



ENVIRONNEMENT

Juillet 2020 • www.institutparisregion.fr

VALORISER L'AZOTE ET LE PHOSPHORE DES URINES POUR UNE MEILLEURE SÉCURITÉ ÉCOLOGIQUE ET ALIMENTAIRE

29 millions

NOMBRE DE BAGUETTES DE PAIN QUI POURRAIENT ÊTRE PRODUITES QUOTIDIENNEMENT AVEC L'AIDE DE LA FERTILISATION DU BLÉ PAR L'URINE DES 12,1 MILLIONS DE FRANCIENS, SOIT PRÈS DE DIX FOIS LA CONSOMMATION QUOTIDIENNE

703 tonnes

QUANTITÉ D'AZOTE CONTENUE DANS LES ENGRAIS INDUSTRIELS SYNTHÉTIQUES UTILISÉE CHAQUE JOUR POUR NOURRIR LES FRANCIENS (CETTE VALEUR PREND AUSSI EN COMPTE LES IMPORTATIONS)

L'AZOTE ET LE PHOSPHORE, NÉCESSAIRES À L'AGRICULTURE, DÉPENDENT AUJOURD'HUI DE FAÇON ALARMANTE DE RESSOURCES FOSSILES MASSIVEMENT IMPORTÉES. OUTRE LES IMPACTS SUR LES MILIEUX AQUATIQUES ET LE CLIMAT, C'EST UNE MENACE ÉNORME ET MÉCONNUE QUI PÈSE SUR LA PÉRENNITÉ DE NOTRE ALIMENTATION. LA COLLECTE SÉPARÉE DES URINES POUR LES RECYCLER EN ENGRAIS EST SUSCEPTIBLE DE RÉPONDRE À CES ENJEUX, À CONDITION D'UNE (R)ÉVOLUTION DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES ET D'ASSAINISSEMENT, SANS NÉGLIGER L'ACCEPTABILITÉ SOCIÉTALE. CETTE PERSPECTIVE IMPLIQUE DE REDESSINER L'ASSAINISSEMENT URBAIN ET SON LIEN AU RURAL. À TRAVERS LE MONDE, EN FRANCE, ET DÉSORMAIS EN ÎLE-DE-FRANCE, DES ACTEURS S'ENGAGENT DANS CETTE VOIE.

Le dépassement avéré ou en cours de limites planétaires telles que l'effondrement de la biodiversité, l'artificialisation des sols ou le changement climatique, occupe une place prégnante dans les préoccupations sur l'avenir de nos sociétés. Les mécanismes qui ont permis jusqu'alors la croissance de la population et du pouvoir d'achat dans les pays développés et émergents semblent atteindre nombre de limites¹. Dans la quête de ressources renouvelables, l'azote et le phosphore, composants essentiels du métabolisme humain, passent sous les radars. La pénurie prévisible de ces ressources semble occultée, auprès du grand public et des décideurs politiques, par d'autres sujets d'économie circulaire et de sobriété (énergie, matériaux de construction...) pour lesquels les solutions imaginées semblent moins taboues que la valorisation en engrais des excréta (cf. lexique) humains. Cependant, la stratégie d'adaptation au changement climatique du bassin Seine-Normandie² et le plan régional d'actions en faveur de l'économie circulaire (Praec), intégré au plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD) francilien, mentionnent explicitement ce sujet³. Il semble donc opportun d'interroger de façon responsable les enjeux, atouts et blocages, réels ou fictifs, qui accompagnent cette perspective en Île-de-France.



1

Eawag



2

Eawag

En couverture

Après traitement, l'urine peut être épanchée pour servir de fertilisant naturel pour les cultures.

L'efficacité de cette fertilisation est similaire à celle des engrais de synthèse azotés, sous réserve d'un épandage limitant les pertes par volatilisation ammoniacale. L'utilisation de pendillards, par exemple, permet de prévenir cette volatilisation en épousant la surface du sol lors de l'application.

1. Le Nest du campus Empa/Eawag.
2. Le réacteur de fabrication de l'Aurin.

LE SYSTÈME ALIMENTATION-EXCRÉTION ACTUEL EST LINÉAIRE, GASPILLEUR ET POLLUANT

La majeure partie de nos concitoyens ignore que la production des aliments conventionnels recourt aux engrais azotés synthétisés industriellement par le procédé Haber-Bosch, ou du moins ne fait pas de rapprochement entre ce procédé et sa dépendance en produit pétrolier. Pour nourrir les Franciliens, plus de la moitié des apports azotés proviennent d'engrais de synthèse (cf. schéma central). Leur fabrication, consommatrice de gaz naturel fossile, est énergivore et fortement émissive de gaz à effet de serre. Quant au phosphore et à la majorité des autres nutriments, ils sont extraits de mines fossiles, principalement situées à l'étranger. Comme les combustibles fossiles et en l'absence de changement de pratique, cette ressource connaîtra, potentiellement dans un futur proche, un pic de production mondiale avant son épuisement⁴.

Le long de la chaîne de production et de distribution des produits alimentaires, le rejet de grandes quantités d'azote et de phosphore participe à l'eutrophisation (cf. lexique) des milieux aquatiques, à rendre l'eau impropre à de nombreux usages (dont sa consommation) et à polluer l'atmosphère (azote ammoniacal, protoxyde d'azote, etc.).

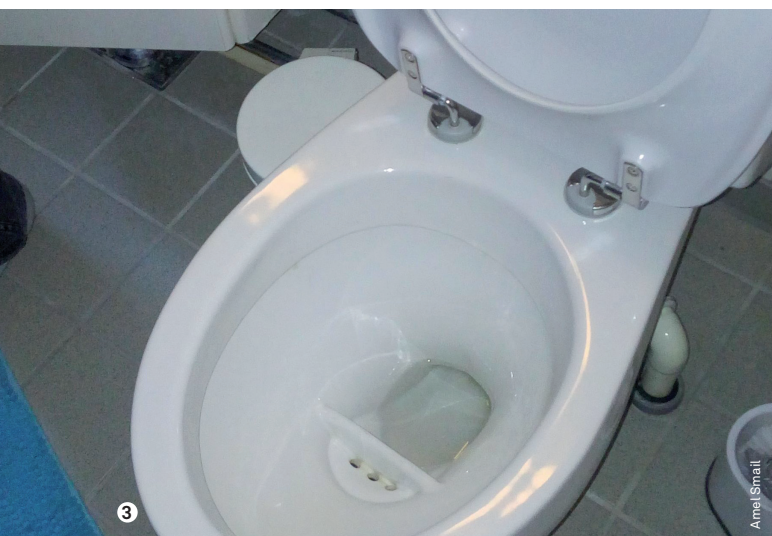
La généralisation du tout-à-l'égout, concomitante au développement exponentiel de l'urbanisation au XX^e siècle, a massivement orienté la gestion des excreta humains vers des systèmes linéaires, générateurs d'impacts environnementaux. Notre système d'assainissement, fondé sur le triptyque « toilettes à chasse d'eau – tout-à-l'égout – station d'épuration », produit, chaque jour par habitant, quelque 150 litres d'eaux usées domestiques composées d'urines et de matières fécales diluées dans environ 30 litres de chasses d'eau et mélangées aux eaux usées ménagères.

L'exigence de protection des milieux aquatiques a entraîné la construction de stations d'épuration pour extraire ou détruire certains composants des eaux usées avant leur retour au milieu naturel : matière organique, azote, phosphore, germes et bactéries, etc. Néanmoins, les solutions mises en œuvre sont coûteuses en équipements, en réactifs

chimiques et en énergie, sans compter les rejets de protoxyde d'azote (gaz à effet de serre) et leur efficacité partielle à protéger les milieux aquatiques. En Île-de-France, malgré les traitements et le classement, depuis 2005, de toute la région en zone sensible à l'eutrophisation (cf. lexique) pour exiger des performances d'abattement de l'azote et du phosphore en stations d'épuration, un tiers de l'azote est encore rejeté dans la Seine, soit l'équivalent des rejets de quatre millions d'habitants (cf. schéma central). Les seuils de qualité de l'eau dans le secteur aval de Paris sont d'ailleurs dépassés. Le changement climatique et la baisse consécutive du débit de la Seine, combinés aux projections d'augmentation de la population, provoquent un effet ciseau : davantage d'effluents à traiter et moins d'eau pour les diluer. La dégradation de l'état écologique de la Seine sera alors inévitable à moyen terme, sauf à amplifier les traitements dont les coûts seraient disproportionnés et avec des effets secondaires environnementaux.

Le système d'assainissement actuel rend par ailleurs complexes la récupération et la valorisation des composants (nutriments, matière organique, eau...) des différents flux. Aujourd'hui, en Île-de-France, seulement 4 % de l'azote et 41 % du phosphore des excreta humains font l'objet d'une valorisation agricole, à travers les boues d'épuration épanchées ou compostées, avec des réticences en hausse. Ce taux est nul pour les villes qui incinèrent leurs boues.

Cet état de fait est le fruit d'un long processus historique de dévalorisation de nos déjections et d'un découplage des villes et campagnes au détriment de la circularité. Ce ne fut pas toujours le cas : au début du XX^e siècle, les taux de recyclage agricole de l'azote et du phosphore des excreta humains de l'agglomération parisienne étaient respectivement de 50 % et 70 %. Néanmoins, le mélange des excreta humains aux autres eaux usées, domestiques, pluviales et industrielles, avait fini par entraîner une contamination chimique persistante (industries) et temporairement biologique (fèces) des champs d'épandage.



3. Les toilettes séparatives Wostman, utilisées dans l'opération agenda 21 du quartier Hyldebjerg at Danemark.

4. Urinoir féminin « Marcelle » permettant actuellement une récupération aux Grands-Voisins (Paris 14).



LA SÉPARATION À LA SOURCE : UN PARADIGME PROMETTEUR, MOINS POLLUANT ET HYGIÉNIQUE

La séparation à la source est une approche alternative de l'assainissement qui consiste à collecter de façon séparée différents flux (urines, matières fécales et/ou eaux ménagères) pour faciliter leur traitement et leur valorisation. Cette pratique peut permettre le recyclage des nutriments dont la majorité, ingérés puis excrétés par le corps humain, se concentre dans l'urine : 85 % pour l'azote et 65 % pour le phosphore. Contrairement aux matières fécales, l'urine présente un risque très faible de transmission d'agents pathogènes, facilement maîtrisable, et offre des possibilités de filtration des résidus pharmaceutiques. La collecte se fait à partir d'urinoirs secs ou de toilettes séparatives, sans ou avec très peu d'eau. Des traitements peuvent être envisagés, allant du simple stockage pour une utilisation locale à une transformation, voire une purification industrielle plus complexe, afin d'aboutir à différents produits et filières de valorisation, par exemple un engrais sec et désodorisé commercialisable.

La collecte séparée de l'urine répond à des enjeux multiples. Sur le plan de l'assainissement, elle permet des économies d'eau, d'énergie et de réactifs, et favorise la protection des milieux, notamment aquatiques. Du point de vue agricole, sa valorisation limite le recours aux autres engrais, épargne des ressources fossiles, et réduit l'empreinte énergétique et environnementale associée. De plus, une telle économie circulaire des nutriments contribuerait à recréer des liens et une réciprocity entre villes et campagnes : la ville engrais, la campagne nourricière.

DES EXEMPLES D'EXPÉRIMENTATIONS DE COLLECTE ET DE VALORISATION

Depuis les années 1990, des projets de séparation à la source des excréta ont été réalisés en Europe de l'Ouest, principalement en Scandinavie et dans les pays germanophones. De son côté, la France est longtemps restée à l'écart de ce mouvement, se limitant à des initiatives à l'échelle du foyer,

principalement en milieu rural, dans des sites isolés ou dans le domaine de l'événementiel (pour des festivals, par exemple). Depuis quelques années, une dynamique nouvelle émerge. Des projets de recherche et des réalisations concrètes voient le jour, notamment en milieu urbain et en Île-de-France.

En Suède, l'expérience de la collecte séparative dans les écovillages

La Suède est pionnière en Europe pour la séparation à la source de l'urine, avec une mise en œuvre dans plusieurs écovillages et écoquartiers dès les années 1990. Par exemple, à Understenshögden, premier écovillage de Stockholm, 44 maisons sont équipées de toilettes séparatives. Les urines, collectées via un réseau séparé, sont drainées vers un lieu de stockage en citernes, puis épandues sur les champs voisins par un agriculteur.

En Suisse, les urines d'un centre de recherche servent à produire un engrais concentré

Sur le campus Empa/Eawag, à Dübendorf, un bâtiment à vocation administrative et scientifique, en fonction depuis 2006, est équipé d'urinoirs secs et de toilettes séparatives. L'urine est traitée sur place selon un procédé qui permet de concentrer les nutriments et de réduire drastiquement d'éventuels résidus médicamenteux à l'aide de filtres. Après une phase d'expérimentation en 2015-2018, l'Aurin est le premier engrais au monde à base d'urine concentrée à être homologué. Quelque 1 000 litres d'urine permettent, d'après l'Eawag (l'Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau), de produire 100 litres d'engrais liquide concentré. Il est désormais commercialisé par l'entreprise Vuna.

En France, des projets de plus en plus nombreux

Plusieurs initiatives pionnières de séparation à la source de l'urine en bâtiments collectifs ont vu le jour depuis une dizaine d'années dans l'Hexagone. Elles concernent divers types de lieux, comme une école primaire à Saint-Germé, dans le Gers, première école publique en France à être équipée de toilettes sèches séparatives et d'urinoirs secs

depuis 2012. À Dol-de-Bretagne, en Ille-et-Vilaine, un habitat collectif, en accession libre et sociale, est en cours de construction.

En Île-de-France, des projets pilotes émergent également depuis peu. À Achères, le Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (Siaap) a ainsi doté l'un de ses bâtiments d'urinoirs secs. Le siège de l'Agence spatiale européenne, à Paris, devrait prochainement être équipé de toilettes séparatives. Le projet d'écoquartier sur le site de Saint-Vincent-de-Paul, dans le 14^e arrondissement, porté par Paris & Métropole Aménagement, prévoit également la mise en place d'une filière de récupération à l'échelle du quartier et le met déjà en œuvre sur les toilettes publiques du site.

Ces démarches poussent les opérateurs immobiliers à intégrer la collecte séparative des urines dans leurs projets.

LES ATOUTS D'UNE TRANSITION : UN GISEMENT FRANCILIEN IMPORTANT

Densément peuplée, l'agglomération parisienne représente un gisement important d'urines dont la collecte et la valorisation agricole pourraient contribuer à la transition écologique de ce territoire. Dans un scénario prospectif, une évolution conjointe des pratiques agricoles et des régimes alimentaires, et l'utilisation de matières fertilisantes issues des urines augure la possibilité de se passer totalement d'engrais chimiques azotés pour l'alimentation de l'agglomération parisienne d'ici 2050 [Esculier, 2018]. Cette collecte et cette valorisation pourraient éviter l'émission, en Île-de-France, d'environ 500 000 tonnes d'équivalent CO₂ par an (stations d'épuration et production d'engrais de synthèse), soit près de 1 % des émissions totales franciliennes.

Voie prometteuse, l'implantation à grande échelle de la séparation à la source soulève toutefois divers enjeux : technico-économiques, culturels, d'adaptation aux différentes configurations urbaines, d'évolution et de création de nouvelles filières pour la collecte, de gestion et de valorisation agricole de l'azote récupéré... Lancé en 2014, le programme de recherche-action Ocap (optimisation des cycles carbone, azote et phosphore en ville) vise à étudier ces enjeux et à identifier les verrous et leviers de transition socio-écologique des systèmes alimentation/excrétion urbains actuels. Son objectif est également d'accompagner les acteurs dans la mise en place de projets de séparation à la source à l'échelle francilienne.

Dans le cadre du programme « Eau et Climat 2019-2024 », l'Agence de l'eau Seine-Normandie subventionne désormais jusqu'à 80 % les projets collectifs de séparation à la source de l'urine, ce qui devrait constituer un effet de levier sur le plan économique.

PAR OÙ COMMENCER ? UN CONTEXTE PROPICE, DES CIBLES PRIORITAIRES

L'Île-de-France est la région française la plus dynamique en matière de développement urbain. Or, c'est dans les nouveaux programmes immobiliers que les techniques de séparation à la source des urines et matières fécales peuvent se développer plus aisément. La production des espaces urbains se réalise principalement sous deux formes : par extension, avec la création de nouveaux services et réseaux, dont l'assainissement, qui peut alors être plus facilement adapté ; par renouvellement, avec ou sans changement d'usage des parcelles, s'accompagnant souvent d'une densification de la ville, qui nécessite de faire évoluer les réseaux existants.

Depuis le début des années 2000, on construit en Île-de-France en moyenne près de 30 000 logements collectifs et 9 000 logements individuels chaque année⁵. Cette dynamique tend à s'accroître, notamment au travers des objectifs du Sdrif adopté en 2013 et de la mise en œuvre du Grand Paris Express, etc. Les constructions neuves se concentrent à plus de 80 % dans l'unité urbaine de Paris, en grande partie sous forme d'habitat collectif (plus de 70 % des logements construits). De son côté, l'immobilier de bureau apporte également des potentialités pour développer les techniques de séparation à la source des excréta. Chaque année, en neuf ou en renouvellement, ce sont en moyenne plus de 600 000 m²/an de bureaux qui sont créés en Île-de-France⁶ depuis les années 2000, avec un certain ralentissement plus récemment (300 à 400 000 m²/an) [Roger, 2017]. Lieu privilégié pour le développement d'innovations, l'immobilier de bureau est désigné comme une cible de première importance.

La gestion alternative des excréta humains est aussi intéressante dans des lieux emblématiques accueillant du public (salles de spectacle, gares, etc.), et dont la fréquentation et la visibilité sont des atouts pour sensibiliser décideurs et citoyens et diffuser de tels procédés innovants. Les établissements d'enseignement sont notamment une cible prioritaire, avec leurs 2 400 000 élèves scolarisés et près de 790 000 étudiants ou apprentis en 2018⁷. La récente dynamique autour des « tiers lieux » (plus de 600 aujourd'hui, 1 000 projetés en 2021) interpelle également les porteurs de projet. Leur vocation à être des espaces d'innovations sociales et environnementales [Camors & Blein, 2017] permet d'envisager des expérimentations de techniques de séparation à la source des excréta des télétravailleurs et usagers de ces espaces.

Le parc immobilier ancien peut aussi participer à une meilleure gestion du cycle de l'azote. Le cas de l'Île-de-France, avec ses 5,6 millions de logements, dont 4 millions sont collectifs (Insee, RP 2015), est emblématique de l'importance d'envisager la séparation à la source dans les tissus urbains existants. De surcroît, plus de la moitié des logements ont été construits avant les années 1970, et nécessiteront des rénovations et réhabilitations afin de contribuer à la transition énergétique. Il s'agit

DE L'IMPORTANCE DE FAIRE ÉVOLUER L'ENSEMBLE DU PARC

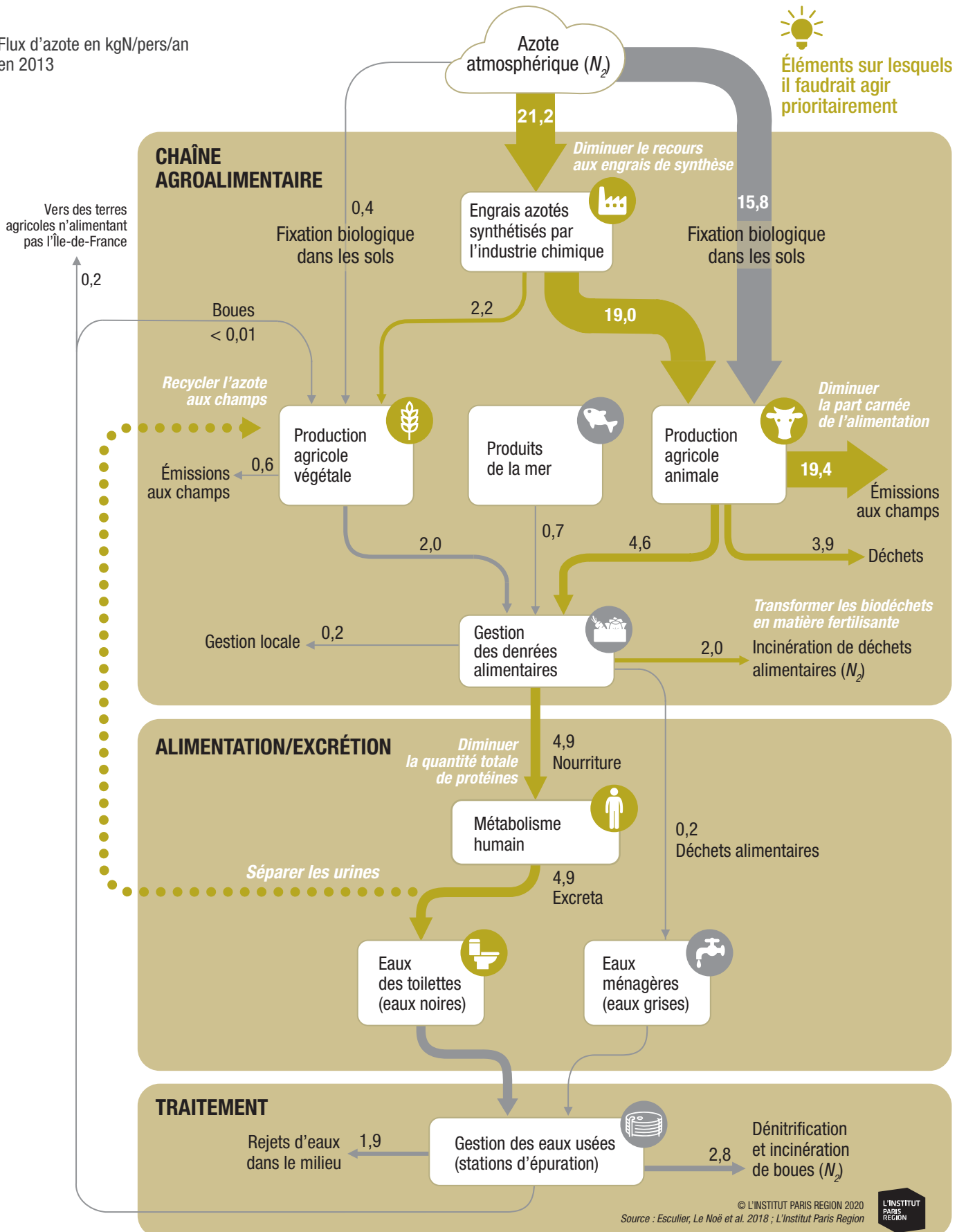
La question du rythme du changement est importante. Si 3 % du stock de logements faisaient l'objet d'une séparation des urines à la source chaque année, près d'un tiers du parc serait ainsi équipé à l'horizon 2030.

En revanche, le parc immobilier ancien n'est renouvelé depuis 2008, qu'à 1 % par an pour l'habitat individuel et 3 % pour l'habitat collectif. Se reposer sur l'équipement des constructions neuves ne permettrait d'atteindre que 13 % du parc en 2030, en tenant compte de l'hypothèse de production de 70 000 logements par an. Cet ordre de grandeur est à rapprocher des 15 années qui ont permis la mutation de la moitié des toilettes vers le système du tout-à-l'égout entre les années 1895 et 1910 à Paris.

La nécessité d'engager une transition écologique rapide implique donc de travailler à la fois sur le neuf et les bâtiments existants.

LES FLUX D'AZOTE EN ÎLE-DE-FRANCE : UN GRAND POTENTIEL DE CIRCULARISATION

Flux d'azote en kgN/pers/an en 2013



là d'une opportunité pour y déployer des techniques alternatives de séparation des flux. Le parc de bureaux, avec plus de 54 000 000 m², est également concerné par des enjeux de rénovation et transformation.

VERS UN DÉPLOIEMENT SOUTENU DE LA SÉPARATION DES URINES ?

Passer d'un ancien modèle d'assainissement hérité de l'hygiénisme à un modèle faisant la synthèse entre les avancées sanitaires et un système circulaire et écologiquement responsable nécessitera de mobiliser acteurs publics et privés, au plus près de la construction, de la rénovation et de la réhabilitation des bâtiments. Les initiatives présentées dans cette note en témoignent : les solutions adaptées aux différentes formes urbaines existent.

Du point de vue agronomique, un essai d'épandage sur une parcelle de blé panifiable du plateau de Saclay, mené en 2019 par le programme Ocap et l'INRAE, a montré un potentiel fertilisant similaire entre les engrais naturels à base d'urine et les engrais de synthèse.

Véritable changement de paradigme, la chaîne de valorisation des nutriments extraits des urines revêt donc de multiples bénéfices, susceptibles d'atténuer une crise mondiale des engrais synthétiques et, par enchaînement, une crise alimentaire. Principalement extra-européenne, leur production, pétro-dépendante pour l'azote, minière pour le phosphate, ne peut plus être prolongée ainsi. Il s'agit également de réduire la consommation d'eau, l'eutrophisation des milieux aquatiques, et les implications financières et environnementales des procédés d'assainissement. Alors que l'adaptation aux changements climatiques occupe une place croissante dans les politiques publiques, la valorisation de l'azote et du phosphore des urines apparaît comme une voie prometteuse pour contribuer aux engagements de la France d'atteindre l'objectif « zéro émission nette » d'ici 2050. ■

Manuel Pruvost-Bouvattier, ingénieur agronome, chargé d'études eau et milieux naturels, et **Martial Vialleix**, chargé d'études écologie urbaine, doctorant, département Environnement (*Christian Thibault, directeur*)
Aurélie Joveniaux, chargée de recherche, programme Ocap au Leesu,
 et **Fabien Esculier**, chercheur coordonnateur du programme de recherche-action Ocap au Leesu, École des Ponts ParisTech (ENPC)

LEXIQUE

Eutrophisation : accumulation de nutriments qui déséquilibre un milieu naturel. L'eutrophisation aquatique favorise une prolifération excessive d'algues et de végétaux qui conduit, lors de leur décomposition, à une consommation massive d'oxygène, et à l'asphyxie du milieu et de ses organismes vivants.

Excreta : substances rejetées hors de l'organisme, qui résultent principalement de la nutrition et du métabolisme (féces, urines, sueur, matière sébacée, gaz carbonique, etc.).

Nutriments : ensemble des éléments nutritifs organiques ou minéraux nécessaires à l'organisme vivant pour entretenir la vie.

Programme Ocap : programme de recherche-action sur les systèmes alimentation/excrétion urbains et sur la séparation à la source des eaux usées.

1. Parmi les limites majeures, outre le sevrage volontaire du pétrole, nécessaire pour limiter le réchauffement climatique, l'Union européenne risque de subir des contraintes fortes sur les approvisionnements pétroliers d'ici à 2030, d'après l'analyse prospective prudentielle du think tank The Shift project publiée en juin 2020.
2. La stratégie adoptée par le Comité de bassin Seine-Normandie à l'unanimité le 8 décembre 2016 mentionne « développer des solutions alternatives en matière d'assainissement écologique, comme la gestion séparative des urines ou les toilettes sèches ».
3. Le plan régional économie circulaire intégré au plan régional de prévention et de gestion des déchets mentionne « l'enjeu d'amélioration de la connaissance des cycles franciliens de l'azote et du phosphore, et rechercher des solutions pertinentes ».
4. Le phosphore est classé, depuis 2014, comme matériau critique pour l'approvisionnement de l'Union européenne.
5. Sources : logements commencés recensés dans la base Sitaldel produite par le Service de la donnée et des études statistiques (SDES). Voir en ligne sur https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/statistiques-sur-les-permis-de-construire-pc-permis-damenager-pa-et-declaration-prealable-dp-base-sitaldel/#_
6. Sources : base de l'Observatoire régional de l'immobilier d'entreprise en Île-de-France sur l'estimation annuelle du parc de bureaux francilien. Voir en ligne sur <http://www.orie.asso.fr/publications/donnees-statistiques>.
7. Sources : direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Fouad Awada

DIRECTRICE DE LA COMMUNICATION

Sophie Roquelle

MAQUETTE

Jean-Eudes Tilloy

INFOGRAPHIE/CARTOGRAPHIE

Laurie Gobled, Laetitia Pigato

MÉDIATHÈQUE/PHOTOTHÈQUE

Inès Le Meledo, Julie Sarris

FABRICATION

Sylvie Coulomb

RELATIONS PRESSE

Sandrine Kocki

33 (0)1 77 49 75 78

L'Institut Paris Region

15, rue Falguière
 75740 Paris cedex 15
 33 (0)1 77 49 77 49

ISSN 2724-928X

ISSN ressource en ligne
 2267-4071



institutparisregion.fr



RESSOURCES

- Fabien Esculier, 2018. Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques. Thèse de doctorat en sciences et techniques de l'environnement, Université Paris-Est.
- Adam et al., 2019. L'Institut Paris Region. *Note rapide* n° 812. Comment le MOS vous aide à comprendre votre territoire.
- Roger, 2017. L'Institut Paris Region. *Note rapide* n° 760. L'immobilier de bureau dans un nouveau cycle de production.
- Camors, 2017. L'Institut Paris Region. *Note rapide* n° 755. Les tiers lieux : de nouveaux espaces pour travailler autrement.
- *Les Cahiers* de L'Institut Paris Region n° 173, 2017. Une métropole à ma table. L'Île-de-France face aux défis alimentaires.
- W. Steffen et al. 2015. Science. Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet.
- PIREN-Seine, 2018. La séparation à la source de l'urine. Fiche 4 pages.
- PIREN-Seine, 2019. L'azote dans le système alimentation-excrétion des Franciliens. Poster.
- Billen, Esculier, Garnier, Le Noë, 2020. The Conversation. Nourrir Paris en temps de crise... et après ?

Sites institutionnels utiles

- www.leesu.fr/ocapi
- www.eau-seine-normandie.fr
- www.siaap.fr
- www.arceau-idf.fr/gtt6
- www.reseau-assainissement-ecologique.org

