

Valorisation des excréments humains

Séparation à la source et
valorisation agricole en France



La condition humaine

Alimentation

Excrétion

Bilan annuel

OMS,
2007

3,4 kg N



3,4 kg N

Brownlie,
2015

350 g P



350 g P

Besoin physiologique
confortable

Besoin physiologique
confortable

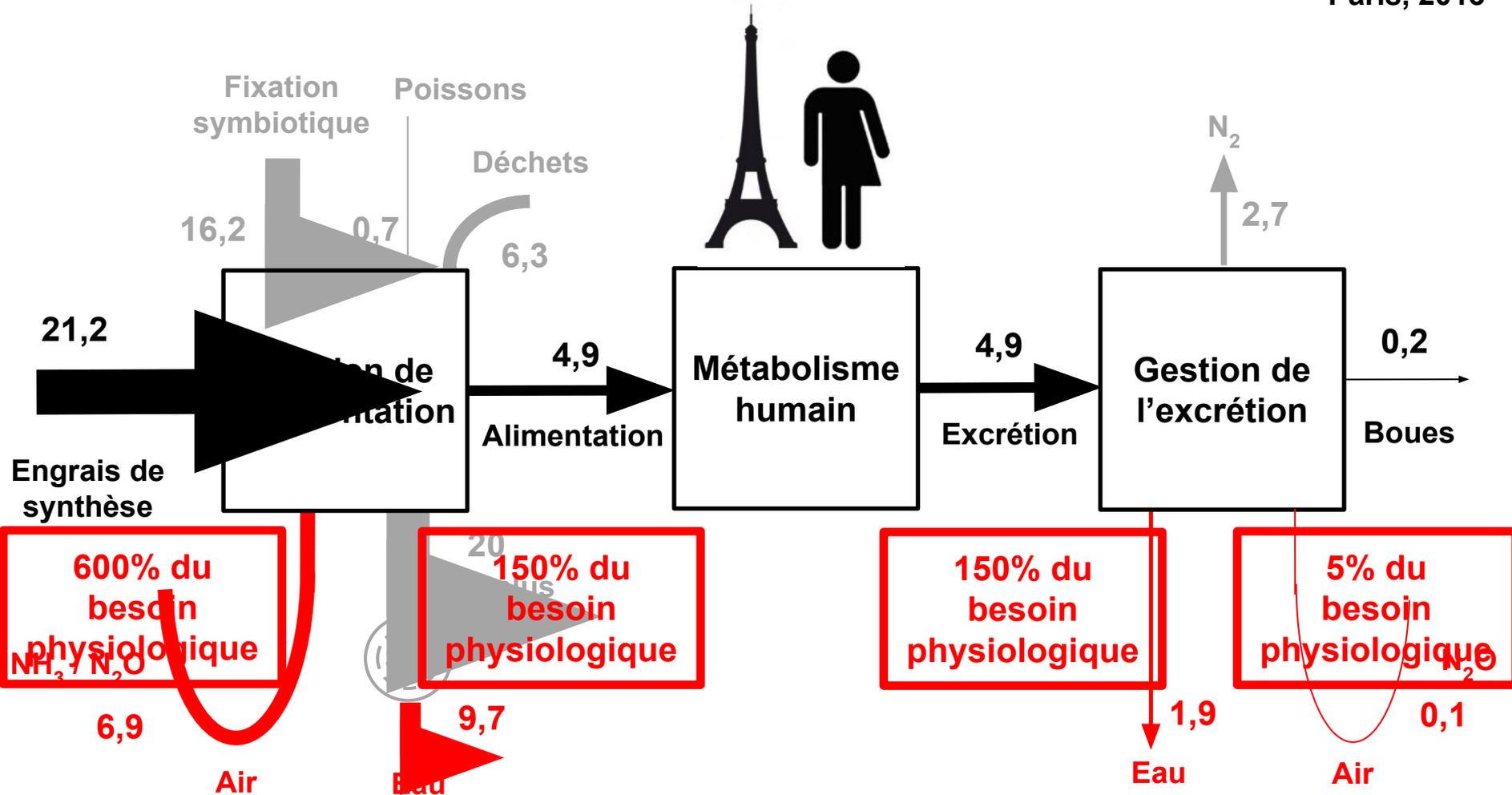
**Système
alimentation/excrétion**

Le système alimentation/excrétion des sociétés industrielles occidentales

Esculier, Le Noë, et al., 2018

kgN/pers/an

Paris, 2013



Pour une transition systémique

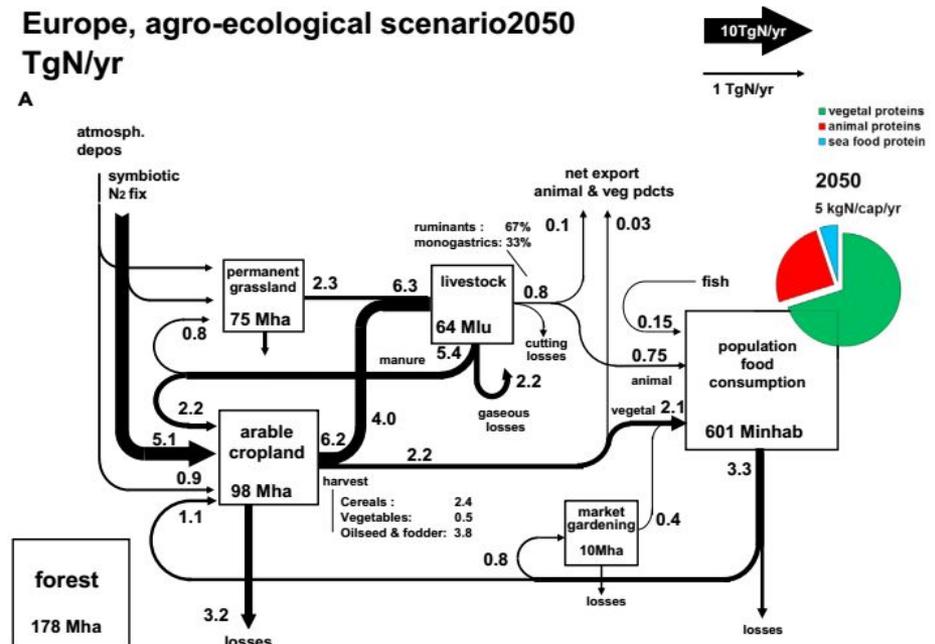
1) Régimes alimentaires sobres

- Inverser proportions végétales et animales

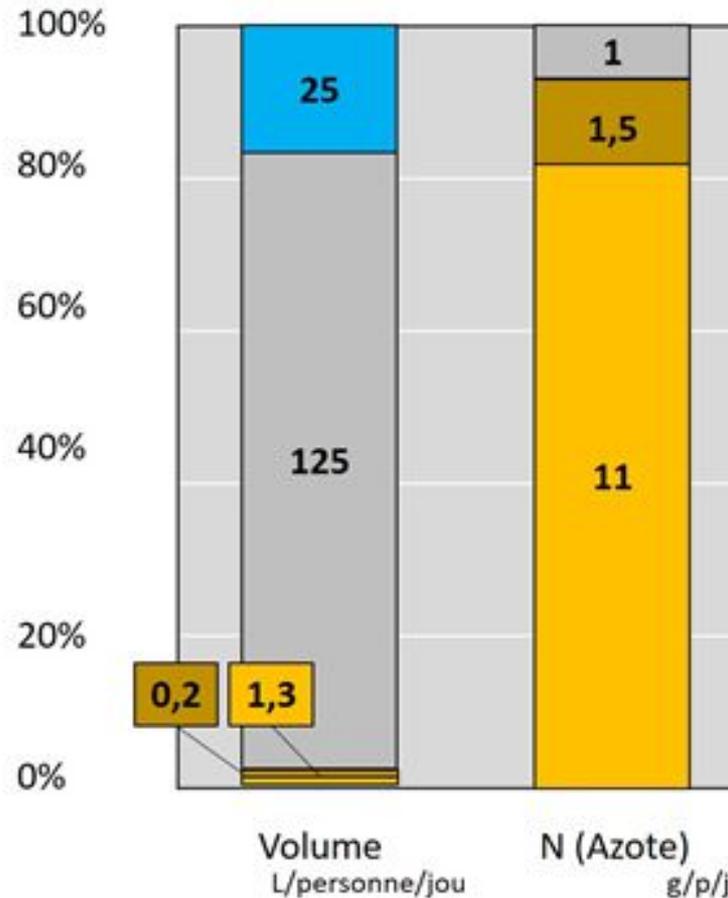
2) Production alimentaire

Scénario Autonome,
Reconnecté, Demitarien

Billen et al. 2021
Reshaping the European
agro-food system



3) Reconsidérer urines et matières fécales



■ Urine ■ Matières fécales ■ Eaux ménagères ■ Chasse d'eau

ARCEAU-IF
in prep

4) Valoriser les biodéchets (~15% du flux des excréments humains en régime sobre)

Le programme OCAPI

- Un collectif de 8 personnes (2015) à environ 30 personnes (aujourd'hui)



Approche systémique

*Transition socio-écologique
des systèmes alimentation/excrétion*

Tourné vers l'action

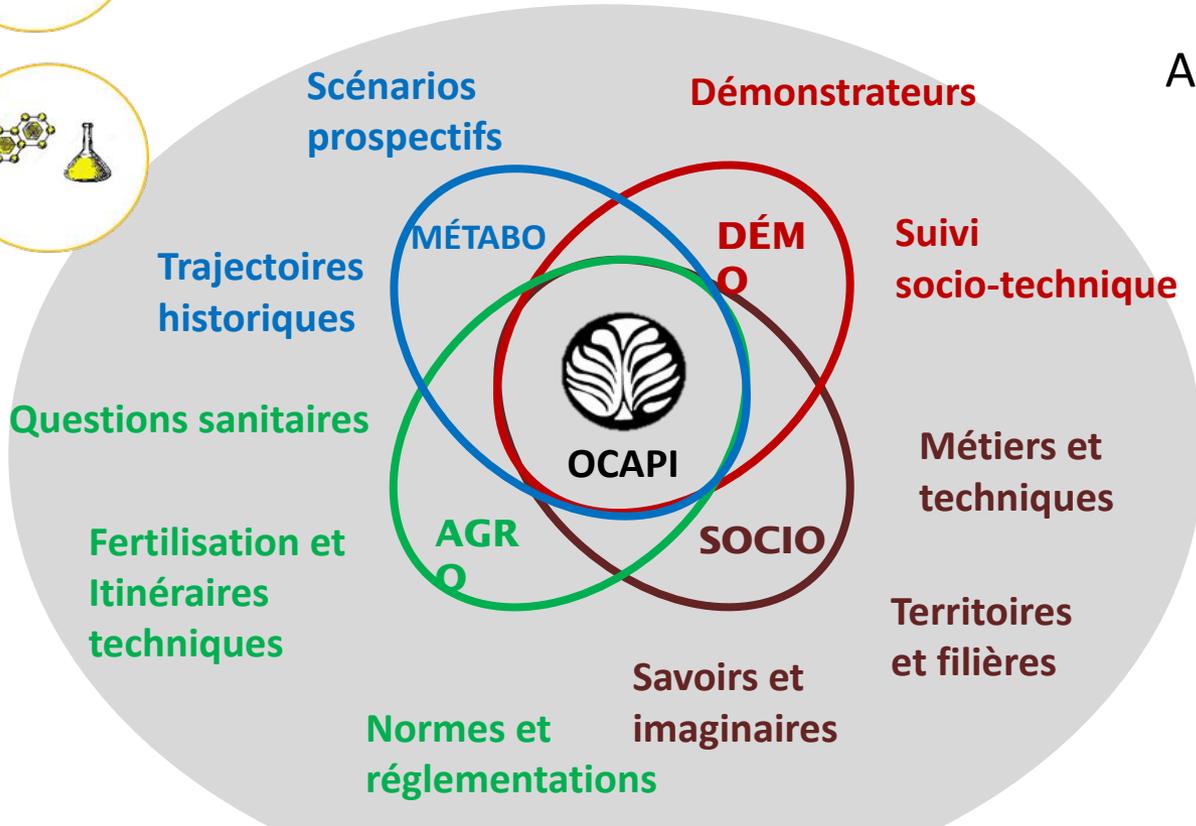
Recherche

Sensibilisation

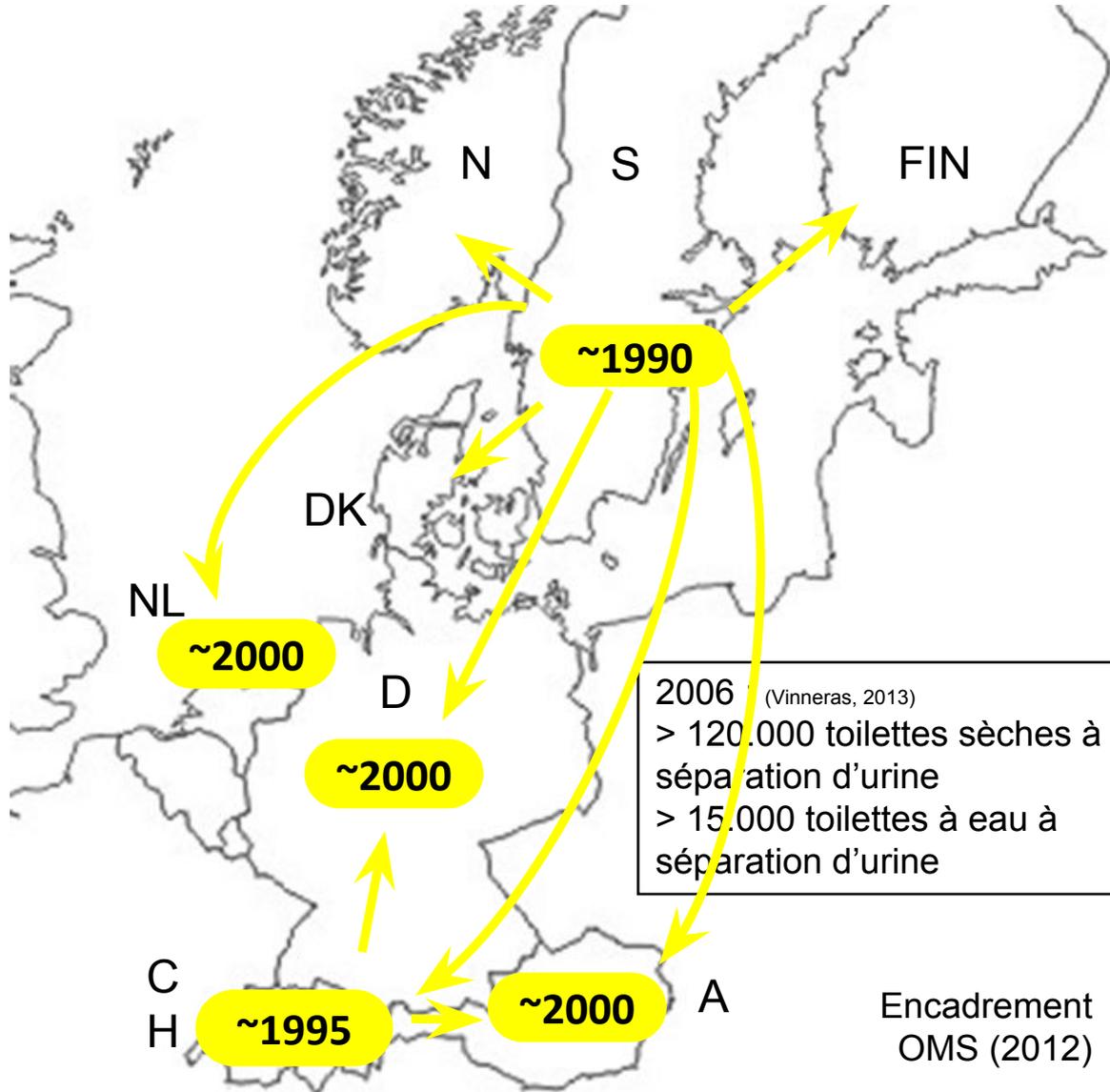
Animation

Accompagnement

Interdisciplinaire



Diffusion de la prise de conscience relative à l'urine en Europe scandinave et germanique



Crédit : Mats Johansson

Verrouillage socio-technique

Ressource
méconnue

Dépendance
au sentier

Prise en compte
réglementaire



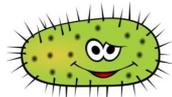
Faisabilité
technique



**Freins
socio-techni-
ques**

Nombre acteurs
élevé et silotage
Urbains, ruraux

Interrogation sur
contaminants



Modèle économique
Produit ou déchet ?

Représentations,
sensibilités et
corporéité

Martin, 2020

Legrand, 2020 ; 2021

Legrand et al., in press

En France, quelques jalons

- **Années 1990** : toilettes sèches => assainissement écologique (Soyer, in prep)
- **Années 2010** : tensions sur l'assainissement
 - 2014 : *programme OCAPI à Paris*
projets SMS et MUSES à Toulouse
- **2018** : AESN : 80% de subvention pour les projets de séparation à la source
- **2020** : Saint-Vincent de Paul, 1^{er} projet de quartier urbain avec séparation à la source



OCAPI

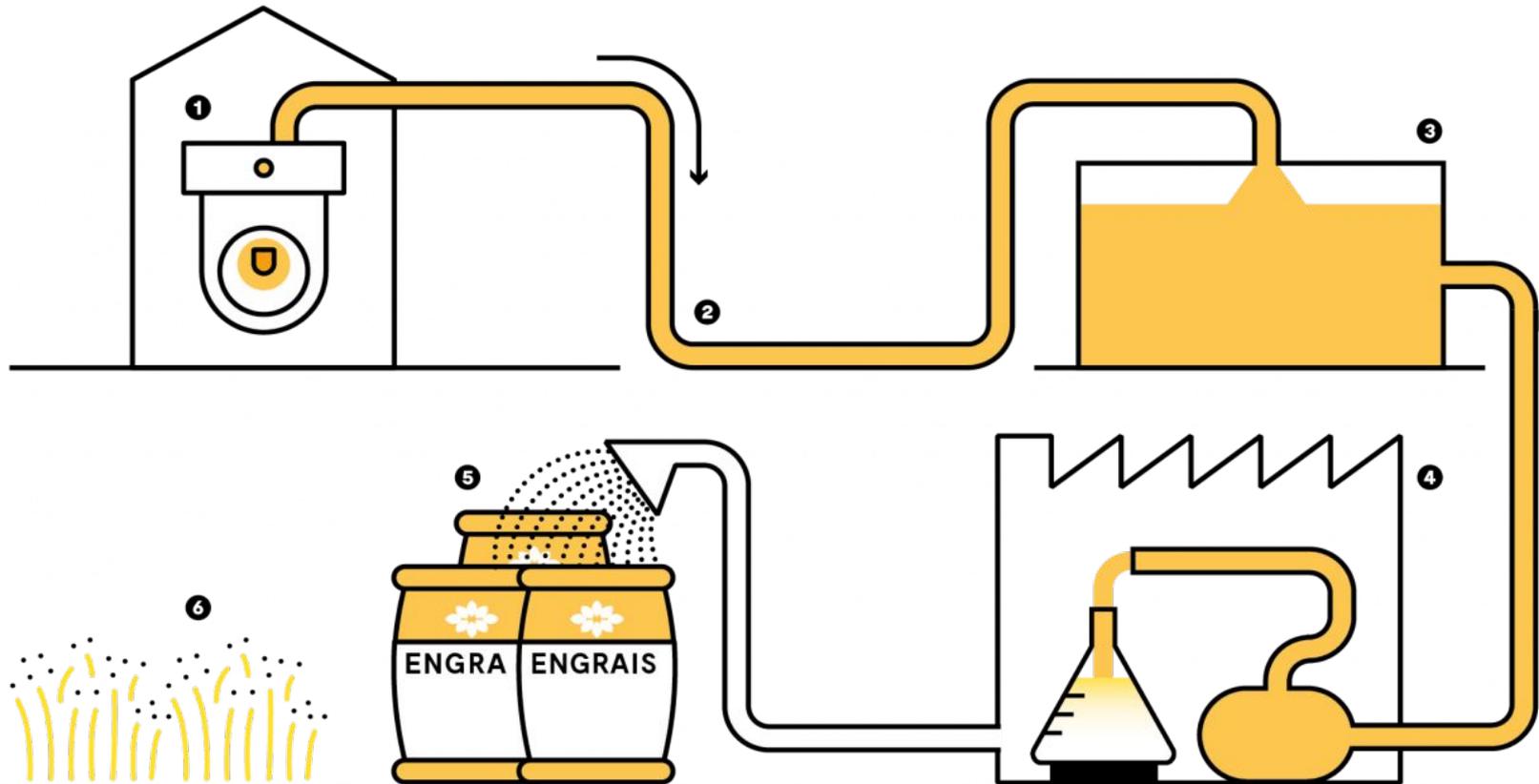


MUSES



Principe retenu

<https://www.parisetmetropole-amenagement.fr/fr/saint-vincent-de-paul-paris-14e>



Une variété d'urino-fertilisants



Urine stockée



Urine fraîche acidifiée



Urine fermentée



Urine stockée acidifiée



Urine nitrifiée concentrée



Urine alcalinisée déshydratée



Urine fraîche + copeaux bois



Urine stockée + compost

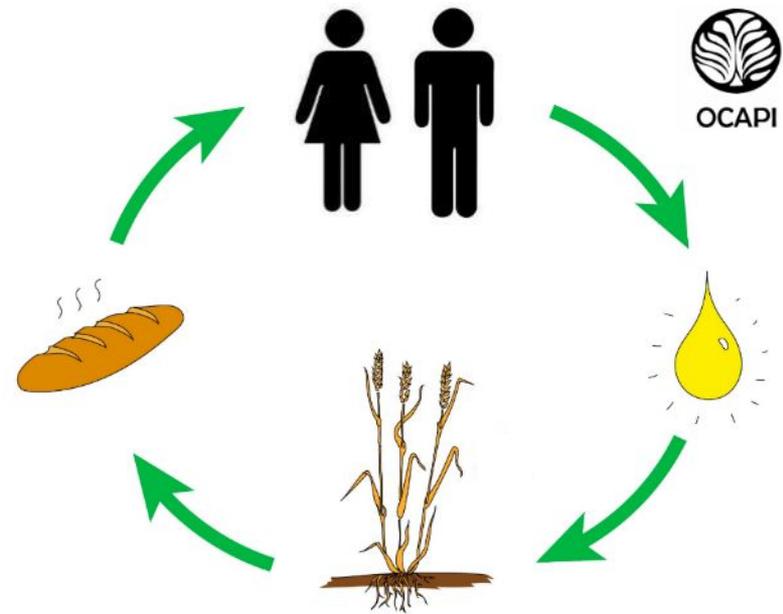
Martin et al. 2020

- Revue : procédés (re-)développés au XXI^e siècle

Procédé de traitement	Références du XIX ^e siècle	Références du XXI ^e siècle
Concentration après stabilisation à l'acide	Payen vers 1835 ; de Gasparin, non daté	Ek <i>et al.</i> , 2006
Volatilisation de l'ammoniac	de Serres, 1815 ; Dumas, 1836 ; Jacquemart, 1836 ; Krafft et Suquet, 1842	Başakçılardan-Kabakcı <i>et al.</i> , 2007 ; Paris <i>et al.</i> , 2007 ; Antonini <i>et al.</i> , 2011
Précipitation de struvite	Boussingault, 1847 ; Blanchard et Château, 1867 ;	Ronteltap <i>et al.</i> , 2007 ; Triger, 2012 ; Etter <i>et al.</i> , 2015
Imprégnation sur média alcalin	Donat, 1819	Randall <i>et al.</i> , 2016 ; Senecal <i>et al.</i> , 2017
Imprégnation sur charbon	Salmon, 1826, 1831	Otterpohl & Buzie, 2013 ; Senecal <i>et al.</i> , 2017

Esculier, 2018
Adler, 2020

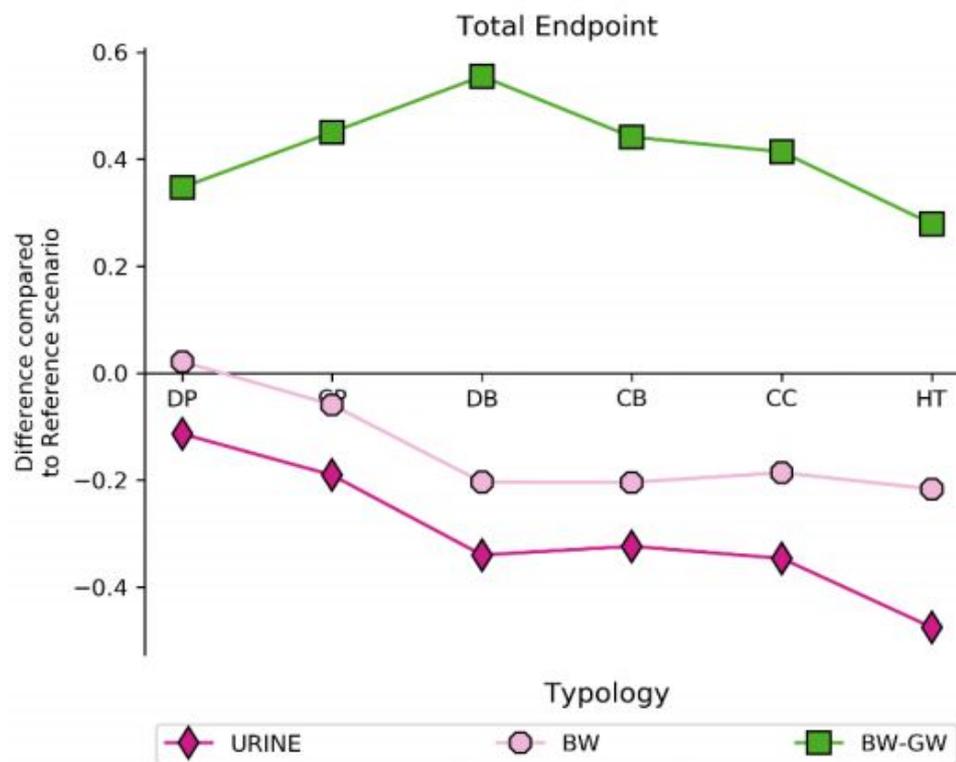
Des options environnementales « sans regret »



Impact (/kg grain)	Épuisement ressource eau	Eutrophisation eau douce	Changement climatique	Utilisation énergie	Épuisement ressource min, fossiles, renouvelable	Particules fines	Acidification
Filière	<i>L eq</i>	<i>ngPO₄³⁻ eq</i>	<i>gCO₂ eq</i>	<i>MJ</i>	<i>mgSb eq</i>	<i>mgPM2.5 eq</i>	<i>mmol H⁺ eq</i>
Engrais minéral + STEP	4,5	420	940	4,9	27	330	7,6
Urine stockée	0,3	50	260	1,4	11	210	7,8
RATIO	15	8	3,6	3,5	2,5	1,6	1,0

Séparer : ACV favorable

- ACV Besson (2020)



Quelques réalisations françaises

- Ecole élémentaire –
Saint-Germé (32) [Pierre et Terre]



- Habitat participatif – Grenoble [Au clair de quartier] /
Dol-de-Bretagne [EPOK]



- Porte-à-porte – Bordeaux [La Fumainerie]

- Bâtiment tertiaire – Achères (78) [SIAAP]



- Plateau de Saclay [EPAPS]



- La « vague verte »

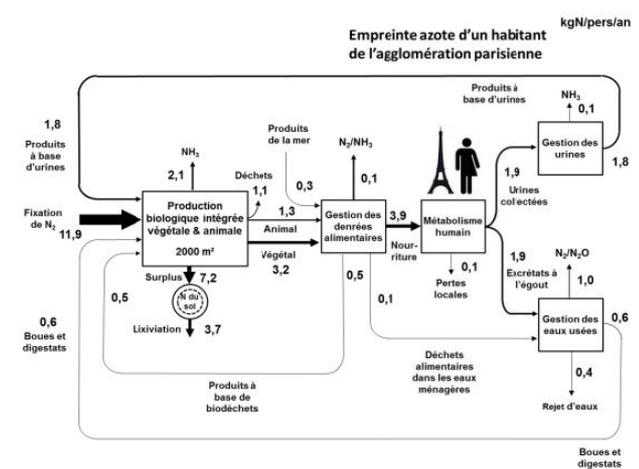
Résultats de 3 études de cas



- Un **alignement des acteurs** construit sur la durée
- L'enjeu structurant des **contraintes spatiales**
- Un principe de **réversibilité** adopté dans les trois cas
- Une construction d'une **approche holistique** allant de l'interface usager à la destination des produits finaux
- Des **modèles organisationnels** variés
- Des interrogations sur **l'évolution des expérimentations et les modèles socio-économiques** qui se dessineront

Scénarios de systèmes alimentation/excrétion

- **Billen et al. 2021** – Reshaping the European agro-food system
- **Post-doc de Tristan MARTIN** : valorisations d'urino-fertilisants à l'échelle d'une exploitation agricole et du bassin de la Seine
- **Thèse de Thomas STARCK** (septembre) : évaluer le potentiel de valorisation des nutriments urbains à grande échelle



Esculier 2018

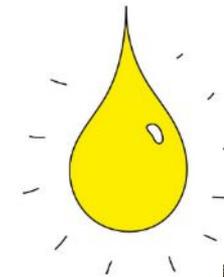
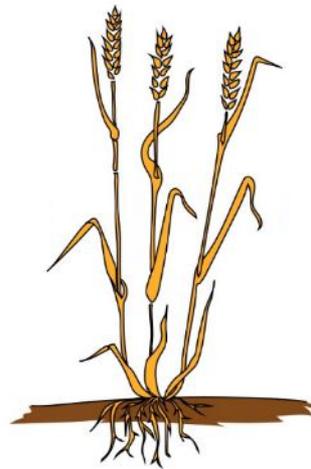
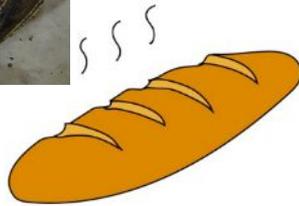
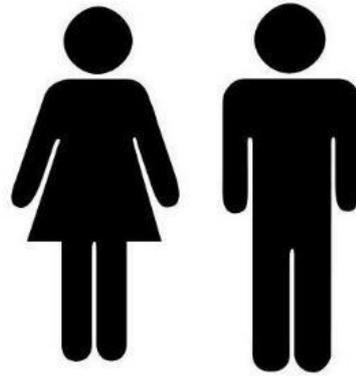
Conclusion

- Un système alimentation/excrétion non soutenable
- Des transformations radicales à mener
- Un verrouillage socio-technique très fort...
... mais un bouillonnement d'initiatives !

Que peut-on fabriquer aujourd'hui qui puisse éventuellement être ressource pour celles et ceux qui viennent ?

I. Stengers





OCAPÍ

Programme de recherche
et action OCAPI
www.lesu.fr/ocapi



INRAE

Des questions ?



Fabien ESCULIER
fabien.esculier@enpc.fr



OCAPI



École des Ponts
ParisTech

Programme de recherche
et action OCAPI
www.leesu.fr/ocapi

Mardi 6 juillet 2021