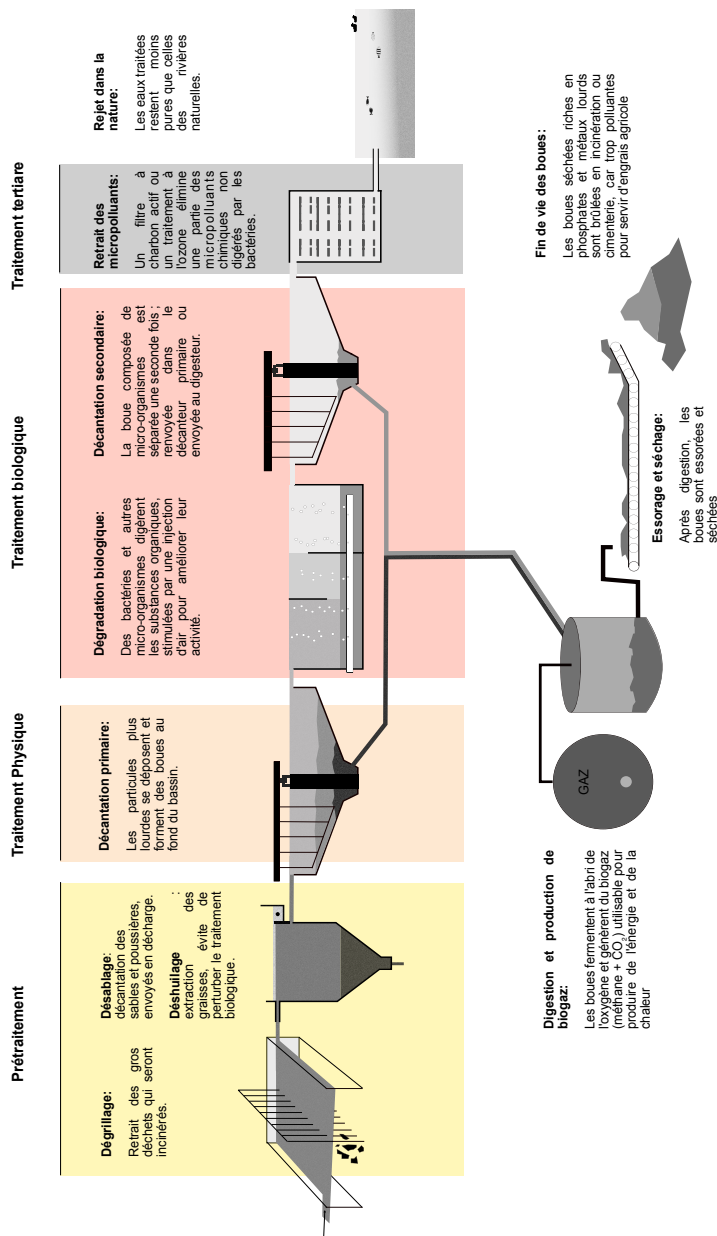


Fig 36: *Fonctionnement d'une station d'épuration.*
 Source : Iconographie par métiers ingénieur généraliste, sur mig.minesparis.eu (Université PSL)

RUPTURE METABOLIQUE

A L'ERE DE LA MONDIALISATION ALIMENTAIRE

Après la gestion des excréments à l'échelle du logement et des infrastructures urbaines, il est nécessaire d'élargir la réflexion à une autre échelle : celle des flux alimentaires mondialisés. En effet, la rupture métabolique ne se limite pas aux systèmes techniques locaux. Elle s'inscrit aussi dans des échanges globaux qui déplacent les ressources et les pollutions à grande distance comme le montre la figure 37 ci-dessous.



Fig 37: Origine mondialisée des ressources alimentaires et agricoles d'un repas type. Bœuf belge nourri au soja brésilien lié à la déforestation ; frites issues de pommes de terre belges cultivées avec des engrais chimiques importés; cuisson dans une huile contenant de l'huile de palme d'Indonésie ; salade et tomates d'Espagne nourries par des engrais chimiques importés ; huile d'olive et yaourt d'origine espagnole ou italienne.

Sources : Statista. (2025). Le Brésil, premier producteur de soja au monde ; Statista. (2021). Part de la déforestation tropicale imputable à l'importation et à la consommation de matières premières par l'Union européenne entre 2005 et 2017 ; OpenFoodFacts. Huile pour friture [Fiche produit] ; (Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Souveraineté alimentaire, 2024) ; Husson, S. (2012). La production de tomates, une industrie de haute technologie ; Statista. (2022). Huile de palme : « l'or rouge » de l'Indonésie. Statista.

À l'échelle mondiale, la rupture métabolique prend de grandes proportions. Elle révèle une hiérarchisation mondiale où les conséquences négatives de la rupture se distribuent de manière inégale. L'Union européenne importe massivement du soja brésilien (la majorité du soja consommé en Europe provient du Brésil), de l'huile de palme d'Indonésie et de Malaisie, ainsi que du cacao d'Afrique de l'Ouest (WWF Belgique, 2021 ; Fondation pour la Nature et l'Homme, 2024). Selon le Rapport Agriculture mesures-miroirs publié par la Fondation pour la Nature et l'Homme de 2024, environ 40 % du soja brésilien est cultivé dans le Cerrado, une région riche en biodiversité qui a déjà perdu près de la moitié de sa végétation naturelle en raison de l'expansion agricole. Le capitalisme organise l'espace mondial de manière dissociée entre les lieux de production et de consommation (Saito, 2021). La rupture métabolique est externalisée à l'échelle mondiale par le commerce à longue distance (fig. 38).

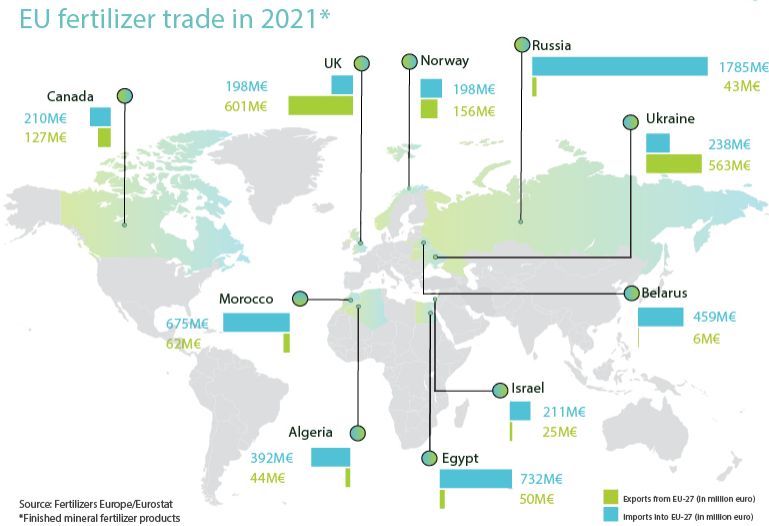


Fig 38: Planisphère des principaux partenaires commerciaux de l'Union européenne pour les engrais chimiques en 2021. Les importations proviennent surtout de Russie, d'Égypte, du Maroc, de Biélorussie et d'Algérie. L'industrie européenne des engrais azotés reste dépendante du gaz naturel importé.

Sources : Fertilizers Europe / Eurostat. Iconographie reproduite dans Martinez, M. (2024). *Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne : enjeux et perspectives pour le secteur agricole* (Analyse n° 207). Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire.

En France, l'urine rejetée dans les eaux usées représente environ 284 000 tonnes d'azote par an. Si elle était récupérée, elle pourrait couvrir 15 à 20 % des besoins nationaux en engrais. À Paris, seulement 4 % de l'azote et 41 % du phosphore sont recyclés par l'épandage des boues d'épuration (Lecomte, 2020).

Les conséquences négatives, telles que l'épuisement des ressources et la pollution, apparaissent de manière inégale dans les régions périphériques (Saito, 2021). Cette logique ville-campagne se retrouve à l'échelle internationale où le Nord global joue le rôle de la "ville" et le Sud global celui de la "campagne".

La France illustre cette dépendance, seulement 33% de ses besoins en engrais azotés couverts par production nationale (2,1 Mt), 67% importés (4,8 Mt brutes/an), dont 38% de pays tiers (Russie, USA, Égypte, Algérie = 2 Mt). L'Europe reste tributaire de ces flux mondiaux (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2022).

Les pays du Sud global (Amérique latine, Afrique, Asie du Sud-Est) subissent un épuisement progressif de leurs sols en raison de l'agriculture intensive destinée à l'exportation. Firmiano et Teixeira (2024) expliquent que l'agro-industrie brésilienne incarne la rupture métabolique mondiale. Les sols s'épuisent, les forêts sont détruites, les nutriments exportés sous forme de soja pour nourrir les animaux en Europe. Puisqu'entre 70 et 90 % de la production de soja mondiale est utilisée pour nourrir les animaux d'élevage (Greenpeace France, 2017 ; WWF Belgique, 2021), de la viande qui sera vendue.

Le Nord global (Europe, Amérique du Nord) accumule la richesse grâce à ces importations et maintient un niveau de vie élevé tandis que le Sud subit la dégradation environnementale (déforestation, épuisement des sols, pollution) et l'épuisement de ses ressources (Saito, 2021 ; Firmiano & Teixeira, 2024). Les nutriments extraits de ces territoires circulent jusque dans nos assiettes, puis dans nos corps : ils se retrouvent dans nos intestins, nos urines et nos excréments. Ces déchets métaboliques humains (excréments européens) sont traités localement sans retour aux sols d'origine. Cela montre une forme de « *colonisation métabolique* » où les pays riches importent la fertilité des sols du Sud sans jamais la leur rendre (Robbins, 2013 ; Firmiano & Teixeira, 2024).

« *Le confort du Nord coûte les catastrophes du Sud* » (Saito, 2021). Par cette distance géographique, les populations du Nord ne voient pas cette exploitation. Les catastrophes écologiques sont exportées ailleurs. Une vie meilleure pour certains groupes dans certaines régions implique la dégradation des conditions de vie d'autres groupes dans d'autres régions. Cette relation de domination reste invisible à cause du décalage spatial et de l'externalisation de la rupture métabolique (Saito, 2021). La dimension temporelle de la rupture métabolique révèle l'impossibilité pour la nature de suivre l'accélération du capitalisme. Au-delà de la dimension spatiale, la rupture métabolique a aussi une dimension temporelle. Le rythme soutenu du capitalisme ne permet pas le rythme lent des processus écologiques naturels. La nature fonctionne selon des cycles lents, tandis que le capitalisme cherche à accélérer ses cycles de production pour maximiser le profit (Saito, 2021).

LES LIMITES PLANÉTAIRES

Les limites planétaires (fig. 39), définies par Johan Rockström (2009), scientifique suédois spécialisé dans la résilience des écosystèmes et les ressources en eau, sont des seuils biophysiques au-delà desquels l’humanité risque de perturber les processus naturels qui régulent la planète et de mettre en danger son propre espace de fonctionnement sûr. Parmi les neuf processus identifiés, les cycles biogéochimiques de l’azote (N) et du phosphore (P) sont directement impactés par l’usage intensif d’engrais (Briand, 2025). Dépasser ces limites signifie que l’équilibre naturel est menacé et que les changements causés par l’homme peuvent devenir trop importants, voire irréversibles (Briand, 2025).

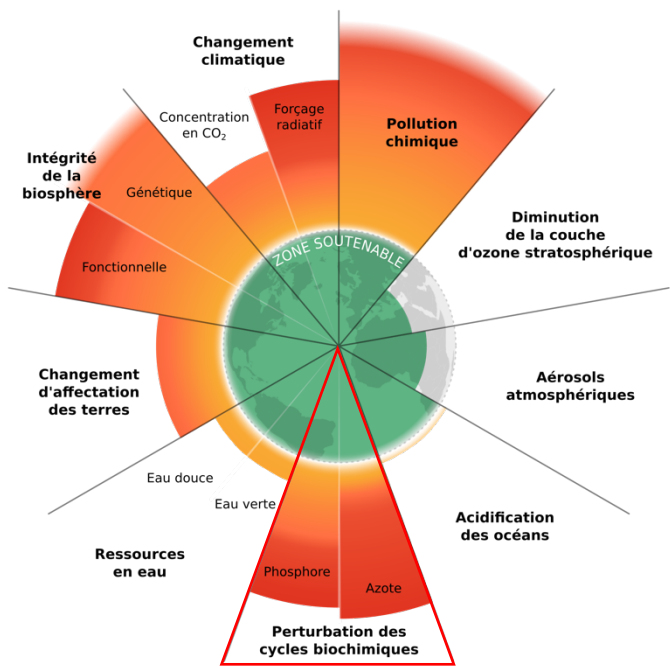


Fig 39: Les limites planétaires en 2025. Au centre figure l'espace de fonctionnement sécurisé pour la vie humaine. Chaque colonne montre la valeur du dépassement.
Source : Stockholm Resilience Centre, université de Stockholm, 2025

Perturbation des cycles de l'azote et du phosphore

L'azote et le phosphore sont indispensables à la croissance des plantes, l'azote entre dans les protéines et le phosphore permet le stockage et le transfert d'énergie (Commissariat général au développement durable, 2025). Dans le sol, l'azote existe sous forme organique (humus) ou minérale (ammonium NH_4^+ , nitrate NO_3^-), et l'azote de l'air doit être transformé par des bactéries ou des fertilisants pour être utilisable par les plantes (Demarquest & Aouriri, 2023 ; Commissariat général au développement durable, 2025). Le phosphore, absorbé sous certaines formes (H_2PO_4^- et HPO_4^{2-}), reste peu mobile dans le sol, mais peut être entraîné par les sédiments vers les rivières et autres eaux superficielles.

Ces cycles naturels sont fortement perturbés par l'apport excessif d'engrais, qui constitue la principale cause humaine de déséquilibre des cycles de l'azote et du phosphore (Steffen et al., 2015). L'azote, notamment sous forme de nitrate, est très soluble et peu retenu par les sols, ce qui favorise son transfert vers les eaux de surface et souterraines par lessivage, entraînant des risques de pollution. Une autre partie de cet azote se transforme en ammoniac (NH_3), un gaz qui contribue à l'acidification des sols et participe également à l'effet de serre (Commissariat général au développement durable, 2025).

L'excès de phosphore dans les milieux aquatiques provoque l'eutrophisation des rivières, des lacs et des zones côtières qui sera abordée dans la partie consacrée aux conséquences. Le sol peut aussi être affecté, les micro-organismes risquant d'être asphyxiés (Smil, 2000 ; Commissariat général au développement durable, 2025).

Les limites planétaires fixent des seuils précis pour éviter la déstabilisation des cycles biogéochimiques. Pour l'azote, le seuil de rejet dans l'environnement par les activités humaines au niveau mondial ne devrait pas dépasser ~ 62 Tg N/an (millions de tonnes/an), mais la valeur atteignait déjà ~150 Tg N/an en 2015 et 190 Mt/an en 2023 (Larrieu, 2023)

Chaque année, les engrais azotés sont utilisés en quantité supérieure à ce que les cultures peuvent absorber. En 2019, cet excédent atteignait 38 kg d'azote par hectare, soit 1,15 million de tonnes au total, ce qui correspond à environ la moitié de la consommation en France d'azote minéral en 2019. Les nitrates figurent dès lors parmi les polluants les plus importants des eaux souterraines (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2022).

Pour le phosphore, le seuil régional limite le flux d'engrais vers les sols érodables à 6,2 Tg P/an (valeur actuelle : ~14 Tg P/an en 2015, 17,5 Mt/an en 2023), tandis que le seuil global fixe les rejets océaniques sous 11 Tg P/an (actuel : 22,6 Tg P/an) (Steffen et al., 2015 ; Richardson et al., 2023 ; Commissariat général au développement durable, 2025).

Ces chiffres confirment un dépassement des deux limites. Les flux biogéochimiques dépassent largement la zone de fonctionnement sûr. L'azote et le phosphore dépassent les limites planétaires (Richardson et al., 2023).

Rôle des engrais et du procédé Haber-Bosch

Les engrais chimiques, produits grâce au procédé Haber-Bosch (Haber 1909, industrialisé par Bosch 1913), transforment l'azote gazeux (80 % de l'atmosphère) en ammoniac assimilable.

Ce procédé fournit environ 82 % de l'ammoniac mondial pour les engrais azotés et soutient près de la moitié de la production alimentaire mondiale (fig. 40), mais il consomme 1 à 2 % de l'énergie mondiale (450 °C, 200 bars) et génère 5 % des émissions mondiales de CO₂ fossile (Demarquest & Aouriri, 2023). Les rendements agricoles sont ainsi améliorés pour répondre à la croissance démographique (fig. 41).

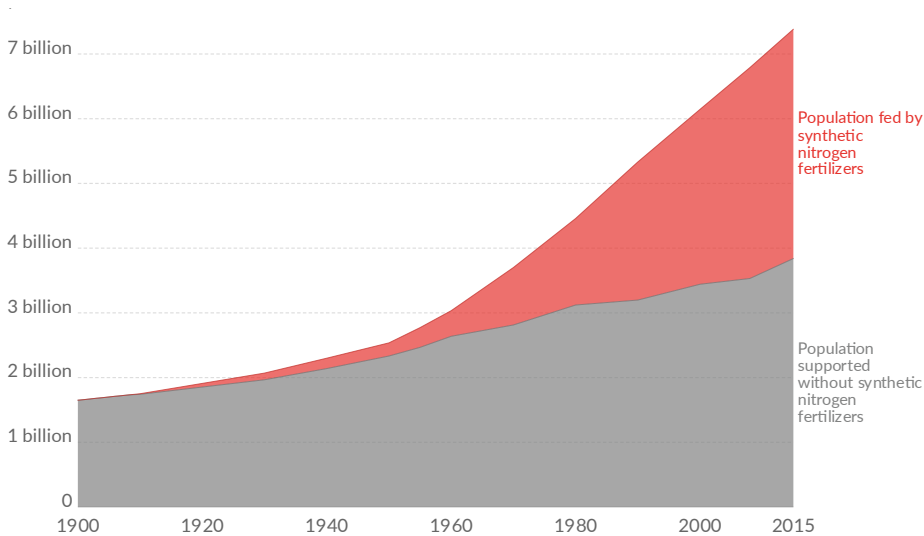


Fig 40: Le graphique montre qu'à partir du XX^e siècle, et plus particulièrement après 1950, la forte croissance de la population mondiale s'accompagne d'une dépendance croissante aux engrais azotés industriels pour assurer l'alimentation humaine.

Source : graphique extrait de *OurWorldData* avec les données de Erisman et al. (2008); Smil (2002); Stewart (2005)

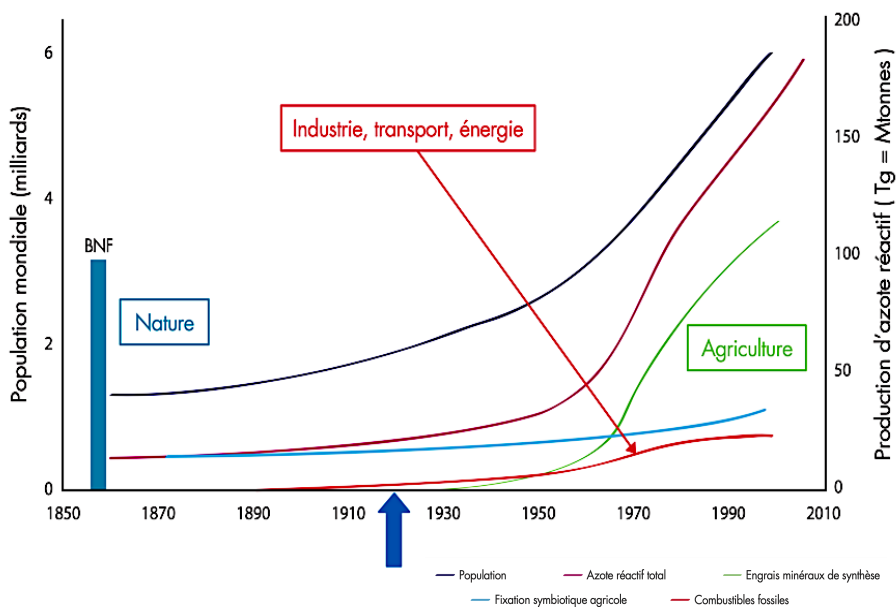


Fig 41 : Évolution de la production d'azote réactif selon son origine et de la population mondiale depuis le milieu du XIXe siècle. La flèche bleue indique le début du procédé Haber-Bosch.

Source : graphique adaptée de (Galloway, Aber et al. 2003), dans Peyraud et al. (2012). Les flux d'azote liés aux élevages : Réduire les pertes, rétablir les équilibres.

DU GUANO AUX ENGRAIS CHIMIQUES



Fig 42: *Exploitation du guano aux îles Chincha, Pérou 1868*

Fig 43: *Photographie d'un reportage photo du guano, 2014*

Source : Neuville, A. de. (1868). Dessin d'après photographie, reproduit dans Simoni, M. L. (1868). *Les îles Chincha. Le Tour du monde*, 18, p. 164.

Source Gomez Rovira, R. (2014). *Les forçats du guano au Pérou* [Photographie].

Le guano (fig 42 et 43) est un engrais naturel formé sur plusieurs millénaires dans des climats chauds et très secs. Composé d'excréments et de carcasses d'oiseaux marins, il est riche en azote et en phosphore (Schnug et al., 2018). Les guanos azotés (Pérou, >2000 ans) et phosphatés (sols calcaires) se distinguent par leur formation (Schnug et al., 2018). Sa richesse en nutriments, issue du mélange entre excréments acides et sol calcaire, permet un effet rapide sur les cultures. Il peut remplacer des engrais azotés et phosphatés et est accepté en agriculture biologique (Wikipédia, 2026). Les îles Chincha ont été intensivement exploitées entre 1820 et 1860 pour exporter ce guano vers les États-Unis, la France et le Royaume-Uni (Wikipédia, 2026).

Cependant, ce modèle reste limité. Les gisements sud-américains s'épuisent rapidement et, en 1910, le guano ne représente plus que moins de 1,5 % de l'azote fixé vendu commercialement, malgré une teneur d'environ 30 fois supérieure à celle du fumier classique (Alexandre, 2021).

Dès les années 1870-1880, il est progressivement remplacé par les engrais phosphatés industriels (fig. 44), notamment les superphosphates, premiers engrais chimiques artificiels inventés par le biologiste John Lawes en 1843. Ceux-ci sont obtenus en traitant des matières phosphatées avec de l'acide sulfurique, rendant le phosphore plus soluble et plus facilement assimilable par les plantes. Entre 1880 et 1914, ces engrais dominent le marché européen, dans une logique NPK (Azote, Phosphore et Potassium) où le phosphate devient un « vecteur essentiel de progrès » pour accroître les rendements (Herment, 2021).



Fig 44: Publicité pour les engrais superphosphates de la Compagnie bordelaise, France, 1910.
Source : Compagnie bordelaise. (1910). Engrais superphosphates [Affiche publicitaire].

À partir de 1915, le procédé Haber permet de fixer artificiellement l'azote atmosphérique jusque-là inutilisable par les plantes. Cette double innovation (Phosphore + Azote) soutient la croissance alimentaire des XXe-XXIe siècles. Environ 50% de la production mondiale dépend aujourd'hui des engrais synthétiques (Demarquest & Aouriri, 2023).

Actuellement, 82 % de l'ammoniac mondial sert aux engrais azotés via Haber-Bosch (nécessitant 450 °C et 200 bars), un procédé qui consomme 1 à 2 % de l'énergie mondiale et génère 5 % des émissions de gaz à effet de serre, dépendant du gaz naturel. Cette production mondialisée, dépendante du gaz naturel (Russie/Chine/Moyen-Orient ~40% exportations), modifie les flux de nutriments à l'échelle planétaire, dépassant les capacités naturelles de recyclage des sols, contrairement au guano local à libération progressive (Schnug et al., 2018 ; Herment, 2021 ; Demarquest & Aouriri, 2023).

CRISE DU PHOSPHATE (fig. 45)



Les sols agricoles ont souvent besoin d'apports en phosphore, il reste indispensable (Commissariat général au développement durable, 2025). La crise du phosphate ne vient pas d'un excès généralisé dans les sols, mais de l'épuisement rapide des réserves minières non renouvelables et des excès d'engrais phosphatés qui se récupèrent dans l'eau, provoquant une pollution et des déséquilibres écologiques (Meilune, 2024).

Fig 45: *Mine de phosphore aux États-Unis, 2009.* Grue géante visible en bas à droite.
Source : Arthus-Bertrand, Y. [photographie], reproduite dans Gilbert, N. (2009). *Environnement: The disappearing nutrient.* *Nature*, 461, 716–718.

Cette crise est donc à la fois économique, (pénurie menaçant la sécurité alimentaire mondiale) et écologique, (apports excessifs contribuant au dépassement des limites planétaires par eutrophisation et perturbation des cycles naturels) (Cordell et al., 2009 ; Commissariat général au développement durable, 2025 :). Naturellement, sa mobilisation suit un cycle géologique lent (érosion et soulèvement), ce qui rend le phosphore souvent limitant pour la croissance des plantes, surtout en milieu aquatique.

En 2000, l'apport humain en phosphore a triplé par rapport aux flux naturels. Cette augmentation s'explique par l'érosion des sols agricoles, du ruissellement, du recyclage des résidus, récoltes et fumiers, ainsi que des rejets urbains et industriels, en particulier les engrais inorganiques (environ 15 Mt/an) (Smil, 2000). L'agriculture moderne, intensive, dépend fortement du phosphore. Pour maintenir les rendements, les agriculteurs utilisent des engrais N/P/K, ce qui a conduit à un appauvrissement progressif des sols depuis le XX^e siècle (Cordell et al., 2009 ; Herment, 2021). Aujourd'hui, 50 à 60 % du phosphore agricole provient d'engrais phosphatés (environ 15 Mt/an). Cette mobilisation humaine dépasse trois fois les flux naturels et s'accompagne d'importantes pertes, 70 à 80 % du phosphore extrait se perd entre la mine et l'assiette (seules ~3 Mt sur 14 Mt en 2005 sont effectivement consommées) (Cordell et al., 2009 ; Smil, 2000 ; Meilune, 2024).

De plus, la production étant concentrée dans quelques pays (Maroc, Chine, États-Unis), de nombreuses régions comme l'Europe ou l'Inde dépendent des importations, ce qui soulève des enjeux d'inégalités et de sécurité alimentaire (Dourmad et al., 2020).

Les engrais minéraux phosphatés ont permis d'accumuler de la fertilité dans les sols, aujourd'hui environ la moitié du phosphore disponible dans les sols mondiaux est d'origine humaine (~47 % depuis 1950). Mais ces engrais proviennent de ressources limitées et mal réparties géographiquement (par exemple, le Maroc détient ~70 % des réserves, alors que l'Europe en est quasi dépourvue) (Dourmad et al., 2020).

Dimension économique, épuisement des réserves de phosphates

Les réserves de phosphates miniers sont non renouvelables et pourraient s'épuiser dans 50 à 100 ans si le rythme actuel se maintient. Le graphique montre que la production pourrait atteindre un pic autour de 2030 (fig. 46), surtout si la demande augmente avec la croissance démographique et le doublement des besoins alimentaires prévu d'ici 2050.

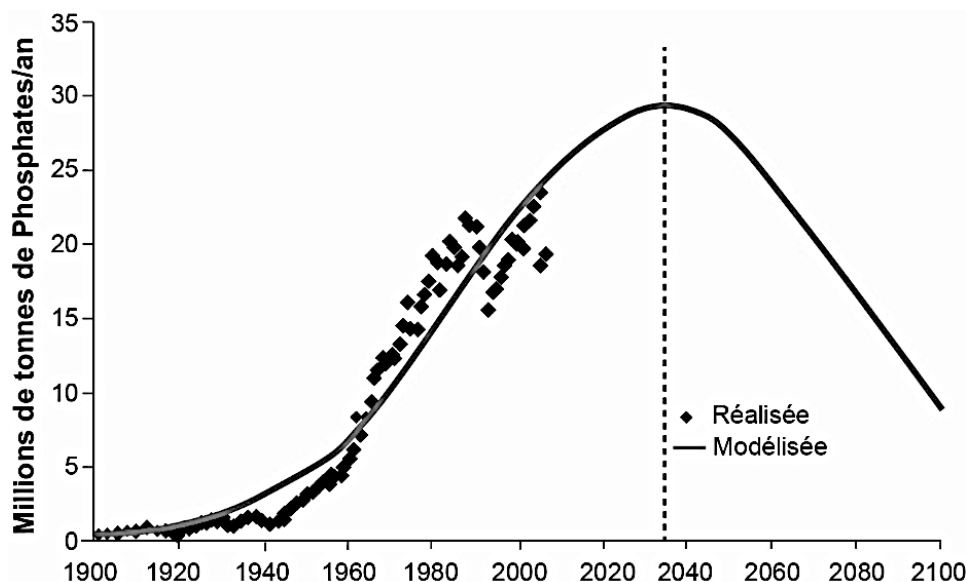


Fig 46: Prédiction de l'évolution de la production mondiale de phosphates minéraux, en millions de tonnes de P par an, depuis 1900, et perspectives d'évolution. Et résultats réalisés
Source: Cordell et al., 2009. *The story of phosphorus: Global food security and food for thought*.

Les stocks exploitables sont estimés à moins de 16 milliards de tonnes, soit une durée de vie de 50 à 100 ans à la production de 158Mt/an (Cordell et al., 2009 ; Meilune, 2024)

Les stratégies mises en place pour combattre la raréfaction du phosphore, comme l'augmentation des prix ou l'amélioration de l'efficacité, restent insuffisantes. Cette situation invite à modifier les pratiques agricoles et à relocaliser les cycles de nutriments pour les rendre moins dépendants des ressources extractives. Par exemple, environ 2 Mt/an de phosphore sont perdus dans la chaîne alimentaire et 8 Mt/an dans l'agriculture (Cordell et al., 2009 ; Meilune, 2024).

Avant l'industrialisation, le guano servait d'engrais naturel riche en nutriments qui agissait rapidement sur les cultures (Schnug et al., 2018). Sa forte teneur en N/P/K en faisait un fertilisant efficace.

Remplacement par des engrais industriels

Le guano a été remplacée par les engrais phosphatés industriels comme les superphosphates qui entraînent la croissance alimentaire mondiale et aujourd'hui environ la moitié de la production alimentaire mondiale dépend des engrais synthétiques (Demarquest & Aouriri, 2023 ; Briand, 2025). Entre 1880 et 1914, les phosphates minéraux importés ont remplacé le guano sur le marché européen (Herment, 2021 ; Alexandre, 2021).

Conséquences écologiques

Cet excès a saturé les sols, les rivières et les océans en azote et en phosphore, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau potable, une perte de biodiversité, des phénomènes d'eutrophisation ainsi que des émissions de gaz à effet de serre. (Hijri, 2012 ; Demarquest & Aouriri, 2023 ; Meilune, 2024).

CONSÉQUENCES

Nous sommes entrés dans ce que certains chercheurs nomment l'Anthropocène, une époque où les activités humaines sont devenues une force capable de transformer les systèmes terrestres (Esculier et al., 2017). Toutefois, l'écologiste Vandana Shiva, dans son livre *régénérer ou dégénérer : la crise climatique est une crise alimentaire* (2026), conteste cette notion, qui tend à attribuer les dérèglements écologiques à « l'humanité » dans son ensemble, masquant ainsi la responsabilité spécifique des systèmes économiques et politiques dominants, dont les effets relèvent surtout d'une minorité privilégiée de la population mondiale. (1%). Dans cette perspective, on peut parler de Capitalocène, afin de souligner la responsabilité centrale du système capitaliste dans ces transformations planétaires.

Parmi les dérèglements majeurs causés par cette nouvelle époque, l'un des plus graves concerne la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore. Ces deux nutriments essentiels au développement des végétaux s'accumulent désormais en excès dans nos systèmes à cause de nos activités (agriculture industrielle, production d'engrais, assainissement).

Pour comprendre cette rupture, il faut d'abord saisir le système global qui a été mis en place : le système alimentation/excrétion. Fonctionnant à deux échelles, ce système repose sur une circulation de matières qui devrait être circulaire mais qui ne l'est plus. À l'échelle individuelle, le système alimentation/excrétion est simple, nous ingérons de la nourriture et nous éliminons des urines et des matières fécales. À l'échelle urbaine, ce système devient plus complexe. Les villes s'approvisionnent en nourriture auprès des agrosystèmes agricoles ruraux, et doivent ensuite gérer les déchets alimentaires et les eaux

usées (fig. 47) générés par cette consommation (Esculier et al., 2017). En théorie, cela devrait fonctionner comme une boucle fermée. La terre nourrit la ville, la ville retourne ses déchets à la terre pour la régénérer. Or, c'est précisément à ce stade que la rupture se produit.

« Ce qu'on mange et ce qu'on rejette forment un système complet qui fonctionne comme une boucle... mais une boucle qui n'est pas fermée » (Esculier et al., 2017).

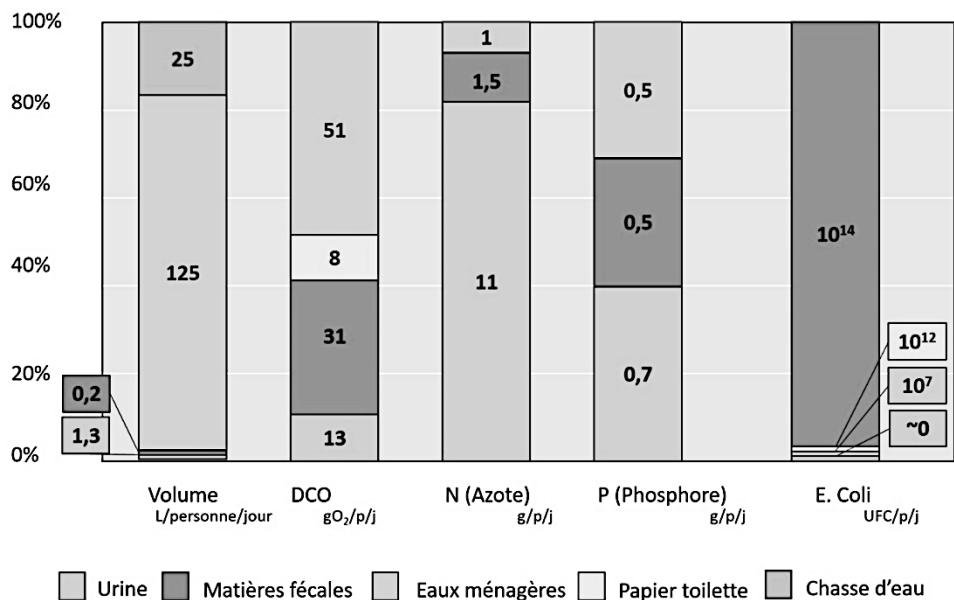


Fig 47 : Composition des eaux usées domestiques (urines, matières fécales, papier toilette, eaux ménagères)
 DCO = indicateur de la matière organique ; E. coli = bactérie indicatrice fécale (BIF)
 Source : Esculier, F. (2021). Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?

Un déséquilibre du système alimentation/excrétion

La perte du gisement d'azote (appauvrissement organique) Contrairement aux idées reçues, la majorité des nutriments que nous ingérons ne sont pas stockés par notre corps mais excrétés. L'analyse de la composition des effluents domestiques, révèle une disproportion importante. Et bien que l'urine ne représente qu'1 % du volume des eaux usées (fig 47), elle contient à elle seule environ 80 % de l'azote et 50 % du phosphore rejeté par le corps humain, ainsi que la majorité du potassium (Jönsson, 2001 ; Starck & Esculier, 2024).

Une urine non-diluée contient entre 2 et 8 g d'azote par litre. Or, dans le système actuel du tout-à-l'égout, cette source concentrée de nutriments est immédiatement diluée dans l'eau de la chasse d'eau, puis mélangée aux eaux grises (douches, lessives) et aux eaux noires (selles). Cette dilution massive rend sa récupération techniquement possible mais économiquement inefficace et énergétiquement extrêmement coûteuse (Martin, 2017).

Dépendance énergétique aux gaz fossiles

Cette perte de matière organique entraîne un coût énergétique important. Pour remplacer l'azote naturel que nous jetons dans les toilettes, l'industrie doit synthétiser de l'azote artificiel via le procédé Haber-Bosch, développé au début du XXe siècle. Ce procédé industriel consiste à capturer et transformer l'azote de l'air pour en faire de l'engrais (ammoniaque). Cette transformation nécessite énormément d'hydrogène, lequel est obtenu quasi exclusivement en brûlant du gaz

naturel (méthane). Ainsi, l'engrais chimique est un produit dérivé de l'industrie pétrogazière (Martin, 2017).

Dépassement des limites planétaires

La production d'engrais phosphatés repose sur l'extraction et la transformation de ressources non renouvelables, ce qui prolonge la dépendance du système agricole aux flux industriels polluants. Or, la distribution du phosphore reste très inégale : les sols d'Europe et d'Amérique du Nord sont déjà fortement enrichis, tandis que de nombreux sols africains restent déficitaires, ce qui limite la production agricole. Dans cette perspective, l'enjeu n'est pas seulement de réduire les engrais, mais de repenser les infrastructures sanitaires afin de mieux reconnecter les nutriments aux sols qui en ont besoin (Dourmad et al., 2020).

Le coût

La production d'engrais azotés synthétiques est ainsi responsable d'environ 1 à 2% de la consommation mondiale d'énergie (Martin, 2020).

Le fonctionnement de nos toilettes à chasse d'eau est donc directement lié à l'extraction et au transport d'énergies fossiles. Chaque chasse d'eau tirée participe à la consommation de gaz pour fabriquer l'engrais que nous venons de gaspiller. Nous sommes passés d'un système solaire et circulaire : le soleil fait pousser les plantes → l'homme mange → l'homme fertilise le sol, à un système linéaire et fossile : extraction de gaz → usine d'engrais → aliment → déchet polluant.

Ce changement est l'une des caractéristiques les plus importantes du régime socio-écologique industriel. Là où le système agricole fermait les boucles nutritives à l'échelle locale, le système industriel les ouvre à l'échelle mondiale, créant une dépendance aux combustibles fossiles pour maintenir la fertilité des sols (Barles et al., 2021)

L'ÉPANDAGE

Dans les boues issues des stations d'épuration, seulement 10 % des nitrates (N) et 50% des phosphates (P) y sont retenus et réutilisés en agriculture (fig. 48) (Starck & Esculier, 2024).

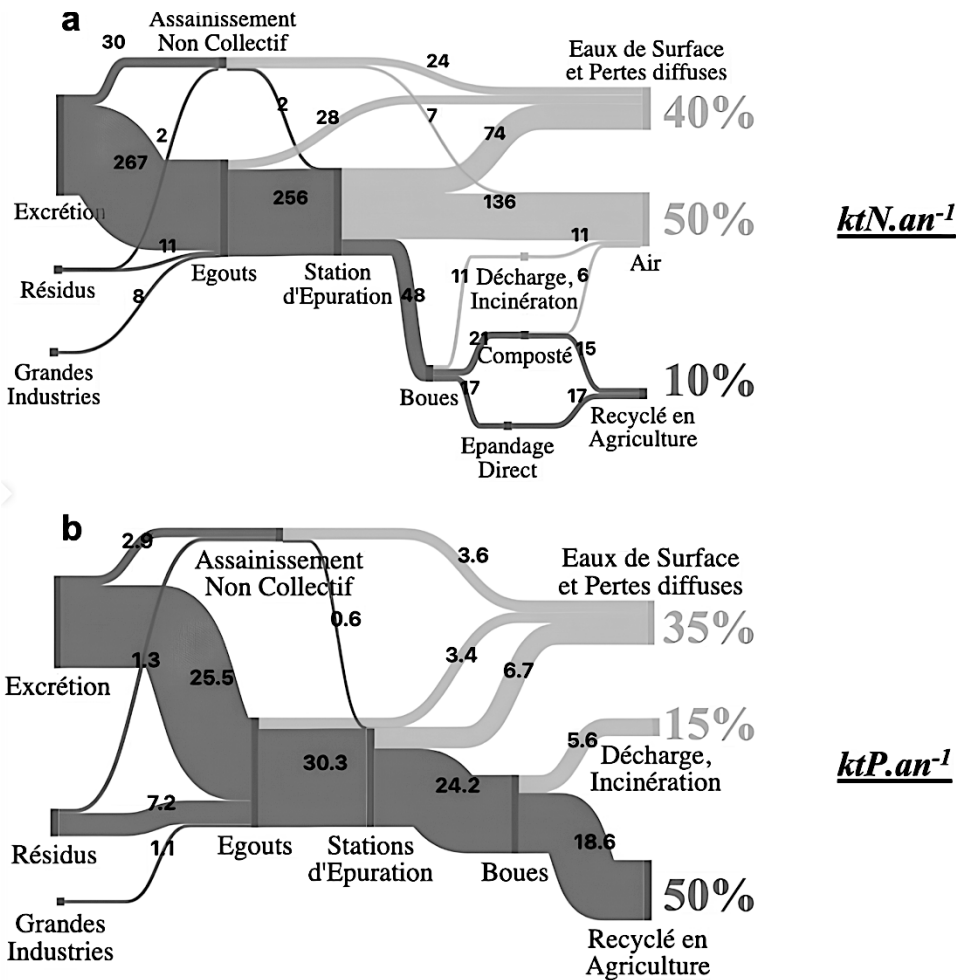


Figure 48 . Bilan azote et phosphore de l'assainissement en France, période 2015-2020. Sources : Starck, T., & Esculier, F. (2024). Bilan azote et phosphore du devenir des excréments des français.

Le reste de ces nutriments est perdu à travers plusieurs canaux. Une partie importante est incinérée ou envoyée en décharge (environ 15% du phosphore), tandis que le reste se dissipe dans les milieux aquatiques (40% de l'azote, 35% du phosphore), ou dans l'atmosphère sous forme gazeuse (50% de l'azote), notamment lors de la phase de dénitrification biologique en station biologique (Starck, 2024).

Les « polluants éternels »

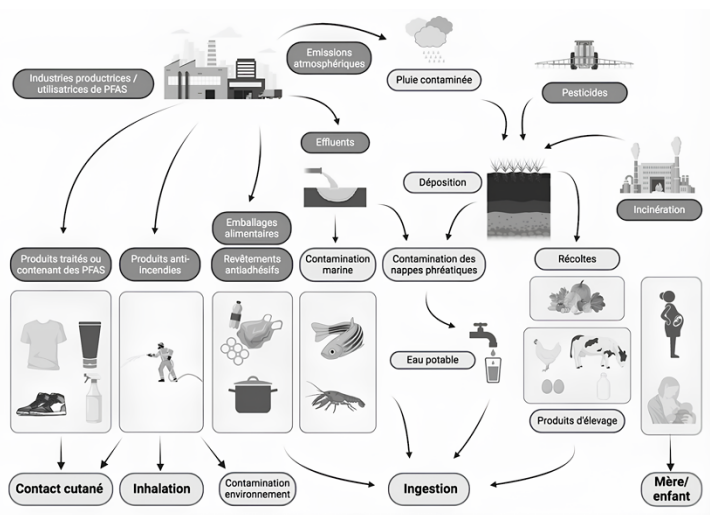
Au-delà des nutriments, l'épandage agricole pose un problème important. La présence de substances chimiques très persistantes dans les boues, comme les PFAS (Substances per- et polyfluoroalkylées) appelés « polluants éternels » car ils restent longtemps dans l'environnement et dans le corps humain.

Au Royaume-Uni, les digesteurs éliminent bien les agents pathogènes des boues (bactéries, virus), mais sont pratiquement inefficaces pour les PFAS, les microplastiques, les retardateurs de flamme et d'autres contaminants (Salvidge, 2025).

Concernant leur durabilité, ces polluants éternels sont très stables car la liaison entre le carbone et le fluor est extrêmement solide. Cela les rend presque impossible à se dégrader naturellement ou par le corps humain. Une fois entré dans l'organisme, ils s'éliminent très lentement et s'accumulent avec le temps, puisqu'il faut plusieurs années pour en éliminer la moitié (environ 2 à 5 ans pour le PFOA et le PFOS) (Gaillard et al., 2024).

Restrictions et interdictions en Europe

Pour ces raisons, plusieurs pays européens ont jugé que le risque devenait trop élevé et ont restreint, voire interdit, l'épandage agricole des boues d'épuration (Salvidge, 2025). L'Allemagne, la Belgique et les Pays-Bas ont mis en place des interdictions d'épandage, en particulier dans les régions densément peuplées ou fortement vulnérables à la pollution des sols (Salvidge, 2025).



La chaîne de contamination invisible (fig.49)

Concrètement, ces contaminants pourraient finir par entrer dans la chaîne alimentaire, selon le professeur Rupert Hough de l'Institut James Hutton (cité par Salvidge, 2025). C'est-à-dire qu'ils s'accumulent d'abord dans les sols agricoles, puis sont absorbés par les plantes, se concentrent dans le bétail qui consomme ces cultures, avant d'être finalement ingérés par les humains via la viande, le lait ou d'autres produits alimentaires (Salvidge, 2025).

Les agriculteurs se retrouvent alors face à un choix important. Utiliser des boues peu coûteuses mais potentiellement toxiques, ou recourir à des produits agrochimiques coûteux. Ce choix impacte directement la chaîne alimentaire et la santé humaine, créant une situation où la solution historique d'épandage des boues est devenue une source nouvelle de contamination (Salvidge, 2025).

Figure 49. Représentation schématique des différentes voies possibles de contamination humaine aux PFAS en fonction de leur production et de leur utilisation. Rouge : sources de contamination directe ; bleu : sources de contamination indirecte via une pollution environnementale, sol ou eau ; violet : voies d'exposition humaine.

Source : Gaillard et al. (2024). Image réalisée avec le logiciel BioRender.

Dépassement des limites planétaires

L'utilisation du phosphore dépasse largement les limites planétaires : sur les terres agricoles, l'usage actuel est de 17,5Mt/an alors que la limite recommandée est de 6,2Mt/an, et les rejets vers les océans atteignent 22,6Mt/an contre une limite de 11Mt/an. Ces excès perturbent les cycles de l'azote et du phosphore via les engrais et les eaux usées, provoquant une pollution massive des milieux aquatiques. La prolifération d'algues vertes toxiques monopolise l'oxygène et la lumière, favorisant seulement certaines espèces (Commissariat général au développement durable, 2025 ; Briand, 2025). Les pertes diffuses par ruissellement et érosion restent la principale cause d'eutrophisation. Bien que les phosphates aient une faible solubilité et forment des composés insolubles, ces pertes aquatiques sont critiques (Smil, 2000).

LES EAUX

Si l'avènement des stations d'épuration modernes dans les années 1960-1990 a permis de réduire la pollution organique visible, notamment les matières en suspension, elles n'ont pas résolu le problème de fond. Au contraire, en concentrant les flux d'eaux usées sans fermer le cycle des nutriments, ces infrastructures sont devenues de nouveaux lieux de pollution chimique et biologique pour les milieux aquatiques. (Barles et al., 2021)



Fig 50 : Lit de la rivière du Doubs eutrophisé et à l'agonie, août 2021, à Montbenoît, malgré un début d'été humide.
Source : Nemery, J. [photographie], reproduite dans Météo Franc-Comtoise.

L'eutrophisation : L'asphyxie des milieux aquatiques (fig. 50)

Le principal point faible du traitement conventionnel concerne la gestion des nutriments. Si les STEP (stations d'épuration) retiennent efficacement la matière organique solide, elles peinent à éliminer les nutriments dissous : l'azote et le phosphore. L'expert technique au département cycle de l'eau, Franco Novelli dit « *Pour ce qui est de l'azote et du phosphore, il n'y a pas d'obligation de traitement, c'est au cas par cas.* » (Lavocat, 2025). Ces nutriments agissent comme de véritables fertilisants lorsqu'ils sont rejetés dans les rivières et les fleuves.

« Les stations d'épuration ont été conçues pour éviter que les milieux aquatiques ne soient asphyxiés par la matière organique », Franco Novelli, Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR)

Or, les excréments humains constituent une source majeure de ces nutriments. Les urines concentrent plus de 85 % de l'azote et environ 65 % du phosphore excrétés par les humains (Starck & Esculier, 2024). À l'échelle française, cela représente environ 300 kilotonnes d'azote et 28,4 kilotonnes de phosphore par an (Starck & Esculier, 2024). Ces flux seraient théoriquement suffisants pour contribuer de manière significative à la fertilité des sols. Au lieu de cela, ils alimentent en grande partie les hydrosystèmes.

Le bilan national détaillé établi à partir des données de plus de 20 000 stations françaises montre qu'environ 35 % du phosphore et 40 % de l'azote des excréments humains se retrouvent encore dans les eaux de surface ou sont rejetés de manière diffuse par les réseaux et

l’assainissement non collectif (Starck & Esculier, 2024). Autrement dit, une part importante des nutriments qui devrait retourner aux sols agricoles se retrouve à fertiliser les milieux aquatiques.

Un problème planétaire : le dérèglement du cycle de l'azote

Un excès durable d’azote et de phosphore est la cause principale de l’eutrophisation. À l’échelle mondiale, les activités humaines ont fortement augmenté les apports d’azote, et en Europe ceux-ci dépassent largement les apports naturels. Cet excès se disperse dans l’air, les sols et les eaux, ce qui provoque de la pollution, le réchauffement climatique et une perte de biodiversité.

Concentration en nitrate (NO_3^-) des eaux de percolation en Wallonie (2017 - 2021).

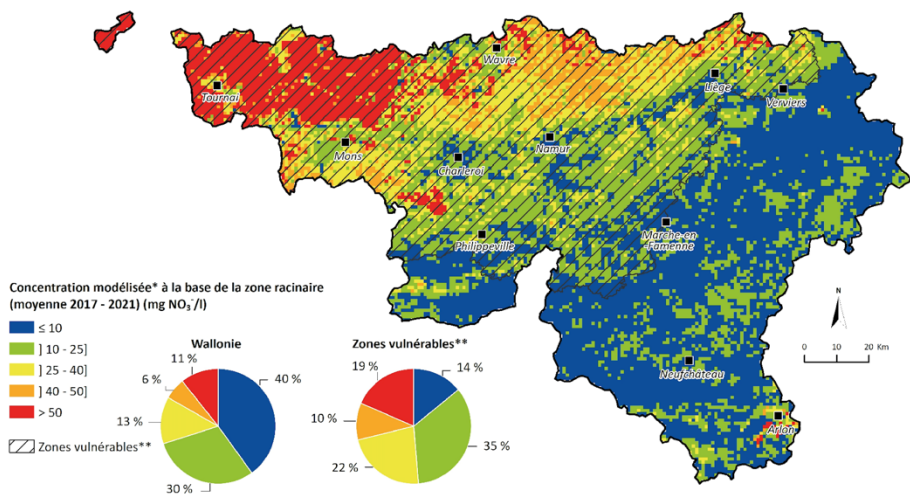


Fig 51: Impact local des rejets de stations d'épuration sur les nappes phréatiques en Wallonie. Cette carte montre que les nitrates issus des excréments humaines non recyclés contribuent à la pollution des masses d'eau.

* Modèle EPICgrid(a) (SPW ARNE - DEE) - Maille de 1 km^2

** Zones dont les sols contribuent à l'apport d'azote vers des masses d'eau déjà impactées ou à risque.

Source : SPW ARNE - DEE. [date à vérifier]. Modèle EPICgrid, reproduit dans Service public de Wallonie. [date à vérifier].
État de l'environnement wallon - Sols 4 : évolution de l'artificialisation.

Les apports importants d'azote et de phosphore provenant des engrais agricoles et des rejets urbains entraînent notamment une prolifération d'algues dans les lacs, les rivières et les zones côtières, un phénomène observé depuis plusieurs décennies (fig. 51) (Starck & Esculier, 2024).

Le mécanisme : comment fonctionne l'eutrophisation

Concrètement, l'eutrophisation correspond à un mécanisme d'asphyxie progressive des milieux aquatiques. Comme le définit Vivien Lecomte (2012), elle survient lorsqu'un milieu reçoit un excès de nutriments, principalement azote et phosphore. Ces apports stimulent une prolifération d'algues et de plantes aquatiques. Lorsque ces organismes meurent et se décomposent, les bactéries consomment massivement l'oxygène dissous. Parallèlement, les tapis d'algues en surface bloquent la lumière et empêchent la photosynthèse des végétaux submergés. La concentration en oxygène chute alors jusqu'à rendre le milieu invivable pour la plupart des espèces tels que les poissons, invertébrés et plantes. Ceux-ci disparaissent et il ne subsiste que quelques organismes tolérants aux conditions aquatiques extrêmes (Lecomte, 2012 ; Lavocat, 2025).

Une faille systémique : le paradoxe énergétique

Les travaux de Starck et Esculier, dont le tableau présenté plus haut (fig. 48), montrent aussi comment fonctionnent les stations d'épuration face à ce problème. Environ la moitié de l'azote qui y entre est rejetée dans l'air sous forme de gaz (N_2), un peu plus de 40 % finit dans les milieux aquatiques, et moins de 10 % est réellement récupéré pour être réutilisé comme engrais (Starck & Esculier, 2024).

Paradoxalement, la dénitrification en station consomme autant d'énergie que la synthèse industrielle d'Haber-Bosch pour fabriquer cet azote (Starck & Esculier, 2024). On dépense donc des ressources énergétiques massives pour détruire ce qu'on avait créé avec le même effort. C'est un double gaspillage : perte de ressources (l'azote) et consommation d'énergie pour sa destruction au lieu de sa valorisation.

Même si les stations d'épuration ont amélioré leurs performances au début des années 2000, ces résultats se sont ensuite stabilisés et restent insuffisants pour limiter efficacement les apports de nutriments dans les rivières. Les auteurs décrivent ainsi les stations d'épuration comme des installations qui détruisent et dispersent l'azote, au lieu de le valoriser comme une ressource utile.

Preuves de terrain : l'eutrophisation en action

Les observations de terrain confirment l'ampleur de cette dérive. Au nord de Montpellier, sur le territoire du Grand Pic Saint-Loup, une enquête citée par Lavocat (2025) a montré que 14 des 43 systèmes d'assainissement testés étaient « non conformes », rejetant des effluents encore fortement chargés. La rivière Lirou, à Matelles, en est un cas grave. Les analyses réalisées par l'association Mosson Coulée Verte ont montré des concentrations en phosphates jusqu'à 17 fois supérieures aux normes autorisées, entraînant une prolifération d'algues qui étouffe littéralement le cours d'eau (Lavocat, 2025).

Au-delà des stations : un problème systémique

Ce qui se joue ici dépasse la simple « pollution localisée ». Le dérèglement du cycle de l'azote est désormais considéré comme aussi critique, à l'échelle planétaire, que celui du carbone (Raguet, 2024). En

France, selon le bilan de Thomas Starck et Fabien Esculier, plus de 40 % de l'azote issu des excréments humains rejoint les milieux aquatiques, tandis qu'environ 30 à 50 % des rejets d'azote dans les masses d'eau proviendrait de pertes hors stations tels que les déversoirs d'orage, fuites de réseaux, assainissement non collectif (Starck & Esculier, 2024). Cela montre le rôle systémique de l'ensemble de la chaîne d'assainissement dans l'eutrophisation (Starck & Esculier, 2024).

Ainsi, les STEP apparaissent moins comme des dispositifs de « neutralisation » des nutriments que comme des lieux où ceux-ci sont concentrés, partiellement détruits et massivement redirigés vers l'atmosphère ou les rivières. Les nutriments qui devraient boucler un cycle agro-écologique entre champs et alimentation se retrouvent à engraisser les hydrosystèmes, provoquant l'eutrophisation et l'asphyxie des rivières, lacs et zones littorales.

Les stations d'épuration ont fait disparaître le problème des égouts à ciel ouvert des villes du XIX^e siècle, mais elles ont transformé ce problème visible en une pollution invisible qui se diffuse lentement. Le problème semble ainsi réglé en ville, alors qu'il réapparaît plus tard et ailleurs dans les eaux. Cela a donné pendant des décennies l'impression que le système du tout-à-l'égout était efficace, alors qu'il créait en réalité une pollution moins visible, mais durable et généralisée.

Concernant les engrais de synthèse

Ils sont composés de plusieurs éléments essentiels au développement des plantes tels que l'azote qui favorise la croissance, le phosphore qui contribue au développement des racines et à la floraison, et le

potassium qui renforce la résistance des cultures. Ces engrais sont souvent très concentrés en nutriments afin de répondre aux besoins de l'agriculture intensive moderne. Cependant, ils se dissolvent rapidement dans le sol. Les plantes en absorbent une partie, mais le reste peut s'infiltrer dans les nappes phréatiques ou être entraîné vers les rivières et les lacs, ce qui provoque une pollution de l'eau (Acti-Sol, 2016).

Aujourd'hui, l'utilisation du phosphore dépasse les limites planétaires. Les activités humaines perturbent fortement les cycles de l'azote et du phosphore, notamment à cause des engrais et des eaux usées, ce qui entraîne une pollution importante des milieux aquatiques et la prolifération d'algues (Commissariat général au développement durable, 2025 ; Briand, 2025). Les pertes de phosphore se produisent principalement par ruissellement et érosion (Smil, 2000).

La production d'engrais phosphatés est également polluante, car elle nécessite l'extraction et la transformation de roches phosphatées. Les sols d'Europe et d'Amérique du Nord sont aujourd'hui très enrichis en phosphore, tandis que de nombreux sols africains restent pauvres, ce qui limite la production agricole (Dourmad et al, 2020). Une transition agroécologique apparaît donc nécessaire : réduire l'usage d'engrais, mieux gérer les sols et recycler les nutriments issus des déchets agricoles et urbains.

RECOUDRE

LA RUPTURE MÉTABOLIQUE

POSITION DE L'ARCHITECTE FACE AU SYSTÈME LINÉAIRE

La croissance urbaine actuelle et les contraintes environnementales qu'elle entraîne ont conduit de nombreux acteurs à rouvrir la question de la place des excréta humains dans les politiques d'assainissement. L'assainissement est pensé comme un ensemble qui regroupe la gestion des eaux de pluie, l'utilisation de l'eau au quotidien (hygiène, lavage, cuisine) et le traitement des excréments humains (Legrand et al., 2021).

Fabien Esculier identifie d'abord une voie « classique » qui consiste à améliorer le recyclage des nutriments en aval par l'épandage des boues résiduelles des stations d'épuration sur les sols agricoles, complété par l'extraction du phosphore contenu dans les cendres d'incinération et par la concentration des nutriments dans les flux liquides (Esculier et Barles, 2019).

Ce choix permet un certain retour au sol, mais il reste dépendant d'un modèle d'assainissement centralisé, énergivore, émetteur de gaz à effet de serre et ne protégeant qu'imparfaitement les milieux aquatiques, tout en étant limité par la qualité variable des boues, la présence de polluants et son intervention tardive dans la chaîne, une fois les matières fortement diluées (Esculier et Barles, 2019 ; Legrand et al., 2021).

La deuxième voie vise à optimiser le fonctionnement des stations d'épuration elles-mêmes, en particulier la dénitrification biologique, afin de mieux limiter les rejets d'azote vers les milieux aquatiques (Esculier et Barles, 2019). Si cette technique réduit la pollution locale, elle ne

change pas la logique générale du système, qui continue à transformer l'azote en gaz plutôt qu'à le restituer aux sols agricoles, et ne permet donc pas de véritable circularité (Esculier et Barles, 2019). Elle reste donc peu circulaire et s'inscrit dans le modèle classique « toilettes - chasse d'eau - égouts - station d'épuration », dont les impacts énergétiques et climatiques sont pointés comme une limite structurelle du modèle actuel (Legrand et al., 2021).

La troisième voie, la plus ambitieuse, repose sur une politique de séparation à la source des urines, très riches en azote, afin de les collecter séparément pour une valorisation agricole ou la production de nouveaux fertilisants (Esculier et Barles, 2019).

Selon Esculier, cette option pourrait permettre d'atteindre en 2050 (fig.52) des niveaux de circularité de l'azote comparables à ceux du début du XX^e siècle, avant la rupture métabolique, tout en ouvrant d'autres co-bénéfices comme la réduction des gaz à effet de serre, l'adaptation des solutions aux contextes urbains locaux, la création de filières économiques et le renforcement d'un mutualisme ville-campagne (Esculier et Barles, 2019).

La chercheuse Marine Legrand présente la séparation à la source comme une solution prometteuse, car elle permet d'économiser de l'eau, de l'énergie et des produits chimiques, tout en valorisant les excréta comme fertilisants plutôt que comme déchets (Legrand et al., 2021). Elle souligne que la majorité des nutriments ingérés puis excrétés par le corps humain se concentre dans l'urine, ce qui rend la collecte séparée de ce flux particulièrement pertinente pour améliorer le recyclage de l'azote et du phosphore à l'échelle territoriale (Legrand et

al., 2021). Toutefois, ces techniques sont encore peu développées et nécessitent des transformations importantes des infrastructures, des usages et de la gouvernance, ce qui limite pour l’instant leur déploiement (Esculier et Barles, 2019).

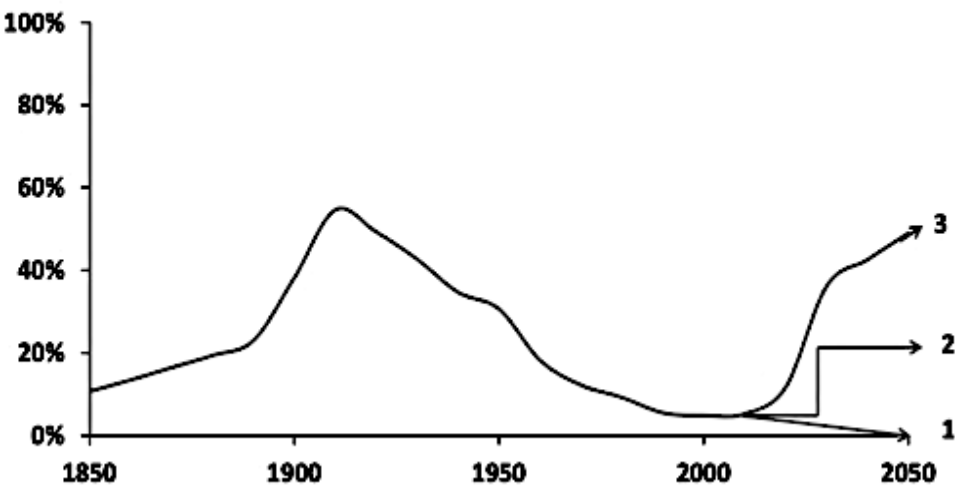


Fig 52 : Taux de recyclage de l'azote des urines et matières fécales de l'agglomération parisienne depuis le milieu du XIXe siècle, et projection selon trois scénarios à l'horizon 2050. Les scénarios étudiés sont : 1) un scénario linéaire avec incinération ; 2) un scénario avec concentration des digestats ; 3) un scénario combinant concentration des digestats et séparation à la source avec collecte des urines.
Source : Esculier, F., & Barles, S. (2019). *Past and future trajectories of human excreta management systems: Paris in the nineteenth to twenty-first centuries*.

En tant qu'architecte, mon intérêt se porte plus particulièrement sur la troisième voie, celle de la séparation à la source des urines. Elle transforme le dispositif technique même des toilettes et implique donc de repenser la distribution des réseaux dans le bâtiment et d'intégrer de nouveaux éléments spatiaux comme les cuves de collecte et la micro-usine de traitement à l'échelle du quartier, voire de la ville (Raguet, 2024).

Là où le tout-à-l'égout tendait à rendre invisibles les flux d'excrétas, la séparation à la source offre à l'architecte l'occasion de spatialiser de nouvelles infrastructures visibles et de recréer des boucles courtes entre excrétion urbaine et sols agricoles. Comme je l'évoquais dans l'introduction, les toilettes ne sont pas un simple « recoin fonctionnel », mais un artefact sociotechnique qui articule nos corps, nos manières d'habiter et de faire société et les territoires.

LE PROGRAMME OCAPI COMME RÉPONSE SYSTÉMIQUE

Le programme OCAPI (Organisation des Cycles Carbone, Azote, Phosphore dans les territoires) est un programme français de recherche-action lancé en 2014, qui étudie la transformation des excréta humains (urines et matières fécales) en engrais agricoles. Il propose une approche scientifique et systémique pour répondre à la rupture induite par le modèle du tout-à-l'égout (Raguet, 2024). Porté par le Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) de l'École des Ponts ParisTech, il mobilise plusieurs laboratoires et partenaires afin d'analyser et d'accompagner les évolutions des systèmes liant alimentation et excréation humaine (fig. 53) (Raguet, 2024).

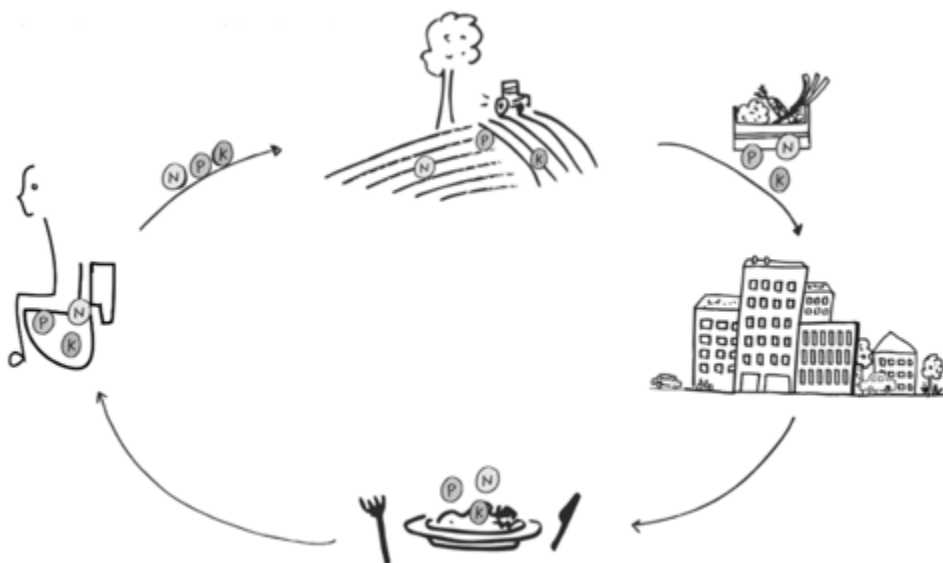


Fig 53 : *Boucle circulaire des nutriments permise par le système de toilettes à séparation à la source proposé par OCAPI.*
Source: iconographie par OCAPI : Programme recherche-action sur alimentation/excrétion et la gestion des urines et matières fécales humaines

Dans un contexte de transition écologique, OCAPI se concentre spécifiquement sur les cycles biogéochimiques (naturels) des nutriments et la gestion des excréments humains. Plus précisément, le programme relance le débat, un siècle après sa disparition, sur d'autres façons de gérer les urines et matières fécales, en remettant directement en cause le modèle dominant du tout-à-l'égout (Raguet, 2024). Cette relance ne cherche pas un retour nostalgique au XIXe siècle, mais invite à repenser nos excréments et à discuter des alternatives à l'assainissement classique, appelées séparation à la source (Raguet, 2024).

OCAPI défend une vision systémique : l'assainissement n'est pas seulement une question de santé publique et d'eau, mais aussi d'énergie, gaz à effet de serre, nutriments, agriculture, alimentation et biodéchets, avec des dimensions économiques, sociales et de gouvernance (Esculier et Barles, 2019). L'étude prend l'agglomération parisienne comme cas d'étude (données 2013) et utilise une analyse de flux de substances pour suivre l'azote et le phosphore dans le système alimentation/excrétion (Esculier et Barles, 2019).

Principes techniques des toilettes à séparation d'urine

Les toilettes à séparation d'urine proposent une alternative en collectant séparément les urines afin de les transformer en ressources valorisables, plutôt que de rejeter les nutriments dans les rivières (Esculier & Barles, 2019). Ce principe de séparation à la source est une démarche portée par le programme OCAP, qui cherche à organiser autrement les cycles du carbone, de l'azote et du phosphore dans les territoires, en réponse à la rupture introduite par le système unitaire d'évacuation des eaux usées (Esculier et Barles, 2019).

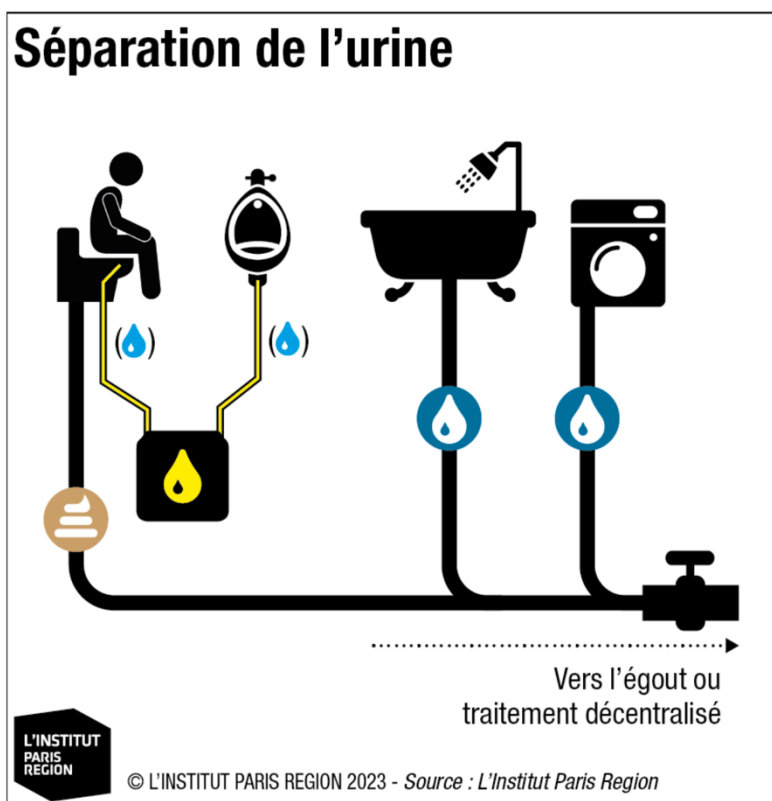


Fig 54: Alternatives au tout-à-l'égout : système de séparation de l'urine.

Source : Iconographie par l'Institut Paris Region dans Esculier, F. (2021). *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France*

La designer en assainissement écologique, Louise Raguet, explique que le dispositif repose sur des toilettes équipées de deux conduites distinctes (fig. 54) : l'urine est collectée séparément par des canalisations reliées entre elles et acheminées vers des cuves de stockage à l'échelle du bâtiment ou du quartier, tandis que les matières fécales et le papier toilette continuent d'être évacués vers les stations d'épuration via le réseau classique (Raguet, 2024). Ce changement technique « rétablit le lien entre les protéines humaines et les cycles naturels » en permettant de considérer les excréments comme des ressources et non plus uniquement comme des déchets à évacuer, grâce à des transformations dites simples et peu coûteuses en énergie (Raguet, 2024).

Une fois collectée dans des cuves communes, l'urine subit une phase de stockage qui joue à la fois un rôle sanitaire et un rôle de stabilisation. Le stockage permet de réduire les risques microbiologiques associés à une éventuelle contamination fécale. L'Organisation mondiale de la santé recommandent des protocoles de stockage spécifiques pour garantir une utilisation sûre en agriculture (Raguet, 2024). Selon la designer, l'urine est considérée comme salubre, non vectrice principale de microbes pathogènes, alors que les matières fécales, qui contiennent des pathogènes, doivent faire l'objet d'un compostage ou d'un traitement adapté, ce qui justifie la séparation des flux (Raguet, 2024).

Sur le plan agronomique, l'urine concentre la majorité des nutriments nécessaires au développement végétal pour couvrir jusqu'à 50% des besoins des cultures mondiales en engrais phosphatés (Raguet, 2024). Cette caractéristique met en évidence le gaspillage du système actuel qui dilue ces nutriments dans les réseaux d'assainissement, alors qu'ils

pourraient être réorientés vers les sols agricoles (Esculier & Barles, 2019; Raguet, 2024).

Après la collecte et le stockage, l'urine est d'abord stabilisée pour limiter les odeurs, puis elle est distillée afin d'en concentrer les nutriments et d'augmenter sa valeur fertilisante (Raguet, 2024). Elle est ensuite dirigée sur un filtre à actif destiné à éliminer les résidus pharmacologiques et autres micropolluants organiques, de manière à produire un engrais compatible avec les usages agricoles. Cette filière s'appuie sur une technologie développée par le centre de recherche suisse Vuna, basé à Zurich, dont le produit issu de ce procédé est déjà commercialisé dans les jardinerie suisses sous forme d'engrais naturel (Raguet, 2024).

Le professeur des sciences agricoles et chercheur à l'institut de l'environnement de Stockholm, Hakan Jönsson explique que l'urine devient la matière première d'«urino-fertilisants» pouvant substituer une partie des engrais minéraux, ce que confirment plusieurs évaluations environnementales positives en faveur de la séparation à la source des urines (Jönsson, 2001 ; Esculier & Barles, 2019).

Ce dispositif technique repose sur un ensemble de contraintes de conception qui conditionnent son bon fonctionnement et seront détaillées plus loin. D'une part, les canalisations d'urine doivent respecter une pente minimale pour éviter la stagnation et la formation de bouchons.

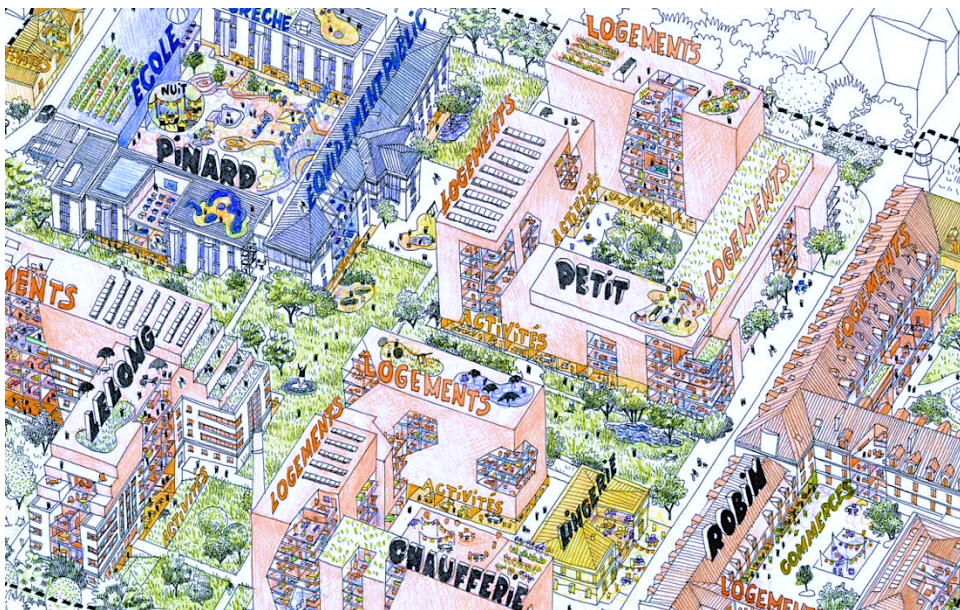
Jönsson indique ainsi que, dans les tuyaux horizontaux, les phosphates de magnésium et de calcium précipitent en formant des boues susceptibles d'obstruer les conduites si la pente est insuffisante ou si le diamètre est trop faible (Jönsson, 2001).

Pour limiter ce risque, il recommande que les tuyaux horizontaux destinés à l'urine aient une pente d'au moins 1% et un diamètre assez large pour garantir l'inspection et le nettoyage (Jönsson, 2001). D'autre part, la gestion des prélèvements et du stockage implique une organisation logistique spécifique : dans le cas du quartier Saint-Vincent-de-Paul, par exemple, une micro-usine de traitement centralise le processus, et la distribution de l'engrais aux agriculteurs repose sur une relation de proximité entre producteurs urbains de nutriments et consommateurs ruraux de ces ressources (Raguet, 2024).

Cette reconfiguration logistique crée un passage du tout-à-l'égout invisible à une traçabilité des nutriments dans leur réintégration au cycle agricole (Esculier & Barles, 2019 ; Raguet, 2024).

Ainsi, le principe technique des toilettes à séparation d'urine articule un équipement sanitaire à double conduite, une collecte dédiée de l'urine vers des cuves communes, un stockage stabilisant, un traitement et un ensemble de contraintes de pente, de dimensionnement des tuyaux et d'organisation logistique qui conditionnent la faisabilité de cette alternative au modèle linéaire d'assainissement (Jönsson, 2001; Esculier & Barles, 2019 ; Raguet, 2024).

Un laboratoire à l'échelle urbaine



Considéré comme le premier projet urbain à toilettes séparatives en France le quartier Saint-Vincent-de-Paul à Paris (fig. 55) est l'un des principaux terrains d'application urbaine du programme OCAPI pour la séparation et la valorisation des urines (Ginesty, 2024). Sur un ancien site hospitalier de 4 à 5 hectares, le projet prévoit la réalisation d'environ 600 logements pour 1 200 habitants, ainsi qu'une école, un gymnase et d'autres équipements collectifs, tous équipés de toilettes à séparation d'urine (Madoui, 2025).

Ce cas permet d'observer la mise en œuvre concrète d'un dispositif de séparation à la source en milieu urbain dense, et non plus seulement dans des écovillages ou des habitats diffus.

Fig 55: L'axonométrie du projet Saint-Vincent-de-Paul.

Source : Berg, D. (2019). Iconographie reproduite dans *Le projet dessiné* : blog du projet Saint-Vincent-de-Paul.

Dans ce projet, toutes les toilettes sont équipées de deux conduites distinctes : l'urine est collectée séparément par des canalisations spécifiques reliées entre elles pour être centralisée dans des cuves à l'échelle du quartier, tandis que les matières fécales et le papier toilette continuent à être évacués vers les stations d'épuration par le réseau d'assainissement classique (Raguet, 2024).

À l'échelle du quartier Saint-Vincent-de-Paul, une micro-usine de traitement est prévue pour centraliser le processus, c'est-à-dire assurer la stabilisation, la transformation et la préparation de l'urine en vue de sa valorisation agricole (Raguet, 2024). L'urine y est d'abord filtrée à l'aide de charbons actifs, ce qui permet d'éliminer certains micropolluants qu'elle peut contenir, tels que les hormones et certains résidus pharmaceutiques. Elle est ensuite concentrée dans un distillateur à haute température pour éliminer les micro-organismes pathogènes (fig.56).

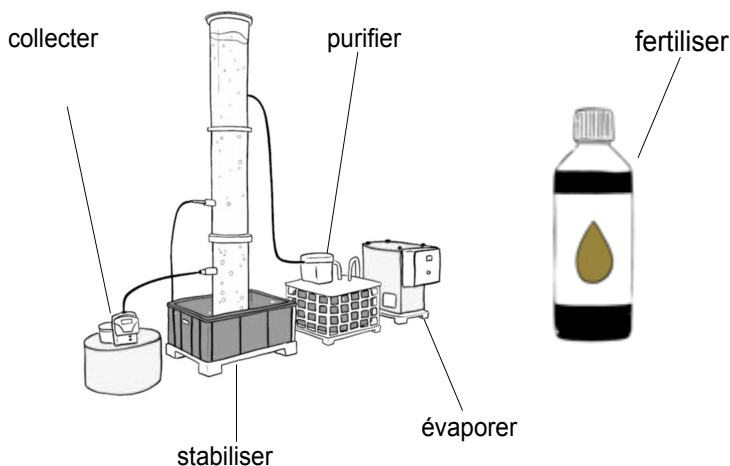


Fig 56 Colonne de nitrification et évaporateur. Les bactéries présentes dans une colonne aérée stabilisent l'urine avant que le liquide ne s'évapore dans un distillateur.

Source : Ginesty, J. (2024). *Des toilettes séparatives au cœur d'un projet de transformation des urines en engrais*. Concept Bain Magazine.

Finalement, on obtient un engrais dans lequel il ne reste que les nutriments, sans odeur et qui sera ensuite utilisé par le service des espaces verts pour fertiliser sa pépinière et les pelouses de la ville de Paris. (Tordera, 2018 ; Ginesty, 2024). Quatorze litres d'urine permettraient de produire 1 litre d'engrais liquide. Les 1 200 habitants de Saint-Vincent-de-Paul pourraient engendrer jusqu'à 300 000 litres d'urine par an (Ginesty, 2024).

Cette organisation crée une nouvelle infrastructure de quartier qui se distingue nettement du tout-à-l'égout traditionnel. Au lieu d'un réseau souterrain unique où les excréta disparaissent dans les canalisations, le système repose sur des cuves communes visibles, une micro-usine locale et des circuits logistiques courts pour acheminer l'engrais issu de l'urine vers les zones périurbaines et urbaines (Raguet, 2024).

La distribution aux agriculteurs ne relève plus d'un système abstrait d'exportation lointaine, mais d'une relation de proximité entre producteurs urbains de nutriments et utilisateurs ruraux de ces ressources, ce qui permet une recirculation métabolique locale : les excréments des habitants deviennent un engrais pour les terres qui les nourrissent en retour (Raguet, 2024).

Raguet décrit cette évolution comme une transition paradigmatique, qui fait passer « l'invisibilité du tout-à-l'égout », où les excréments disparaissent dans des réseaux souterrains, à une traçabilité des nutriments dans leur retour au cycle agricole (Raguet, 2024).

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX DOCUMENTÉS

La séparation à la source de l'urine est une pratique ancienne, qui a toutefois suscité un regain d'intérêt en Suède au début des années 1990. Cette période a vu l'émergence de plusieurs quartiers équipés de toilettes à séparation, marquant une relance concrète de cette approche (Johansson, 2000). Elles permettent de collecter une part importante de l'urine produite. Dans les projets Understenshöjden (44 logements) et Palsternackan (51 logements) à Stockholm, étudiés par Mats Johansson, chercheur et consultant suédois spécialisé dans la gestion des eaux usées et la durabilité environnementale, et ses collègues, les mesures montrent que 58 à 95% de la quantité d'azote, de phosphore et de potassium excrétés dans l'urine sont récupérés dans les cuves, ce qui correspond à un taux de séparation d'environ 60–65% en conditions réelles pour un habitat collectif équipé de modèles comme la Dubbletten (fig.60) (Johansson, 2000 ; Jönsson, 2001).

Dans le cas de Palsternackan, Jönsson (2001) montre qu'avec 65% d'urine séparée, les émissions d'azote vers l'eau diminuent d'environ 55% et celles de phosphore d'environ 33% par rapport à un système d'égout conventionnel. Tandis que la filière de séparation permet de recycler environ 1,6 kg d'azote et 0,15–0,2 kg de phosphore par personne et par an, soit 27 fois plus d'azote disponible pour les plantes, environ 35% de phosphore en plus et 25 fois plus de potassium qu'avec la filière conventionnelle, tout en économisant environ 63 MJ d'énergie par personne et par an sur l'ensemble du système (traitement des eaux usées et production/distribution d'engrais minéraux) (Johansson, 2000 ; Jönsson, 2001).

Dans ce même contexte suédois, des simulations réalisées avec le modèle ORWARE (fig. 57) pour le quartier de Palsternackan comparent un système d'assainissement entièrement conventionnel à un système combinant séparation d'urine et traitement centralisé des eaux usées (Johansson, 2000). En supposant que les habitants passent 65% de leur temps à domicile, que 65% de l'urine est effectivement séparée, que la station d'épuration élimine 80% de l'azote et que 50% des boues sont épandues en agriculture, les calculs montrent qu'à l'échelle du logement la séparation d'urine réduit de plus de moitié les émissions d'azote vers les milieux aquatiques, diminue aussi les rejets de phosphore et augmente nettement les quantités de N, P et K recirculées vers les terres agricoles (Johansson, 2000). Dans ces mêmes simulations, le bilan énergétique reste plus favorable au scénario avec séparation d'urine tant que l'urine n'est pas transportée à plus d'environ 95 km en camion simple ou 220 km en camion avec remorque, grâce à une moindre consommation d'électricité pour le traitement de l'azote en station et à une réduction des besoins en engrais minéraux industriels (Johansson, 2000).

La Stratégie européenne « de la ferme à la table » vise une réduction d'au moins 50 % des pertes en nutriments et 20 % de la consommation d'engrais d'ici 2030, tandis que le règlement UE 2019/1009 promeut les « fertilisants UE » autorise les engrais recyclés (compost, urine...) avec peu de métaux lourds.

Ces mesures ouvrent la voie à une économie circulaire des nutriments, où l'urine humaine, riche en azote minéral et phosphore, pourrait substituer jusqu'à 20 % des engrais actuels, en complément des projets comme OCAP (SPW, 2024).

Dubbelkken

Modèle

Dubbelkken

Fonctionnement à séparation d'urine et de fèces

Les bols sont conçus pour les fèces à l'arrière et pour l'urine à l'avant. Le bol des fèces est équipé d'un col qui empêche efficacement l'atteinte du bol d'urine séparé à l'avant. La cuvette est rincée avec deux systèmes indépendants

Eau : consommation

La petite chasse rince le petit bol avec 1,5 l. La grande chasse rince le grand bol avec 7 l. Le rinçage est ajusté par la longueur du poussoir : la petite chasse est activée par une courte pression, la grande par une longue pression. Cela montre un volume d'urine de 0,5 l par rinçage.

Le reste du rinçage quotidien provient du rinçage des fèces (1,5-2 l/personne)

Installation

Le modèle au sol est fixé au sol. La version murale est fixée au mur derrière le réservoir. Le modèle est connecté à l'arrivée d'eau (110 mm) et à la sortie d'urine (75 mm).



Mesures (mm)	Mur	Sol
Longueur avant	370	460
Hauteur	360	405

Design

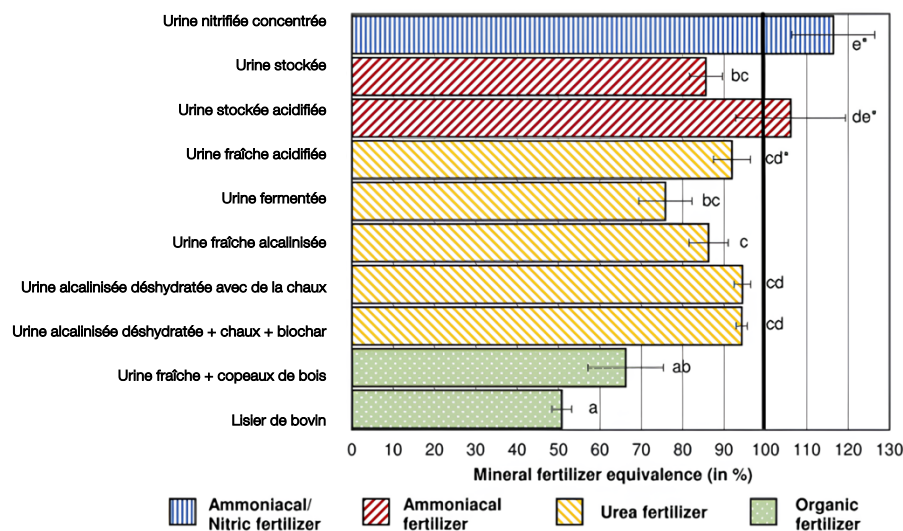
Le bol est en porcelaine ou en plastique. Le siège est construit de manière solide. Disponible en deux modèles : au sol et mural.

Fig 57: Fiche technique d'une toilette à séparation en Suède, modèle Dubbelkken.

Source: Af Petersens, E., Johansson, M., & Andersson, J. (2000). *Market survey: Extremely low flush toilets plus urine-diverting toilets and urinals, for collection of black water and/or urine.*

Sur le plan agronomique, l'urine humaine séparée à la source se comporte comme un engrais complet : la quasi-totalité de l'azote y est présente sous forme minérale (principalement de l'urée rapidement hydrolysée en ammonium), et les rapports N/P/K calculés à partir des excréments moyennes correspondent globalement aux besoins des céréales à paille pour des doses adaptées (Johansson, 2000 ; Jönsson, 2001).

Des essais pluriannuels menés à Bornsjön, en Suède, sur de l'orge de printemps (céréale) montrent que l'apport de nutriments sous forme d'urine permet d'atteindre environ 80 à 90% du rendement obtenu avec un engrais minéral (Johansson, 2000). Les essais menés ensuite en Suède et en France montrent que différents urino-fertilisants atteignent des efficacités comprises entre environ 70% et plus de 100% de l'équivalent engrais minéral, confirmant ainsi les résultats de Bornsjön (80–90% de rendement) (Martin, 2020) (fig. 58)



Graphique 58 : *Équivalent engrais minéral, ou MFE, des urino-fertilisants.* Cette figure démontre l'efficacité agronomique des urino-fertilisants et confirme les résultats suédois de Bornsjön, avec un rendement de 80 à 90 %.

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

Les mesures de volatilisation indiquent que, lorsque l'urine est épandue avec des rampes traînantes puis rapidement incorporée au sol, les pertes d'ammoniac restent inférieures à 10% de l'azote appliqué, le plus souvent entre 2 et 7% selon la dose et la technique utilisées (Johansson, 2000). Dans ces essais, le phosphore contenu dans l'urine a une efficacité agronomique similaire à celle des engrais phosphatés usuels, et les analyses montrent des teneurs très faibles en métaux lourds : un rapport cadmium/phosphore d'environ 2 mg Cd/kg P place l'urine en dessous des seuils habituels pour les engrais phosphatés d'origine minière ou issus de boues d'épuration (Jönsson, 2001).

Les évaluations environnementales synthétisées dans le cadre du programme OCAPL et de travaux récents confirment ces résultats dans d'autres contextes que la région de Stockholm. À l'échelle urbaine, Bisinella de Faria (2015), spécialiste dans le génie des procédés et l'évaluation environnementale, cité dans le rapport de Mathilde Besson de 2020, montre qu'une filière-type de séparation des urines, avec un taux de captation d'environ 50% des urines domestiques, peut diviser par deux (45%) les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées au traitement des eaux usées et à la fertilisation, par rapport à une situation sans séparation.

Une autre étude citée par Esculier (2021) de Tristan Martin (2020), chercheur au sein de l'équipe OCAPL rattachée au Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU), montre qu'en configuration de stockage puis épandage à proximité des surfaces agricoles, les émissions de gaz à effet de serre peuvent être réduites d'un facteur jusqu'à 3,5, et que l'eutrophisation des cours d'eau est diminuée d'un facteur pouvant atteindre 8.

Sans même modifier profondément les systèmes de culture, le rapport d'OCAPI intitulé *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?*, estime qu'environ 20% des apports actuels d'engrais minéraux azotés et phosphatés en France pourraient être substitués par des engrais issus de la séparation à la source des urines, si les infrastructures de collecte et de traitement étaient généralisées (Esculier et al., 2021).

Ces performances contrastent nettement avec le fonctionnement du système conventionnel. Un adulte occidental excrète en moyenne 4,6 kg d'azote par an (fig. 59) (Martin, 2020), ce qui suffit théoriquement à fertiliser plus de 200 kg de grain de blé (Cavicchi, 2021). Mais dans les filières actuelles, cet azote est majoritairement dissipé dans les réseaux et les cours d'eau plutôt que recyclé vers les sols, en raison des pertes par dénitrification et des rejets résiduels après traitement (Martin, 2020 ; Cavicchi, 2021 ; Starck & Esculier, 2024).

En Wallonie (fig. 60), les apports d'engrais azotés ont diminué entre 1995 et 2023, passant de 240,9 à 175,9 kg d'azote par hectare de surface agricole utilisée. En 2023, ces apports proviennent presque à parts égales des engrais minéraux (86,4 kg/ha) et des effluents d'élevage (89,6 kg/ha). Malgré cette baisse, une quantité importante d'azote reste dans les sols sous forme de nitrates. En 2023, ce surplus atteint 41,9 kg d'azote par hectare, soit environ un quart des apports annuels.

Cela montre que tout l'azote apporté n'est pas utilisé par les cultures, ce qui crée un déséquilibre entre apport et absorption par les cultures.

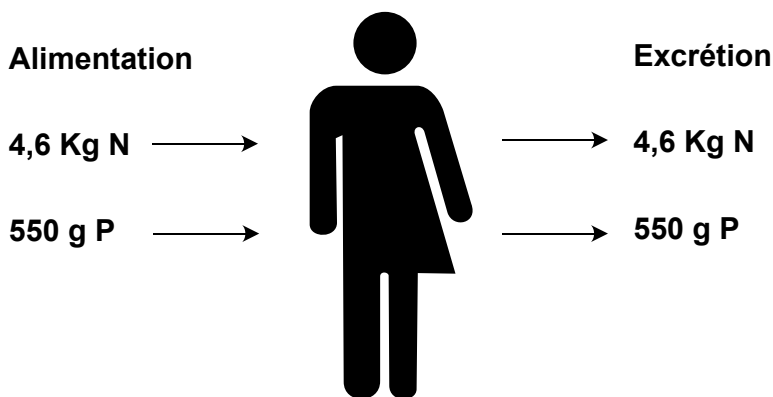
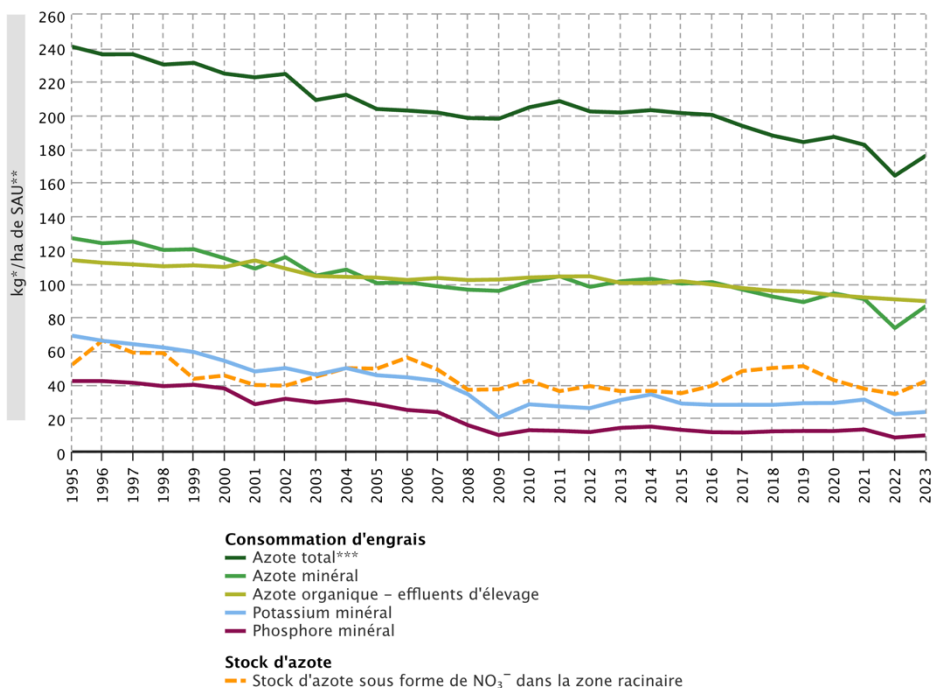


Fig 59 : Flux d'azote et de phosphore du système alimentation-excrétion, par personne et par an.
Source : Martin, T. (2020). *L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable*.

Fig 60 : État de l'environnement wallon : sources des flux d'azote et données associées.

Source : SPW ARNE - DEMNA ; Statbel, Office belge de statistique ; Confédération belge du cheval ; SPW ARNE - DEE, modèle EPICgrid.

LIMITES ET FRAGILITÉS DES DISPOSITIFS DE SÉPARATION À LA SOURCE

Les toilettes à séparation d'urine, bien que prometteuses pour la récupération des nutriments, présentent des contraintes techniques majeures dès l'installation et des défis sanitaires persistants liés aux micropolluants. Ces limites expliquent leur faible pénétration malgré 30 ans d'expérience suédoise (Jönsson, 2001).

Même si les dispositifs de séparation à la source sont souvent présentés comme une alternative intéressante au système du tout-à-l'égout et à l'épandage des boues d'épuration, ils présentent aussi certaines limites. Ils apparaissent dans un contexte marqué par des scandales sanitaires, des réglementations parfois insuffisantes et des incertitudes sur le devenir des polluants dans les sols agricoles. Les débats actuels sur les boues d'épuration au Royaume-Uni et en Europe montrent que la réutilisation agricole des excréments humains n'est pas sans risque. Sans un encadrement strict, un modèle basé sur la circularité peut même devenir une source de risques cachés pour l'environnement et l'agriculture (Salvidge, 2025).

Contraintes d'installation

Les toilettes à séparation d'urine demandent d'adapter les infrastructures existantes. Elles possèdent deux sorties différentes, une pour l'urine et une pour les fèces, ce qui rend leur installation plus compliquée dans les bâtiments anciens ou dans les réseaux d'assainissement classiques (Martin, 2017).

Les canalisations pour l'urine peuvent aussi se boucher facilement. Des dépôts solides peuvent se former, (dus à la précipitation de phosphates de magnésium et de calcium), surtout dans les tuyaux horizontaux (Jönsson, 2001). Pour éviter ces bouchons, les tuyaux doivent avoir une pente minimale (environ 1 %) et un diamètre minimum (au moins 75 mm). Il est aussi conseillé d'installer des sections transparentes et des regards de visite pour permettre l'inspection et le nettoyage régulier (Jönsson, 2001). De plus, ces systèmes utilisent souvent des chasses d'eau très réduites (0,1 à 0,3 L). Cela dilue les urines et augmente les volumes à transporter (Martin, 2017).

Dans les contextes urbains denses comme l'agglomération parisienne, ces modifications architecturales et de plomberie présentent des défis logistiques et économiques non négligeables (Esculier et al., 2017).

Limites techniques et risques

L'urine fraîche est légèrement acide (pH 5,6–6,9), mais elle devient rapidement basique (environ pH 9) lorsque l'urée se décompose. Ce changement favorise la formation de dépôts minéraux comme la struvite, l'hydroxyapatite ou la calcite. Ces dépôts peuvent s'accumuler dans les tuyaux et les réservoirs et provoquer des bouchons (Karak & Bhattacharyya, 2011 ; Martin, 2017).

Lors du stockage ou de l'épandage, une partie de l'azote peut aussi être perdue sous forme d'ammoniac (NH_3). Cette volatilisation peut représenter environ 6 à 7 % de l'azote total, surtout lorsque le pH est élevé. Elle peut également produire des odeurs irritantes et contribuer à la formation de particules fines dans l'air (Martin, 2017 ; Kirchmann & Pettersson, 1995). Pour éviter ces problèmes, un entretien régulier des

installations est nécessaire. Les cuves de stockage doivent aussi être dimensionnées pour tenir compte des variations de volume d'urine produite, généralement estimé entre 1 et 1,5 L par personne et par jour (Martin, 2017).

Problématiques du stockage et de l'épandage

Le stockage préventif (1 mois à 20°C) est recommandé par l'OMS pour réduire les pathogènes, mais peut s'allonger selon les cultures ; l'ammoniac assure une hygiénisation partielle, bien que l'urine ne soit pas stérile à l'excrétion (Martin, 2017 ; OMS, 2012). L'épandage direct pose des risques de pertes gazeuses (jusqu'à 10 % si non incorporé au sol) et nécessite une période d'attente (1 mois) avant la récolte pour les légumes crus (Johansson, 2000). Le transport de volumes dilués (1% des eaux usées totales) reste énergivore et logistiquement complexe (Esculier et al., 2017 ; Starck & Esculier, 2024).

Contraintes d'usage et d'acceptabilité

L'usage quotidien de ces toilettes peut poser des difficultés ergonomiques. Les utilisateurs doivent viser correctement les deux orifices, ce qui peut compliquer l'utilisation, notamment pour les femmes et les enfants, et entraîner un mélange accidentel des urines et des fèces (Martin, 2017 ; Jönsson 2001). Ces dispositifs peuvent aussi bousculer certaines habitudes. Les hommes qui urinent debout contournent parfois le séparateur, ce qui réduit l'efficacité du système : le taux réel de séparation peut alors descendre à 35–40 %, contre 60–65 % théoriques (Jönsson, 2001). Le volume d'urine réellement collecté dépend ainsi fortement de l'implication des habitants (environ 1,5 à 2 L par jour, souvent dilués) (Martin, 2017). De plus, les odeurs d'ammoniac pouvant apparaître lors du stockage peuvent freiner l'adoption.

Des expérimentations menées en Suède et en Suisse montrent que l'acceptation de ces systèmes reste variable et dépend largement du contexte culturel et du niveau de sensibilisation des usagers (Johansson et al., 2000). Une information et un accompagnement réguliers, ainsi que l'installation d'urinoirs dans certains cas, peuvent améliorer leur utilisation (Jönsson, 2001).

Contraintes sanitaires

L'urine fraîche est presque stérile (moins de 10 000 bactéries/mL). Un stockage fermé de 1 à 6 mois à environ 20 °C permet généralement d'éliminer les principaux pathogènes, ce qui rend l'urine utilisable en agriculture sans traitement supplémentaire dans certains cas, conformément aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (2012 ; Jönsson, 2001). Les risques microbiens proviennent surtout d'une contamination croisée avec les fèces lors de l'usage quotidien, par exemple lorsque la séparation n'est pas correctement réalisée (Jönsson, 2001).

Cependant, la séparation à la source concentre non seulement les nutriments utiles (azote, phosphore, potassium), mais aussi certains polluants issus de l'alimentation et des médicaments. Cela peut créer une boucle potentielle dans la chaîne alimentaire : consommation → excrétion → épandage → retour aux cultures (Lienert et al., 2007 ; Karak & Bhattacharyya, 2011). Environ 60 à 70 % des médicaments sont excrétés par l'urine, dont des antalgiques comme le paracétamol ou l'ibuprofène, des anti-inflammatoires (diclofénac), des antibiotiques, des psychotropes comme la carbamazépine, ou encore certaines

hormones (Lienert et al., 2007 cités dans Eme & Boutin, 2015 ; Winker et al., 2008 cités par Goulas, 2019).

Les métaux lourds présents dans l'urine restent en général à de faibles concentrations mais sont tout de même présent. Les quantités moyennes émises par personne et par jour sont par exemple d'environ 0,001 mg de cadmium, 0,010 mg de chrome, 0,101 mg de cuivre, 0,001 mg de mercure, 0,007 mg de nickel, 0,002 mg de plomb et 0,30 mg de zinc (Jönsson et al., 2005 cités dans Eme & Boutin, 2015). Ces éléments proviennent principalement de l'alimentation, des canalisations ou des amalgames dentaires. Les concentrations sont nettement plus élevées dans les fèces, notamment pour le zinc et le cuivre (Kirchmann & Pettersson, 1995 cités dans Eme & Boutin, 2015). Toutefois, des épandages répétés peuvent entraîner une accumulation progressive de ces traces de métaux dans les sols (Lienert et al., 2007).

Dans les sols agricoles, plusieurs facteurs favorisent la dégradation des micropolluants : une forte présence d'oxygène, l'exposition aux UV en surface et une activité microbienne importante. Ces conditions limitent généralement les risques sanitaires directs pour les consommateurs (Lienert et al., 2007). Néanmoins, les données restent encore limitées concernant la présence de ces substances dans l'urine recyclée et leur transfert éventuel vers les plantes. Des incertitudes persistent donc sur leurs effets à long terme sur les écosystèmes et la santé humaine, en particulier en cas d'utilisation à grande échelle (Goulas, 2019). Les micropolluants constituent ainsi un enjeu important mais encore mal connu des filières de séparation de l'urine.

La séparation à la source permet d'améliorer l'un des défauts majeurs du tout-à-l'égout en permettant de conserver des urines très concentrées en nutriments, facilement valorisables comme engrais. En revanche, elle ne règle ni la question de certains micropolluants (tels que certains résidus pharmaceutiques, plastique) et métaux lourds qui sont eux aussi concentrés dans l'urine, ni les contraintes très concrètes de mise en œuvre telles que le double réseau, risques de colmatage, stockage, transport et acceptabilité sociale. Les toilettes à séparation d'urine peuvent aider à relocaliser les nutriments, mais seulement si elles font partie d'un système bien organisé : avec des règles sanitaires et chimiques claires, du matériel adapté pour collecter, stocker et épandre l'urine, et une coordination entre communes, agriculteurs et services d'eau. Sinon, ce n'est qu'un petit changement technique de toilettes qui ne suffit pas à transformer vraiment le système d'assainissement.

CONCLUSION

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Ce travail a montré que le tout-à-l'égout et les engrais chimiques ont participé à la rupture entre villes et campagnes : les nutriments deviennent des déchets, et leurs impacts (pollution, climat) sont déplacés et invisibilisés.

L'étude des toilettes séparatives met en évidence leur potentiel pour réintégrer ces nutriments dans les cycles agricoles. Toutefois, leurs limites techniques, sanitaires et sociales montrent que leur diffusion reste contraignante malgré plusieurs décennies d'expérimentations.

Ces résultats montrent les limites d'une approche basée uniquement sur la technique. Comme le montrent Clark, Foster et Longo (2019), changer les dispositifs ne suffit pas à résoudre des problèmes plus larges, qui dépendent aussi de l'organisation sociale, territoriale et économique. Ils invitent donc à dépasser une vision technosolutionniste des enjeux écologiques.

Ainsi, au-delà de l'objet « toilettes », c'est l'ensemble des relations entre habitat, infrastructures et territoires qu'il faudrait repenser, afin de permettre une véritable reconnexion aux cycles naturels.

RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE WC ÉCOLOGIQUES, RUPTURE VILLE-CHAMPS RECOUSUE ?

Ce travail montre qu'il est techniquement possible de transformer le WC, qui fonctionne aujourd'hui comme un simple point d'évacuation dans un système linéaire, en un élément d'un cycle circulaire. Les toilettes séparatives permettent de récupérer l'urine avant qu'elle ne soit mélangée aux eaux usées. Or l'urine contient environ 80 % des nutriments azotés et phosphorés présents dans les excréta humains. Ces nutriments pourraient être valorisés comme fertilisant agricole. En France, cette ressource représenterait environ 25 % des besoins en engrais phosphatés. En récupérant l'urine à la source, on évite qu'elle soit diluée dans le réseau du tout-à-l'égout et que ses nutriments soient finalement perdus dans les milieux aquatiques. Cette approche constitue donc une première étape pour sortir de la logique d'extraction puis de rejet, en créant un lien entre les nutriments, le corps humain et les sols agricoles.

Cependant, ces solutions présentent encore plusieurs limites importantes qui montrent que la rupture entre la ville et les cycles naturels est plus profonde. Dans certaines expériences menées en Suède, par exemple, des problèmes de colmatage des urinoirs ont été observés. L'urine peut aussi contenir des micropolluants pharmaceutiques, issus notamment des médicaments consommés. Même séparés des autres eaux usées, les excréta peuvent également contenir des micro-organismes pathogènes, comme certaines bactéries ou des virus. À cela s'ajoutent des obstacles culturels, car l'idée de réutiliser les excréta humains reste encore tabou pour une partie de la population, ce qui peut freiner l'acceptation de ces

dispositifs.

Il n'existe aujourd'hui presque aucune infrastructure organisée pour collecter, traiter et redistribuer ces ressources à l'échelle des villes. Dans ces conditions, le WC seul ne peut pas réparer la rupture métabolique, il peut améliorer la situation, mais il ne suffit pas à reconnecter complètement les cycles entre la ville et l'agriculture.

La réponse doit donc être plus large et plus systémique, à l'échelle de l'architecture, des quartiers et des territoires. Les bâtiments pourraient être conçus comme des lieux capables de capter et de stocker les nutriments produits par les habitants. Les quartiers pourraient intégrer des stations locales de traitement biologique, capables de transformer ces flux en fertilisants sûrs. À une échelle plus large, les territoires pourraient être organisés de manière à reconnecter les villes avec les terres agricoles proches, par exemple dans un rayon d'une cinquantaine de kilomètres.

On peut imaginer, par exemple, un immeuble à Bruxelles où l'urine collectée auprès des habitants serait utilisée pour fabriquer de l'engrais à répandre dans les serres situées au rez-de-chaussée, qui produiraient ensuite des légumes distribués aux habitants du bâtiment. La recouture de la rupture ville-champs ne passe donc pas seulement par le retour des nutriments aux sols, mais aussi par une réintégration de la production alimentaire dans la ville elle-même, à travers des formes de subsistance urbaine et de culture de proximité, comme l'ont montré les travaux de Geneviève Pruvost sur la subsistance au quotidien.

Dans cette perspective, il s'agit aussi de faire de la ville un territoire de production alimentaire, comme elle a pu l'être jusqu'au XIXe siècle. Le rôle de l'architecte évolue alors : il ne conçoit plus seulement des bâtiments, mais participe à l'organisation des flux de matière entre la ville, l'agriculture et les habitants, afin de recréer des cycles vivants et de dépasser le modèle du WC comme simple dispositif d'évacuation.

Cette ouverture invite à poursuivre la recherche au-delà du cadre de ce TFE. Il serait notamment intéressant d'approfondir les conditions réelles d'intégration des toilettes séparatives dans les projets architecturaux, mais aussi leur acceptation par les habitants, leur cadre réglementaire et leur articulation avec des filières agricoles locales. La recouture métabolique apparaît ainsi non comme une simple innovation technique que comme une transformation culturelle, spatiale et écologique de nos manières d'habiter.

VERS DE NOUVEAUX IMAGINAIRES ARCHITECTURAUX

Face à la rupture métabolique entre la ville et les cycles naturels, le rôle de l'architecte ne se limite plus à proposer des solutions techniques. C'est la manière même de concevoir les logements, les infrastructures et les territoires qui doit évoluer. L'objectif est de recréer des liens entre la ville et la campagne, afin que les cycles biologiques puissent à nouveau exister dans l'espace construit.

Cependant, cette chaîne met aussi en évidence une pollution déjà présente dans notre environnement. Comme certains métaux lourds qu'on peut retrouver dans l'urine. Cela révèle que nos corps sont déjà marqués par les effets d'un siècle d'industrialisation, d'exploitation des ressources et de pollutions liées aux activités humaines (Gaillard et al., 2024).

Reconnecter les cycles biologiques ne signifie donc pas seulement modifier les infrastructures. Cela implique aussi de repenser nos modes de vie : consommer plus localement, réduire les pollutions et produire autrement. Dans ce contexte, l'architecte peut jouer un rôle important en pensant les liens entre le corps, la ville, les territoires et les sols.

Ainsi, les toilettes ne représentent plus seulement la fin d'un processus d'évacuation des déchets. Elles peuvent aussi être vues comme le point de départ d'une réflexion plus large sur la manière d'organiser les relations entre les humains, la ville et les écosystèmes.

BIBLIOGRAPHIE

ARTICLES SCIENTIFIQUES

A

Akrich, M. (1987). Comment décrire les objets techniques ? *Techniques & Culture*, 9, 49–64. À l'adresse https://www.researchgate.net/publication/305389960_La_description_des_objets_techniques

B

Béguin, M. (2013). L'histoire des ordures : De la préhistoire à la fin du XIXe siècle. *VertigO*, 13(3). À l'adresse <https://journals.openedition.org/vertigo/14419>

Bisinella de Faria, A. B., Spérandio, M., Ahmadi, A., & Tiruta-Barna, L. (2015). Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA). *Water Research*, 84, 99–111. À l'adresse <https://doi.org/10.1016/j.watre>

[s.2015.06.048](#)

Boyer, A., & Cantau, A. (2010). Regards sur quelques journaux éphémères d'hygiène du XIXe siècle. *Histoire des sciences médicales*, 44(3), 281–301. À l'adresse <https://numerabilis.u-paris.fr/ressources/pdf/sfhm/hsm/HSMx2010x044x003/HSMx2010x044x003x0281.pdf>

C

Cordell, D., Drangert, J. O., & White, S. (2009). The story of phosphorus. *Global Environmental Change*, 19, 292–305. À l'adresse <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095937800800099X>

D

Dourmad, J.-Y., Boudon, A., & Narcy, A. (2020). Le phosphore dans les systèmes d'élevage. *INRAE Productions animales*, 33(1). À l'adresse <https://hal.inrae.fr/hal-02500414>

E

Eleb-Vidal, M. (2010). La mise au propre en architecture : Toilette et salle de bains en France au tournant du siècle (1880–1914). *Techniques & Culture*, 54–55(1), 588–609. À l'adresse <https://doi.org/10.4000/tc.5023>

Eleb-Vidal, M., & Debarre-Blanchard, A. (1988). *Architectures de la vie privée : Maisons et mentalités, 1880–1914. Tome 1*. Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du territoire et des Transports / Bureau de la recherche architecturale ; Ministère de la Recherche et de la Technologie ; École d'architecture de Paris-Villemin. À l'adresse <https://hal.science/hal-01905168>

El Oifi, B., & Védry, B. (2014). La révolution des boues

activées depuis 100 ans. *Cahiers de l'ASEES*, 18, 25–32. À l'adresse <https://doi.org/10.1051/asees/2014002>

F

Firmiano, F. D., & Teixeira, P. M. R. (2024). Metabolic rift and structural crisis of capital: The productive specialization pattern based on commodities and the progressive elimination of ecological and natural resources in Brazil. *Latin American Perspectives*, 51(1). À l'adresse <https://doi.org/10.1177/0094582X231223960>

Foster, J. B. (1999). Marx's theory of metabolic rift. *American Journal of Sociology*, 105(2), 366–405. À l'adresse <https://johnbellamyfoster.org/wp-content/uploads/2014/07/Marxs-Theory-of-Metabolic-Rift.pdf>

G

Gaillard, L., Bernal, K., Coumoul, X., Andréau, K., & Blanc, É. B. (2024). Polluants éternels et contamination humaine : État des lieux et enjeux autour des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS). *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 59(6), 349–361.

À l'adresse

<https://doi.org/10.1016/j.cnd.2024.10.003>

Gillet, M. (1959). Le Choléra — La première épidémie du XIXe siècle, étude collective présentée par Louis Chevalier, 1958. *Revue du Nord*, 41(162), 228–229. À l'adresse

[https://www.persee.fr/doc/rnord_0035-](https://www.persee.fr/doc/rnord_0035-2624_1959_num_41_162_5557_t1_0228_0000_2)

[2624_1959_num_41_162_5557_t1_0228_0000_2](https://www.persee.fr/doc/rnord_0035-2624_1959_num_41_162_5557_t1_0228_0000_2)

H

Higounet-Nadal, A. (1975). Hygiène, salubrité, pollutions au Moyen Âge. *Annales de démographie historique*, 81–

92. À l'adresse

[https://www.persee.fr/doc/adh_0066-](https://www.persee.fr/doc/adh_0066-2062_1975_num_1975_1_1270)

[2062_1975_num_1975_1_1270](https://www.persee.fr/doc/adh_0066-2062_1975_num_1975_1_1270)

K

Karak, T., & Bhattacharyya, P. (2011). Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. *Resources, Conservation and Recycling*,

55(4), 400–408. À l'adresse

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.008>

Kirchmann, H., & Pettersson, S. (1995). Human urine: Chemical composition and fertilizer use efficiency.

Fertilizer Research, 40, 149–154. À l'adresse

<https://doi.org/10.1007/BF00750100>

Kohlbrenner, A. (2014). De l'engrais au déchet, des campagnes à la rivière : Une histoire de Bruxelles et de ses

excréments. *Brussels Studies*, 78. À l'adresse <https://doi.org/10.4000/brussels.1224>

L

Lacousse, M. (2023). Confort et hygiène dans la haute société européenne (1854–1937) d'après les plans des architectes Hippolyte et Walter Destailleur. *In Situ. Revue des patrimoines*, 51. À l'adresse <https://doi.org/10.4000/insitu.39539>

Legrand, M., Joveniaux, A., Arbarotti, A., De Gouvello, B., Esculier, F., & Tabuchi, J.-P. (2021). Séparation à la source et valorisation des excréta humains du Grand Paris : Des filières émergentes. *Techniques Sciences Méthodes*, 9(9), 103–118. À l'adresse <https://doi.org/10.36904/tsm/202109103>

Lienert, J., Bürki, T., & Escher, B. I. (2007). Reduction of

micropollutants by source control: Analysis of 212 pharmaceutical substances in feces and urine. *Water Science and Technology*, 56(5), 87–96. À l'adresse <https://doi.org/10.2166/wst.2007.560>

Lopez, F. (2016). Les monuments de la transition énergétique. Dans *Electric worlds/Mondes électriques: Creations, circulations, tensions, transitions (19th–21st c.)* (pp. 497–516). À l'adresse https://www.jstor.org/content/pdf/oa_chapter_edited/j.ctv9hj6hk.25?acceptTC=true&coverpage=false&addFooter=false

M

Moore, J. W. (2011). Ecology, capital, and the nature of our times: Accumulation & crisis in the capitalist world-ecology. *Journal of World-Systems Research*, 17(1), 107–146. À l'adresse <https://jwsr.pitt.edu/ojs/jwsr/article/view/432>

O

Organisation mondiale de la Santé. (2012). *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères. Tome IV : Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture*. Organisation mondiale de la Santé. À l'adresse https://www.dis-course.net/fileadmin/NUST-course/Resources/WHO-Guidelines_Vol4-fra.pdf

R

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37). À l'adresse <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M.,

Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>

S

Saito, K. (2021). La théorie du métabolisme chez Marx à l'ère de la crise écologique mondiale. *Tracés. Revue de sciences humaines*, 40, 161–182. À l'adresse <https://doi.org/10.4000/traces.12425>

Smil, V. (2000). Le phosphore dans l'environnement : Flux naturels et interventions humaines. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 53–88. À l'adresse <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.53>

Starck, T., & Esculier, F. (2024). Nutriments dans les

eaux usées : Premier bilan national détaillé d'une déperdition de ressources stratégiques. *Techniques Sciences Méthodes*, 7–8, 49–68. À l'adresse <https://astee-tsm.fr/articles/tsm-78-2024-etude-starck/>

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., et al. (2015). Limites planétaires : Guider le développement humain sur une planète en mutation. *Science*, 347(6223), 1259855. À l'adresse <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

Z

Zylberman, P. (2017). L'intestin de la grande ville : Les égouts et l'hygiène à Paris à la fin du XIXe siècle. *Les Tribunes de la santé*, 56(3), 21–28. À l'adresse <https://doi.org/10.3917/seve.056.0021>

OUVRAGES, CHAPITRES D'OUVRAGES, ESSAIS

C

Callon, M. (2017). *L'emprise des marchés*. La Découverte. À l'adresse <https://shs.cairn.info/l-emprise-des-marches--9782707185389>

Carter, R. B. (1883). *Our homes and how to make them healthy*. Cassell & Company. À l'adresse <https://archive.org/details/our-homesandhowt00cartgoog>

Clark, B., Foster, J. B., & Longo, S. B. (2019). Metabolic rifts and the ecological crisis. Dans M. Vidal, T. Smith, T. Rotta, & P. Prew (Éds.), *The Oxford handbook of Karl Marx*. Oxford University Press. À l'adresse <https://johnbellamyfoster.org/wp-content/uploads/2019/11/Clark-Foster-Longo-Marx-Handbook-Chapter.pdf>

Corbin, A. (1982). *Le miasme et la jonquille : L'odorat et l'imaginaire social, XVIIIe–XIXe siècles*. Aubier. À l'adresse <https://excerpts.numilog.com/books/9782081382411.pdf>

E

Esculier, F., & Barles, S. (2019). Past and future trajectories of human excreta management systems: Paris in the nineteenth to twenty-first centuries. Dans N. Flipo, P. Labadie, & L. Lestel (Éds.), *The Seine river basin* (pp. 117–140). Springer. À l'adresse https://doi.org/10.1007/698_2_019_407

L

Le Breton, D. (2019). Odeur et affectivité : Les odeurs dans la relation. Dans B. Schaal, C. Ferdenzi, & O. Wathelet (Dir.), *Odeurs et émotions : Le nez a ses raisons* (pp. 143–159). CNRS Éditions. À l'adresse <https://books.openedition.org/editions-cnrs/46057>

M

Marx, K., & Engels, F. (1845). *The German ideology*. Foreign Languages Press. À l'adresse https://foreignlanguages.press/wp-content/uploads/2025/08/C37-The-German-Ideology-Marx-1st-Printing-FINAL_compressed.pdf

S

Schnug, E., Jacobs, F., & Stöven, K. (2018). Guano: The white gold of the seabirds. Dans *Seabirds* (pp. 79–100). IntechOpen. À l'adresse <https://doi.org/10.5772/intechopen.79501>

Shiva, V. (2026). *Régénérer ou dégénérer : La crise climatique est une crise alimentaire*. Rue de l'Échiquier.

RAPPORTS, MÉMOIRES ET THÈSES

A

Atelier parisien d'urbanisme. (2019). *Les habitations à bon marché de la ceinture de Paris : Étude historique*. APUR ; Union sociale pour l'habitat. À l'adresse <https://www.union-habitat.org/centre-de-ressources/patrimoine-maitrise-d-ouvrage/les-habitations-bon-marche-de-la-ceinture-de>

B

Barles, S., Billen, G., Esculier, F., Garnier, J., & Poux, X. (2021). *Le métabolisme de l'agglomération parisienne*. ARCEAU Île-de-France. À l'adresse https://piren-seine.fr/sites/default/files/piren_documents/fascicules/fascicule_metabolisme_territorial_v2.pdf

Besson, M., Berger, S., Descamps, É., Paul, E., & Sperandio, M. (2020). *Rapport final projet MUSES* [Rapport de recherche]. INSA Toulouse. À l'adresse https://hal.science/hal-03197389v1/file/20200611_Ra

[pport%20final%20projet%20MUSES_final.pdf">pport%20final%20projet%20MUSES_final.pdf](#)

C

Coordination Senne ASBL. (2017, juillet). *L'eau à Bruxelles, toute une histoire* (Journal de la Senne, no 21, partie 1). À l'adresse https://www.coordinationsenne.be/mailler/JournaldeLaSenne_21/eauabruelles_parti1.pdf

Cour des comptes. (2003). *La station d'épuration Nord à Bruxelles : Attribution et financement du marché de concession*. Cour des comptes. À l'adresse https://www.ccrek.be/sites/default/files/Docs/oct_2003_station_depuration_nord.pdf

E

Eme, C., & Boutin, C. (2015). *Composition des eaux usées domestiques* [Rapport]. À l'adresse https://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/composition_eu_par_source-

Esculier, F., Legrand, M., Tabuchi, J.-P., Besson, M., Brun, F., de Gouvello, B., Duperrier, C., Leconte, P., Merotto, C., Potier, S., & Schmaltz, B. (2021). *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?* ARCEAU Île-de-France. À l'adresse <https://www.leesu.fr/IMG/pdf/arceau-brochure-separation-a-la-source-2021-12-09.pdf>

Esculier, F., Le Noë, J., Barles, S., Billen, G., Créno, B., Garnier, J., Lesavre, J., & Tabuchi, J.-P. (2017). *Le système alimentation/excrétion de Paris : Oscillations passées, présentes et futures entre linéarité et circularité*. Dans *PIREN-Seine phase VII – Rapport 2017*. Programme OCAP. À l'adresse <https://www.leesu.fr/OCAP>

G

Goulas, E. (2019). *Étude de la présence des contaminants pharmaceutiques dans les urines humaines et les produits dérivés* [Note de synthèse]. AGROCAPI. À l'adresse https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2020/01/Goulas_2019_devenir-des-r%C3%A9sidus-pharmaceutiques.pdf

H

Herment, L. (2021). *Volume 2. L'émergence des filières agro-industrielles en France : Les engrais commerciaux (1860–1913)* [Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne]. HAL Archives ouvertes. À l'adresse <https://hal.science/tel-03505722/file/HDR%20VOLUME%202.pdf>

J

Jönsson, H. (2001). *Source separation of human urine:*

Efficiency of separation and effects on water emissions, crop yield, energy consumption and reliability.

Swedish University of Agricultural Sciences. À

l'adresse

<https://www.researchgate.net/publication/228502988> Source separation of human urine

- separation efficiency and effects on water emissions crop yield energy usage and reliability

Johansson, M. (2000). *Urine separation: Closing the nutrient cycle. Final report of the R&D project: Source-separated human urine — A future source of fertilizer for agriculture in the Stockholm region.*

Stockholm Vatten, Stockholmshem & HSB

National. À l'adresse

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/JOHANSSON%202000%20Urine%20Separation%20-%20Closing%20the%20Nutrient%20Cycle_0.pdf

K

Kamoun, P. (2025). *Le logement social de 1850 à nos jours : Architectures remarquables, prototypes, modes et modèles.*

Le Moniteur Éditions. À l'adresse

https://www.kheox.fr/kheox_mediatheque/6/0/9/000001906.pdf

L

Larrieu, C. (Coord.). (2023, octobre). *La France face aux neuf limites planétaires.*

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Commissariat général au développement durable, Service des données et études statistiques. À

l'adresse

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/la-france-face-aux-neuf-limites-planetaires/pdf/la-france-face-aux-neuf-limites-planetaires.pdf>

Legrand, M. (2019). *Les Français sont-ils férophobes ? Faire ses besoins, une question culturelle*. 98e Congrès de l'ASTEE « Quels enjeux pour l'eau et les déchets dans les nouvelles intercommunalités ? », Saumur, France. HAL. À l'adresse <https://enpc.hal.science/hal-03703686v1>

M

Madoui, L. (2025). *Valoriser l'urine aux champs : Un défrichage actif*. Hydroplus. À l'adresse <https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2025/05/Hydroplus.pdf>

Martin, T. (2017). *Valorisation des urines humaines comme source d'azote pour les plantes : Une expérimentation en serre* [Rapport]. HAL. À l'adresse <https://hal.science/hal-01608064v1>

Martin, T. (2020). *L'urine humaine en agriculture : Des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable* [Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay]. HAL. À l'adresse <https://theses.hal.science/tel-03350482>

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. (2022). *Engrais azotés : Fiche préparatoire à la concertation en groupe de travail – Concertation pour le pacte et la loi d'orientation et d'avenir agricole*. À l'adresse <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/133700>

O

Organisation mondiale de la Santé. (2012). *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères. Tome IV : Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture*. Organisation mondiale de la Santé. À l'adresse <https://www.dis-course.net/fileadmin/NUST->

[course/Resources/WHO-Guidelines_Vol4-fra.pdf](#)

Orgilles, C. (2020). *Le modernisme en architecture, une table rase ?* [Mémoire de master, Université de Liège]. MatheO. À l'adresse <https://hdl.handle.net/2268/29826>

P

Pavillon de l'Arsenal. (2018). *Habiter plus – Habiter mieux* [Dossier de presse]. Pavillon de l'Arsenal. À l'adresse https://www.pavillon-arsenal.com/data/expositions_fbcdd/fiche/9713/dp_expo_habiter_plus_habiter_mieux_e4546.pdf

R

Robbins, M. J. (2013). *Locating food sovereignty: Geographical and sectoral distance in the global food system* (Working Paper No. 557). International Institute of Social Studies, Erasmus University Rotterdam. À l'adresse

<https://repub.eur.nl/pub/39528/wp557.pdf>

S

Starck, T. (2024). *Towards a circular management of nitrogen and phosphorus in human excreta: Current state, global agricultural potential, and spatial constraint in France* [Thèse de doctorat, École nationale des ponts et chaussées]. HAL. À l'adresse <https://hal.science/tel-04727806/>

T

Thomson, E., & Goncalves Krebsbach, S. (2021). *Soy traders scorecard: How committed are soy traders to a conversion-free industry?* WWF & Global Canopy. À l'adresse https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2021-05/20210519_Rapport_Soy-trade-scorecard-How-commited-are-soy-traders-to-a-conversion-free-industry_WWF%26Global-

[Canopy_compressed.pdf](#)

Tordera, L. (2018). *Comment valoriser l'urine en agriculture ? Rapport final* [Rapport]. Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains. À l'adresse https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2018/11/Tordera_2018_RAPPORT-FINAL.pdf

Tower, S. W. (2012). *Regimes and resilience in the modern global food system: A socio-ecological systems approach* [Student paper, Gettysburg College]. The Cupola: Scholarship at Gettysburg College. À l'adresse https://cupola.gettysburg.edu/student_scholarship/13

V

Vandermeersch, S. (2006). *Étude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes* [Mémoire de fin d'études,

Université Libre de Bruxelles]. À l'adresse https://mem-envi.ulb.be/Memoires_en_pdf/MFE_05_06/MFE_Vandermeer_sch_05_06.pdf

W

WWF Belgique. (2021). *La demande de soja pour l'élevage en Belgique*. WWF Belgique. Consulté le 3 décembre à l'adresse <https://wwf.be/sites/default/files/2021-04/Factsheet-SOY-final-FR.pdf>

WWF Belgique. (s.d). *La Belgique, acteur central dans le commerce mondial du cacao*. WWF Belgique. Consulté le 3 décembre à l'adresse <https://wwf.be/fr/champs-action/deforestation-et-alimentation/limiter-impact-cacao-sur-la-deforestation>

ARTICLES DE PRESSE ET MÉDIAS

A

Alexandre. (2021). Le procédé Haber-Bosch : Nourrir la

Terre. *Discover the Greentech*. Consulté le 17 février 2026, à l'adresse

<https://www.discoverthegreentech.com/procede-haber-bosch-nourrir-la-terre/>

B

Bourdelaïs, P. (1991). Quand le choléra frappait l'Europe.

L'Histoire, 145. Consulté le 4 mai 2025, à l'adresse

<https://www.lhistoire.fr/quand-le-chol%C3%A9ra-frappait-leurope>

C

Cavicchi, J. (2021). Pénurie mondiale, abondance corporelle : L'urine comme engrais pourrait contribuer à résoudre la crise de l'urée.

Rich Earth Institute. Consulté le 15 janvier 2026, à l'adresse

<https://richearthinstitute.org/global-shortage-bodily-abundance-urine-fertilizer-could-help-address-urea-crisis/>

Commissariat général au développement durable.

(2025). Limites planétaires.

Notre-environnement.gouv.fr.

Consulté le 17 février 2026, à l'adresse

<https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/societe/article/limites-planetaires>

D

Demarquest, G., & Aouriri, I. (2023). Comprendre le procédé Haber-Bosch et son rôle dans la sécurité alimentaire mondiale.

Ngenesis. Consulté le 18 février 2026, à l'adresse

<https://www.ngenesis.com/comprendre-le-procede-haber-bosch-et-son-role-dans-la-securite-alimentaire-mondiale-idriss-aouriri>

Didier, C. (2022). À quoi ressemblait un logement parisien au XVII^e siècle ? *Paris ZigZag*.

Consulté le 16

décembre 2025, à l'adresse

<https://www.pariszigzag.fr/insolite/histoire-insolite-paris/a-quoi-ressemblait-un-logement-parisien-au-xvii-e-siecle>

G

Greenpeace France. (2017). Soja et déforestation. *Greenpeace France*. Consulté le 8 mai 2026, à l'adresse <https://www.greenpeace.fr/soja/>

L

La Fonderie. (2022). L'égout, une infrastructure au service de « la nature » ? *La Fonderie*. Consulté le 28 novembre 2025, à l'adresse <https://www.lafonderie.be/2022/01/29/legout-une-infrastructure-au-service-de-la-nature/>

Lavocat, L. (2025). Notre urine pollue des rivières de l'Hérault. *Reporterre*. Consulté le 30 août 2025, à l'adresse <https://reporterre.net/Quand-des-stations-d-epuration-defectueuses-polluent-les-rivieres>

Lecomte, V. (2012). Eutrophisation des milieux aquatiques. *Écotoxicologie*. Consulté le 8 mars 2025, à l'adresse

<https://ecotoxicologie.fr/eutrophisation-milieux-aquatiques>

Lecomte, V. (2020). Vers des toilettes séparatives économes en eau où l'urine peut être valorisée comme engrais. *Notre-Planete.info*. Consulté le 10 mars 2026, à l'adresse <http://www.notre-planete.info/actualites/2822-toilettes-separatives-seche-urine>

M

Meilune, E. (2024). Pénurie de phosphore : Une famine mondiale à retardement. *Mr Mondialisation*. Consulté le 14 février 2026, à l'adresse <https://mrmondialisation.org/p-enurie-de-phosphore-une-famine-mondiale-a-retardement/>

S

Salvidge, R. (2025). Millions of tonnes of toxic sewage sludge spread on UK farmland every year. *The Guardian*. Consulté le 20 décembre 2025, à

l'adresse

<https://www.theguardian.com/environment/2025/jul/07/millions-of-tonnes-of-toxic-sewage-sludge-spread-on-uk-farmland-every-year>

Salvidge, R. (2025). 'A Trojan horse': how toxic sewage sludge became a threat to the future of British farming. *The Guardian*. Consulté le 20 décembre 2025, à l'adresse <https://www.theguardian.com/environment/2025/jul/07/toxic-sewage-sludge-british-farming-pfas-chemicals>

SITES INSTITUTIONNELS ET DOCUMENTS OFFICIELS

A

Aquawal. (2014). *Comment l'eau est-elle épurée dans une STEP ?* Consulté le 27 mars 2026, à l'adresse <https://www.aquawal.be/fr/comment-l-eau-est-elle-epuree-dans-une-step.html>

B

Briand, V. (2025). Quelles sont les 9 limites planétaires ? *Muséum national d'Histoire naturelle*. Consulté le 17 février 2026, à l'adresse <https://www.mnhn.fr/fr/quelles-sont-les-9-limites-planetaires>

C

Capdepuy, V. (2023). Le Sud global, un nouvel acteur de la géopolitique mondiale ? *Géoconfluences*. Consulté le 19 février 2026, à l'adresse <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/inegalites/articles/sud-global>

F

Fondation pour la Nature et l'Homme. (2024). *L'essentiel des comptes 2024*. À l'adresse https://www.fnh.org/wp-content/uploads/2025/08/essentiel_fnh_2024.pdf

Fondation pour la Nature et l'Homme. (2024). *Rapport Agriculture mesures-miroirs*. À l'adresse <https://www.fnh.org/wp-content/uploads/2024/02/rapport-mesures-miroirs-fevrier-2024.pdf>

G

Gouvernement wallon. (2007). *Arrêté du Gouvernement wallon* (Numéro ELI : 2007/08/30/2007203235). Wallex. . Consulté le 13 mars 2026, à l'adresse <https://wallex.wallonie.be/eli/arrêté/2007/08/30/2007203235/2008/01/01>

S

Service public de Wallonie. (2024). Consommation d'engrais en agriculture. *État de l'environnement wallon*. Consulté le 6 mars 2026, à l'adresse <https://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/AGRI%205.html>

Service public de Wallonie. (2024). Taux d'équipement en stations d'épuration collectives. *État de l'environnement wallon*. Consulté le 6 mars 2026, à l'adresse <http://etat.environnement.wallonie.be>

SOURCES AUDIOVISUELLES ET NUMÉRIQUES

A

Acti-Sol. (2016). *Engrais naturel vs engrais synthétique – Conseils jardinage de Larry Hodgson* [Vidéo]. YouTube. Consulté le 14 janvier 2026, à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=tVwX_EKm9tk

G

Ginesty, J. (2024). *Des toilettes séparatives au cœur d'un projet de transformation des urines en engrais* [Vidéo]. *Concept Bain Magazine*. YouTube. Consulté le 2 février 2026, à l'adresse <https://conceptbain.fr/blog/de>

[s-toilettes-separatives-au-coeur-dun-projet-de-transformation-des-urines-en-engrais](#)

H

Hijri, M. (2012). *Phosphate: The unknown crisis in agriculture* [Vidéo]. YouTube. Consulté le 17 février 2026, à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=gL-iLzh0Sql>

R

Raguet, L. (2024). *Valoriser l'urine en agriculture, ce n'est pas un enjeu technologique ou technique, c'est un enjeu d'organisation de la société* [Épisode de podcast]. PCA-STREAM. Consulté le 18 mars 2025, à l'adresse <https://www.pca-stream.com/fr/explore/recycle-r-lurine-fertiliser-les-terres/>

SOURCES COLLABORATIVES

A

Architecture sans obstacles. (1994). *À propos de toilettes adaptées aux handicapés* (Bulletin no 22). . Consulté le 14 décembre 2025, à l'adresse https://architettura-senzaostacoli.ch/wp-content/uploads/2019/08/lb_Nr22_1993_F_Lhistoire-des-WC.pdf

W

Wikipédia. (2026). *Guano*. Dans *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Consulté le 17 février 2026, à l'adresse <https://fr.wikipedia.org/wiki/Guano>

WorldFairs. (2004). Les habitations bon marché [Message sur un forum]. *WorldFairs.info*. Consulté le 10 janvier 2026, à l'adresse <https://www.worldfairs.info/forum/viewtopic.php?t=5327-les-habitations-bon-marche>

ICONOGRAPHIES

Fig. 01 : *Revue du confort moderne : les abattants pour WC*, 1929

Source : Bibliothèque nationale de France, dép. Droit, consulté sur Gallica

Fig. 02 : *Catalogue d'annonces pour toilettes (WC) fin XIX*

Source : World History Archive. (1894). Lordprice Collection sur Alamy Banque d'Images.

Fig. 03 : Le cycle des nutriments avant l'adoption du tout-à-l'égout et recours aux engrais chimiques.

Source: Iconographie du *manuel des déjections humaines* de Joseph Jenkins, dans La Fonderie. (2022). *L'égout : une infrastructure au service de la nature*.

Fig. 04 : *Latrine collective située impasse Sainte-Ursule, Bruxelles*, 1920

Source : Photographie extraite des archives de la ville de Bruxelles, dans La Fonderie. (2022). *L'égout : une infrastructure au service de la nature*.

Fig. 05 : Cycle des nutriments circulaire avant l'adoption du tout-à-l'égout et recours aux engrais chimiques.

Source: Photographies par Victor Porcher extrait du musée de la Ville de Paris

Source: Iconographie par Bridgeman/ACI, image reproduite dans Sánchez Arreseigor, J. J. (2025). *Voici comment les toilettes sont devenues l'une de nos inventions les plus importantes*. National Geographic.

Fig. 06 : *Latrines donnant directement dans la Senne*, 1867.

Source : Ghemar Frères. (1867). *Assainissement de la Senne, Bruxelles* (Album XVII-18, folio 10). Collection iconographique, Archives de la Ville de Bruxelles.

Fig. 07 : *Habitants précisés entourant une pompe à eau actionnée par une figure de la mort désignant le choléra*.

Source : Iconographie de George Pinwell « *Le dispensaire de la mort* », dans *Fun Magazine* (Londres, 1866).

Fig. 08 : *De l'eau, de l'air, de la lumière*, affiche éducative de la collection Armand Colin C.

Source : Armand Colin. (1900). *De l'eau, de l'air, de la lumière...*, tableau 14 bis. Collection de tableaux muraux.

Fig. 09 : *Parcours des excréments : le tout-à-l'égout directement dans les eaux*

Source : La Construction Moderne. (1890). *Coupe de l'immeuble de rapport*. P,153.

Source : Photographies extrait de Parisrues.com

Source : Thomas Crapper and Company. (1902). Gravure de WC extraite du catalogue de 1902, reproduite dans SSPL/Getty Images.

Fig. 10 : *Paris à la fin du XVIII^e siècle : rive gauche de la Seine, entre le pont Notre-Dame et le pont au Change*.

Source Meryon, C. (1861). Iconographie reproduite dans Didier, C. (2022). *À quoi*

ressemblait un logement parisien au XVIIe siècle ? Paris ZigZag.

Fig. 11 : *Maisons types parisiennes du XVIe siècle.*

Source : Couperie, P., & Jurgens, M. *Le logement à Paris au XVIe et XVIIe siècles.* Iconographie reproduite dans Didier, C. (2020). *À quoi ressemblait un logement parisien au XVIIe siècle ? Paris ZigZag.*

Fig. 12 : *Vue générale de l'usine Menier et de la cité ouvrière, fin XIXe*

Fig. 12' : *Cité présentée aux Expositions universelles de 1889 et de 1900 comme modèle de « libéralité patronale ». Des maisons ouvrières sont ajoutées jusqu'en 1911. Configuration en miroir, composée d'une chambre et d'une cuisine/salle à manger. Au R+1 deux chambres. Le WC (jaune) est installé à l'extérieur (bleu), accessible par la cour.*

Source : Brochure de l'entreprise Menier pour l'Exposition universelle de Paris (1889) (AD77, 70J74), dans Ville de Noisiel. (2012). *Diagnostic et état initial de l'environnement*

Fig. 13 : *Maison type ouvrière périurbaine. Rue Chauvigny, Paris. Maison constituée d'une cuisine/salle à manger reliée à la chambre. Un grenier à fourrage. Le WC (jaune) accessible par la cour (bleu) à côté de l'écurie (vert).*

Source : Clugnet, M. (1900). *Enquête sur l'habitation à bon marché.* Iconographie reproduite dans WorldFairs.info.

Fig. 14 : *Maison ouvrière rue Tivoli, France. Maison constituée de deux chambres, une cuisine et d'un cellier. Le WC (jaune) est accessible par le jardin (bleu) placé à côté du poulailler (vert).* Source : Clugnet, M. (1900). *Enquête sur l'habitation à bon marché.* Iconographie reproduite dans WorldFairs.info.

Fig. 15 : *Entre 1735 et 1824, rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris, plan du rez-de-chaussée : d'une maison bourgeoise. Un seul cabinet d'aisance « Lieux » (jaune) accessible par la cour (bleu), mais installé à l'intérieur, adossé à l'escalier (mauve).*

Source: Vincent, J.-B. [entre 1735 et 1824]. *Plan du rez-de-chaussée d'une maison située rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris.* Alamy.

Fig. 16 : *Plan premier étage : nombreuses salles et pièces spacieuses et deux cabinets d'aisances « Lieux » (jaune), sont installés à l'intérieur. L'un contiguë à la chambre à coucher accessible par le cabinet (côté rue). L'autre, côté cour, est séparé des pièces de vie et est accessible par la garde-robe de dégagement (rouge). Tous deux adossés aux escaliers (mauve).*

Source: Vincent, J.-B. [entre 1735 et 1824]. *Plan du premier étage d'une maison située rue Le Peletier, 9e arrondissement, Paris.* Alamy.

Fig. 17 : *Affiche publicitaire pour des salles de bains luxueuses, fabriquées par les Établissements Porcher, 1899.*

Mettant en avant le carrelage facile à entretenir et l'intégration du WC dans la salle de bain. WC décrit « LE PRIMO carré », appareil fonctionnant par aspiration avec siège double abattant, ..., attendant à la cuvette, avec tirage. Le « closet » de forme carré a été créé de façon à pouvoir servir de tabouret ou siège dans la salle de bain.

Source: Porcher. (1900). *Appareils sanitaires, cabinets de toilette, hydrothérapie, salles de bains* [Catalogue commercial]. Bibliothèques spécialisées et patrimoniales de la Ville de Paris.

Fig. 18 : Maison à loyer située au 66, avenue de Wagram, Paris, 1900.

Source: Julien, F. (1900). Plan reproduit dans Eleb, M. (2000). *La mise au propre en architecture : toilette et salle de bains en France au tournant du siècle, 1880-1914.*

Fig. 19 : *Maison de rapport bourgeoise située au 8, avenue Herbillon, Saint-Mandé, 1906.*

Source: Viard. (1906). Plan reproduit dans Eleb-Vidal, M., & Debarre-Blanchard, A. (1987). *Architecture domestique et mentalités : aux sources du XXe siècle, 1880-1914* [Rapport de recherche].

Fig. 20 : *Immeuble du boulevard Bessières, Paris, 1911.* Plan de deux logements et des espaces communs.

Source: Kamoun, P. (2025). *Le logement social de 1850 à nos jours : architectures remarquables, prototypes, modes et modèles* [PDF]. Kheox — Médiathèque.

Fig. 21 : *Aperçu du niveau de confort selon le type de logement.*

Source: Office public d'Habitations à bon marché de la Ville de Paris. [avant 1945]. Photographies extraites du fonds d'archives antérieur à 1945, reproduites dans Atelier parisien d'urbanisme. (2019). *Les Habitations à bon marché de la ceinture de Paris : étude historique.*

Fig. 22 : *Porte d'Orléans, Paris, 1923.*

Image issue du concours portant sur quatre portes : Champerret, Ménilmontant, Porte de Montrouge et Porte d'Orléans. Panneaux d'affichage pour la mise en location de HBM, groupe de la Porte de Montrouge, Paris Habitat, 1933.

Source: Doisneau, R. (1936). Iconographie reproduite dans Baziller, L. [date à vérifier]. *Le chantier de l'entre-deux-guerres. Les Fortifs.*

Fig. 23 : *Coupe de maison salubre : W.-C. et cuisine, 1902.* Musée d'Hygiène de la Ville de Paris.

Source: Coupe de Jacques Boyer/Roger-Viollet, (1902), dans Pavillon de l'Arsenal. (2018). *Habiter plus habiter mieux : Dossier de presse*

Fig. 24 : *Plan type appartements HBMO*

Source: Iconographie par Paris Habitat reproduite dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

Fig. 25 : *HBMO : W.-C. avec trémie.*
Après 1929, une douche est ajoutée dans le renforcement de la cuisine, sur environ 1 m². Cette transformation entraîne la création de deux baies superposées en façade, correspondant aux ventilations séparées du W.-C. et de la douche.

Source: Iconographie par Paris Habitat reproduite dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

Fig. 26 : *Plan type appartements HBMA*

Source: Iconographie par Paris Habitat reproduite dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

Fig. 27 : *Plan et coupe des pièces humides et bloc sanitaire du type appartements ILM.*

Source: Iconographie par Paris Habitat reproduite dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

Fig. 28 : *Plan type appartements ILM*

Source: Iconographie par Paris Habitat reproduite dans Atelier Parisien d'Urbanisme. (2019). *Les Habitations à Bon Marché de la ceinture de Paris : étude historique*.

Fig. 29 : Barre de logements de la cité des 4000, La Courmeuve, années 1960.
Source: Archives municipales de La Courmeuve. (1961). Plan et photographie extraits des archives municipales de La Courmeuve.

Fig. 30 : *Organisation du bloc sanitaire dans les logements de la cité de Droixhe, Belgique.* Ce schéma d'organisation se retrouve dans cet exemple belge de la cité de Droixhe. Comme dans de nombreux logements collectifs de cette période, les toilettes sont placées à proximité de la salle de bain afin de regrouper les installations techniques et les réseaux d'évacuation. Elles sont également situées à l'écart des pièces de vie principales. Leur position dans un espace de circulation permet de limiter les nuisances liées aux bruits et aux odeurs, tout en maintenant une séparation claire entre les fonctions domestiques et les espaces de vie du logement.

Source: Cellule architecture de la Fédération Wallonie-Bruxelles. *Logements de la cité de Droixhe.* Guides.archi.

Fig. 31 : *Extrait d'une directive urbanistique de la Ville de Liège, 2023.* Ce document, toujours en vigueur,

illustre la manière dont les règlements relatifs au logement organisent l'espace sanitaire, tout en excluant la question du devenir des excréta hors du logement.
Source: Ville de Liège. (2023). *Directives d'analyse des demandes de permis d'urbanisme*, chap. 2, p. 5, « Programme et qualité des logements ».

Fig. 32 : *Photographie et plan des 97 nouveaux logements sociaux de la cité des 4000, La Courneuve, 2009.*
Source: Abbadie, H. [photographie], reproduite dans Scoffier, R. (2010). *Loi de la pesanteur : Cité des 4000, La Courneuve. D'Architectures*, 188, février. Plan du projet : Atelier Germe & JAM.

Fig. 33 : *Logements sociaux à Saint-Denis, France, 2025. Projet du bureau d'architecture Dream.archi.*
Source: Weiner, C. [photographies], Dream.archi ; plan du projet : Dream.archi.

Fig. 34 : *Le cycle des nutriments rompu par l'adoption du tout-à-l'égout.* L'adoption du tout-à-l'égout entraîne le recours aux engrais chimiques et a pour corollaire la pollution des cours d'eau.
Sources : Jenkins, J. C. *Manuel des déjections humaines*. Iconographie reproduite dans La Fonderie. (2022). *L'égout : une infrastructure au service de la nature*.

Fig. 35 : *Parcours des excréments : du tout-à-l'égout à la station d'épuration.*

Source : Vais, M. Iconographie publiée sur Dreamstime.com.
Source : Ère Graphique. Iconographie publiée sur Shutterstock.com.

Fig. 36 : *Fonctionnement d'une station d'épuration*
Source : Iconographie par métiers ingénieur généraliste, sur mig.minesparis.eu (Université PSL)

Fig. 37 : *Origine mondialisée des ressources alimentaires et agricoles d'un repas type.* Bœuf belge nourri au soja brésilien lié à la déforestation ; frites issues de pommes de terre belges cultivées avec du phosphate provenant notamment du Maroc ou de Russie ; cuisson dans une huile contenant de l'huile de palme d'Indonésie ; salade et tomates d'Espagne nourries par des engrais chimiques importés ; huile d'olive et yaourt d'origine espagnole ou italienne.

Sources : Statista. (2025). Le Brésil, premier producteur de soja au monde ; Statista. (2021). Part de la déforestation tropicale imputable à l'importation et à la consommation de matières premières par l'Union européenne (UE) ; OpenFoodFacts. Huile pour friture [Fiche produit] ; (Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Souveraineté alimentaire, 2024) ; Husson, S. (2012). La production de tomates, une industrie de haute technologie ; Statista. (2022). Huile de palme : « l'or rouge » de l'Indonésie. Statista.

Fig. 38 : *Planisphère des principaux partenaires commerciaux de l'Union européenne pour les engrais chimiques en 2021.* Les importations proviennent principalement de Russie, d'Égypte, du Maroc, de Biélorussie et d'Algérie. Environ un tiers de la production européenne est destiné à l'exportation. En 2021, l'Union européenne réalisait 9 % de la production mondiale d'engrais azotés. Cette industrie reste fragile, car elle dépend du gaz naturel, importé à 80 %, utilisé pour la production.

Sources : Fertilizers Europe/Eurostat. Iconographie reproduite dans Martinez, M. (2024). *Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières de l'Union européenne : enjeux et perspectives pour le secteur agricole* (Analyse n° 207). Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire.

Fig. 39 : *Les limites planétaires en 2023.* Au centre figure l'espace de fonctionnement sécurisé pour la vie humaine. Chaque colonne montre la valeur du dépassement.

Source : Stockholm Resilience Centre, Université de Stockholm

Fig. 40: *Population mondiale soutenue par les engrais azotés.* Un peu plus de la moitié de la population mondiale pourrait être nourrie sans engrais azotés synthétiques issus du procédé Haber-Bosch.

Source : graphique extrait de OurWorldData avec les données de Erisman et al.

(2008); Smil (2002); Stewart (2005)

Fig. 41 : *Évolution de la production d'azote réactif selon son origine et de la population mondiale depuis le milieu du XIXe siècle.* La flèche bleue indique le début du procédé Haber-Bosch. Source : Graphique adapté de Galloway, Aber et al. (2003), reproduit dans Peyraud et al. (2012). *Les flux d'azote liés aux élevages : réduire les pertes, rétablir les équilibres.*

Fig. 42: *Exploitation du guano aux îles Chincha, Pérou, 1868.*

Source : Neuville, A. de. (1868). Dessin d'après photographie, reproduit dans Simoni, M. L. (1868). *Les îles Chincha. Le Tour du monde*, 18, p. 164.

Fig. 43: *Reportage photographique sur l'exploitation du guano au Pérou, 2014.* Source : Gomez Rovira, R. (2014). *Les forçats du guano au Pérou* [Photographie].

Fig. 44: *Publicité pour les engrais superphosphates de la Compagnie bordelaise, France, 1910.*

Source : Compagnie bordelaise. (1910). *Engrais superphosphates* [Affiche publicitaire].

Fig. 45: *Mine de phosphore aux États-Unis, 2009.* Grue géante visible en bas à droite.

Source : Arthus-Bertrand, Y. [photographie], reproduite dans Gilbert, N. (2009). *Environment: The*

disappearing nutrient. Nature, 461, 716–718.

Fig 46: *Évolution de la production mondiale de phosphates minéraux, en millions de tonnes de P par an, depuis 1900, et perspectives d'évolution.*

Source: Cordell, D., Drangert, J.-O., & White, S. (2009). *The story of phosphorus: Global food security and food for thought*.

Fig. 47 : *Composition des eaux usées domestiques : urines, matières fécales, papier toilette et eaux ménagères. DCO : indicateur de la matière organique ; E. coli : bactérie indicatrice fécale, ou BIF.*
Source : Esculier, F. (2021). *Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France ?*

Fig. 48 : *Bilan azote et phosphore de l'assainissement en France, période 2015-2020.*

Source : Starck, T., & Esculier, F. (2024). *Bilan azote et phosphore du devenir des excréments des Français*.

Fig. 49: *Représentation schématique des différentes voies possibles de contamination humaine aux PFAS en fonction de leur production et de leur utilisation. Rouge : sources de contamination directe ; bleu : sources de contamination indirecte via une pollution environnementale, sol ou eau ; violet : voies d'exposition humaine.*

Source : Gaillard et al. (2024). Image réalisée avec le logiciel BioRender.

Fig. 50: *Lit de la rivière du Doubs eutrophisé et à l'agonie, août 2021, à Montbenoît, malgré un début d'été humide.*

Source : Nemery, J. [photographie], reproduite dans *Météo Franc-Comtoise*.

Fig. 51: *Impact local des rejets de stations d'épuration sur les nappes phréatiques en Wallonie. Cette carte montre que les nitrates issus des excréments humains non recyclés contribuent à la pollution des masses d'eau.*

Modèle EPICgrid(a), SPW ARNE — DEE, maille de 1 km².

Zones dont les sols contribuent à l'apport d'azote vers des masses d'eau déjà impactées ou à risque.

Source : SPW ARNE — DEE. Modèle EPICgrid, reproduit dans Service public de Wallonie. *État de l'environnement wallon — Sols 4 : évolution de l'artificialisation*.

Fig. 52 : *Taux de recyclage de l'azote des urines et matières fécales de l'agglomération parisienne depuis le milieu du XIXe siècle, et projection selon trois scénarios à l'horizon 2050. Les scénarios étudiés sont : 1) un scénario linéaire avec incinération ; 2) un scénario avec concentration des digestats ; 3) un scénario combinant concentration des*

digestats et séparation à la source avec collecte des urines.

Source : Esculier, F., & Barles, S. (2019). *Past and future trajectories of human excreta management systems: Paris in the nineteenth to twenty-first centuries*.

Fig. 53 : *Boucle circulaire des nutriments permise par le système de toilettes à séparation à la source proposé par OCAPi.*

Source: iconographie par OCAPi : Programme recherche-action sur alimentation/excrétion et la gestion des urines et matières fécales humaines.

Fig. 54 : *alternatives au tout-à-l'égout : le système de séparation de l'urine.*

Source : Iconographie par l'Institut Paris Region reproduite dans Esculier, F. (2021). Quel intérêt pour la séparation à la source dans la gestion des eaux usées domestiques en France

Fig. 55 : *Axonométrie du projet Saint-Vincent-de-Paul.*

Source : Berg, D. (2019). Iconographie reproduite dans *Le projet dessiné : blog du projet Saint-Vincent-de-Paul*.

Fig. 56 : *Colonne de nitrification et évaporateur.* Les bactéries présentes dans une colonne aérée stabilisent l'urine avant que le liquide ne s'évapore dans un distillateur.

Source : Ginesty, J. (2024). *Des toilettes séparatives au cœur d'un projet de*

transformation des urines en engrais.
Concept Bain Magazine.

Fig. 57 : *Fiche technique d'une toilette à séparation en Suède, modèle Dubbletten.*

Source : Af Petersens, E., Johansson, M., & Andersson, J. (2000). *Market survey: Extremely low flush toilets plus urine-diverting toilets and urinals, for collection of black water and/or urine.*

Graphique 58 : *Équivalent engrais minéral, ou MFE, des urino-fertilisants.* Cette figure démontre l'efficacité agronomique des urino-fertilisants et confirme les résultats suédois de Bornsjö, avec un rendement de 80 à 90 %.

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

Fig. 59 : *Flux d'azote et de phosphore du système alimentation-excrétion, par personne et par an.*

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

Fig. 60 *État de l'environnement wallon : sources des flux d'azote et données associées.*

Sources : SPW ARNE — DEMNA ; Statbel, Office belge de statistique ; Confédération belge du cheval ; SPW ARNE — DEE, modèle EPICgrid.

Source de l'iconographie : Service public
de Wallonie. (2024). *État de
l'environnement wallon*.