

D'une vision globale des cycles de l'azote (et du phosphore) sur le bassin de la Seine à la séparation à la source des excrétaux humains:

le moment propice pour changer d'échelle ?

Josette Garnier, DR CNRS, émérite

josette.garnier@sorbonne-universite.fr



Le Territoire du Bassin de la Seine comme objet d'étude scientifique et politique de gestion

Le Programme PIREN-Seine (depuis 1989)

- ❑ La mission du PIREN-Seine est de produire de la connaissance scientifique en discutant des demandes des partenaires financiers du programme, à l'échelle du bassin
- ❑ Le fonctionnement du PIREN-Seine est basée sur cette co-construction depuis 1989, avant chaque début de phase (4-5 ans).
 - ➔ ce fonctionnement informel dure donc depuis 36 ans !
 - ➔ avec des actions interdisciplinaires, majeures et concrètes du PIREN-Seine, sur des sujets controversés

par exemple :

- Barrage-réservoirs (*un 4^{ème} réservoir était prévu... cf. le projet de casiers...*)
- Contaminations (*par ex. le Plan Eco-Phyto qui n'a pas bien fonctionné*)
- Traitement des eaux usées (*dans les années 1990, on ne pensait pas au recyclage à la source !*)
- Système agro-alimentaire et scénarisation (*des preuves que l'agriculture est vraiment la source en nitrate, des scénarios extrêmes pour faire réfléchir*)
- Etc.

Le Programme OCAPI (depuis 2015)

- ❑ Une mission similaire pour le programme OCAPI de produire de la connaissance scientifique en discutant des demandes des partenaires financiers du programme, centré sur la région francilienne
- ❑ Un fonctionnement informel basé aussi sur la co-construction
- ❑ Une volonté affirmée de Recherche-Action

Les deux programmes se sont focalisés sur l'azote

1. L'azote est l'élément limitant principal de la production agricole

Les apports d'N au sol déterminent le rendement dans la plupart des systèmes agricoles, mais avec des pertes vers l'environnement → origine essentiellement diffuse



2. Ces pertes d'azote vers l'environnement causent des perturbations majeures du fonctionnement des écosystèmes et de la santé humaine



Eutrophisation côtière



Contamination eau potable pollution atmosphérique



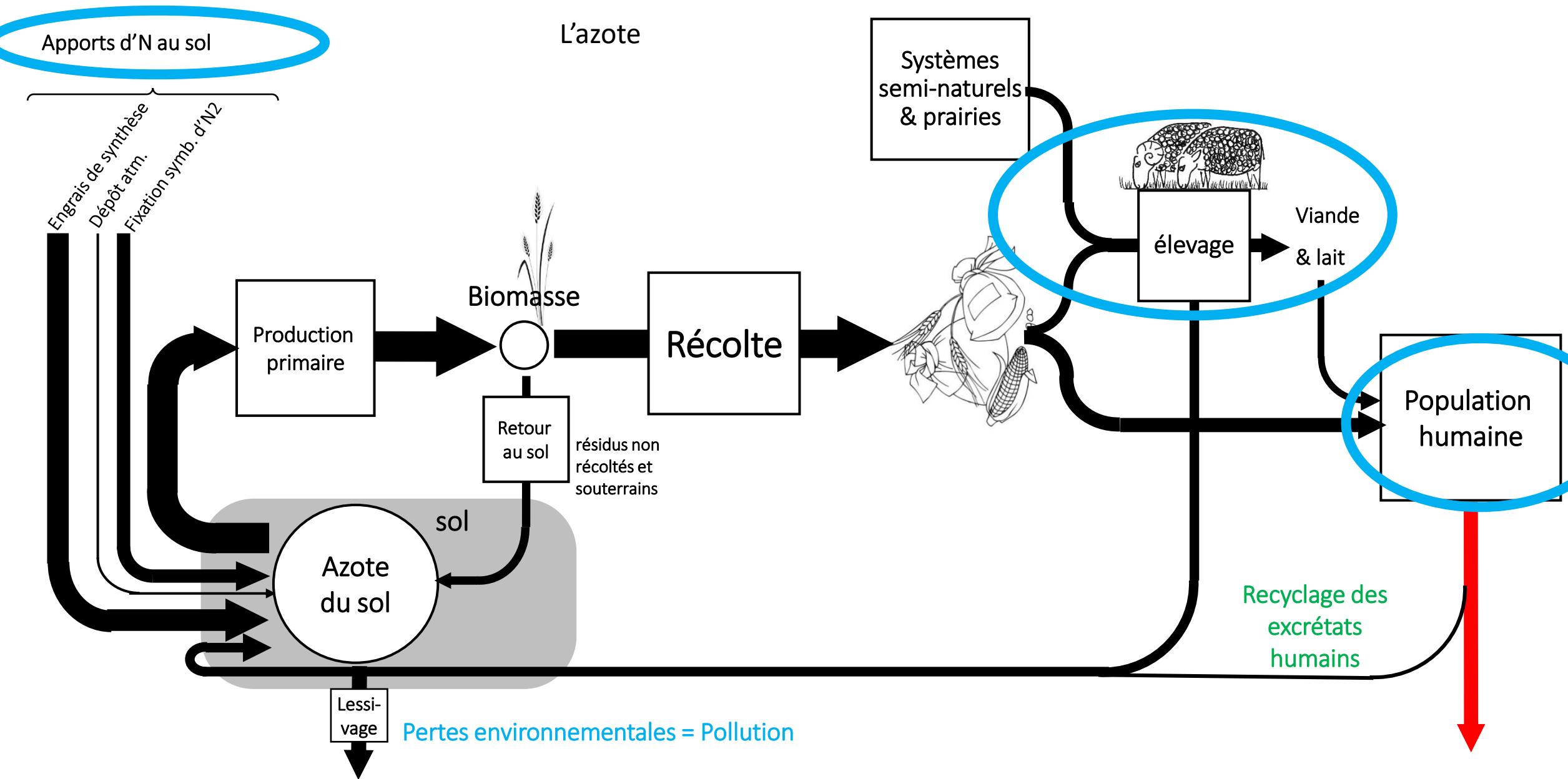
émission de N₂O ...

3. L'azote est le constituant principal des protéines que nous consommons avec un besoin universel de ~3.6 kgN/pers/an

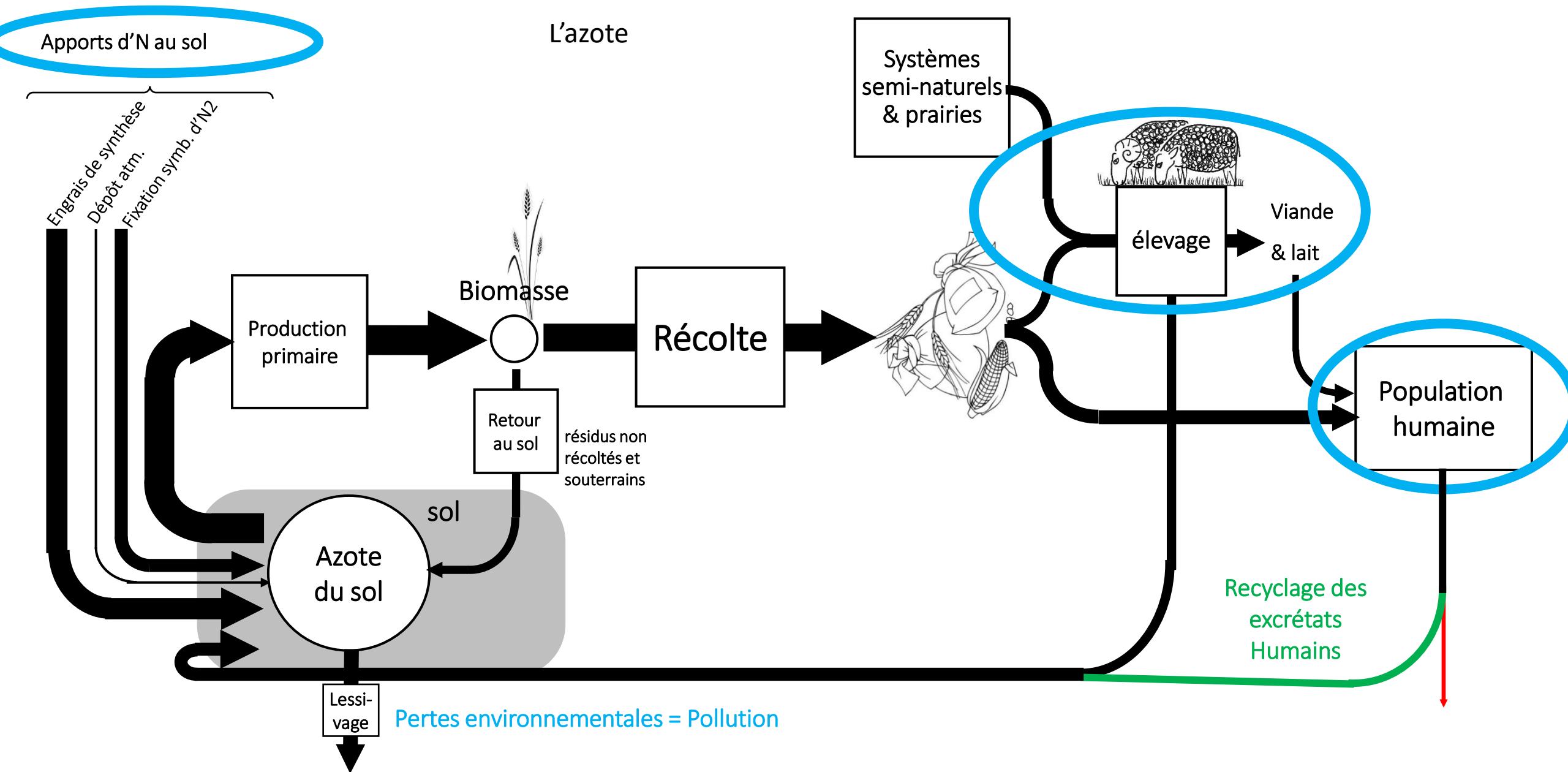


4. L'azote consommé est quasiment entièrement excrété

Connection entre les systèmes agro-alimentaires et alimentations-excrétions



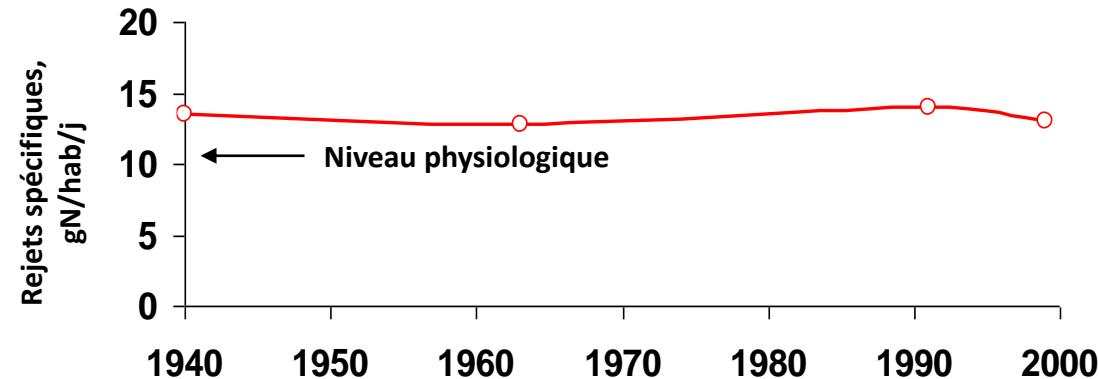
Connection entre les systèmes agro-alimentaires et alimentations-excrétions



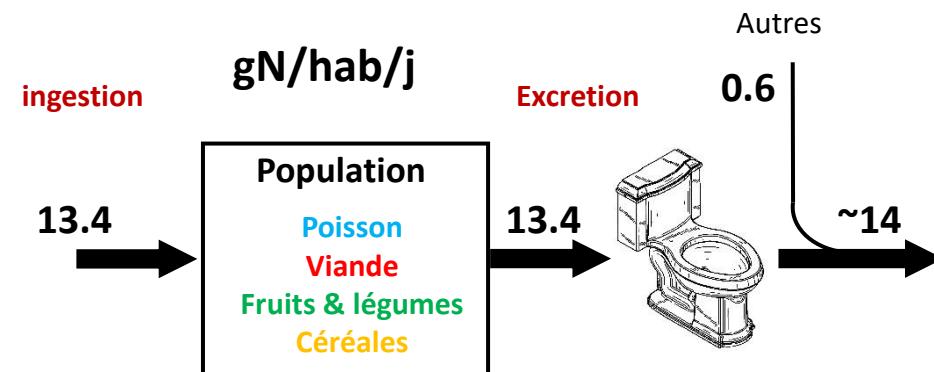
Apports ponctuels en azote

Charge spécifique brute par habitant

✓ Composante physiologique

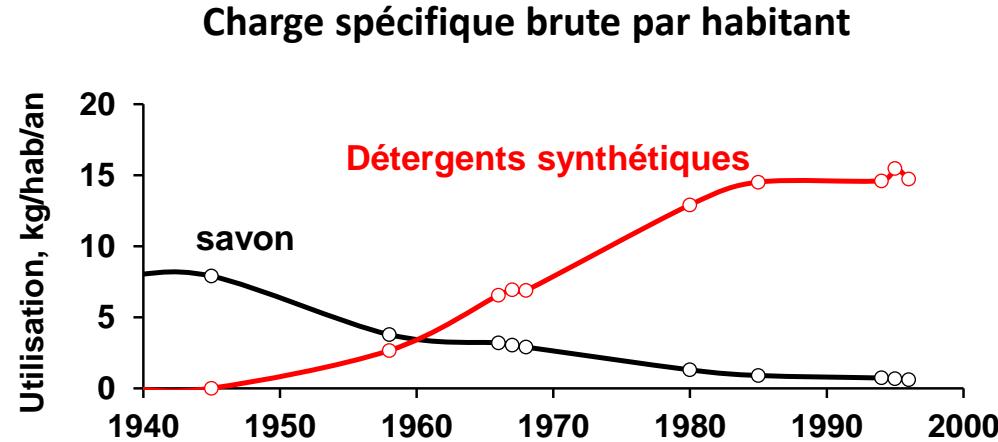


✓ Système alimentation/excrétion domine la charge ponctuelle en N

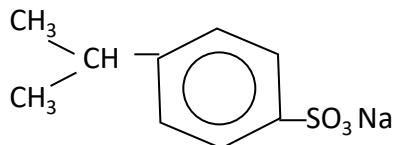


Apports ponctuels de phosphore

✓ savon

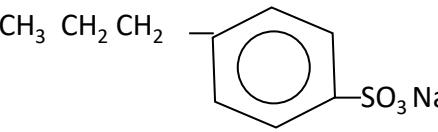


✓ détergents synthétiques



Non biodégradables (1970)

Agents séquestrants. Poly PO4. NTA. EDTA. Zéolithes



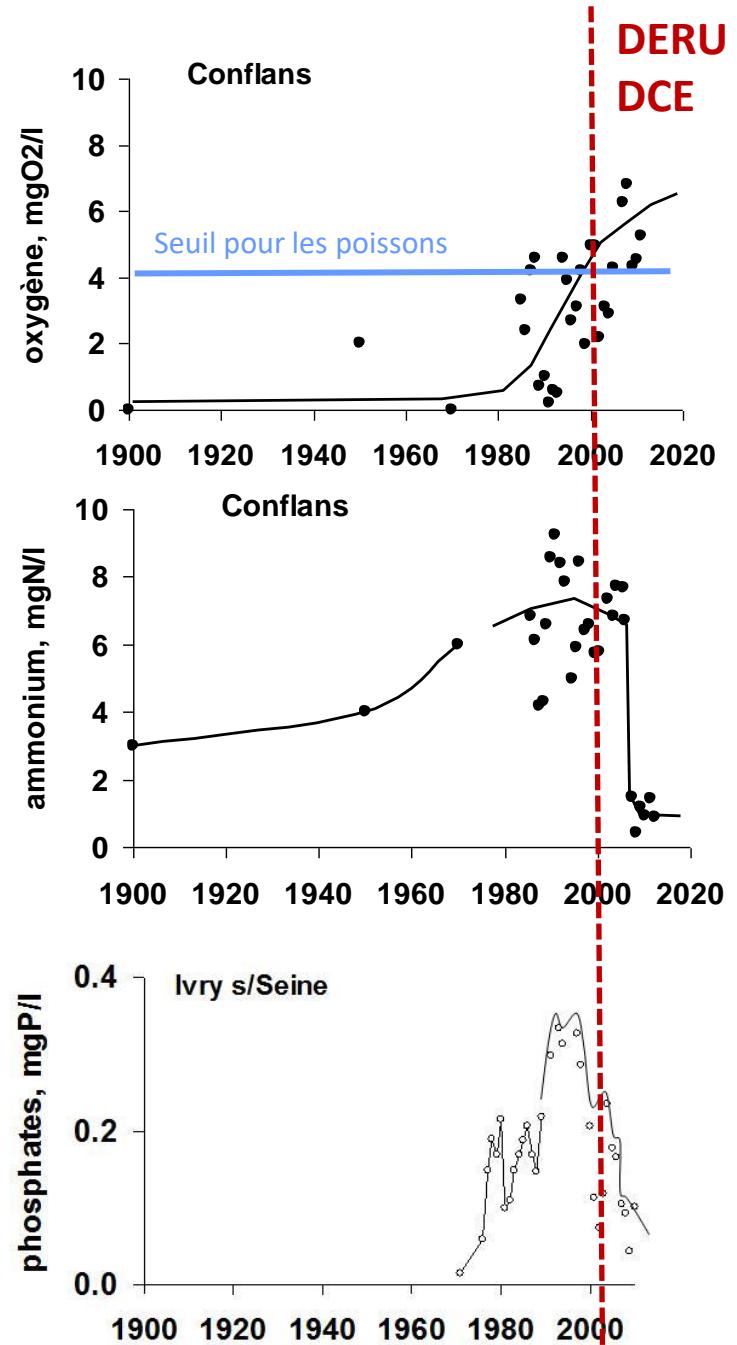
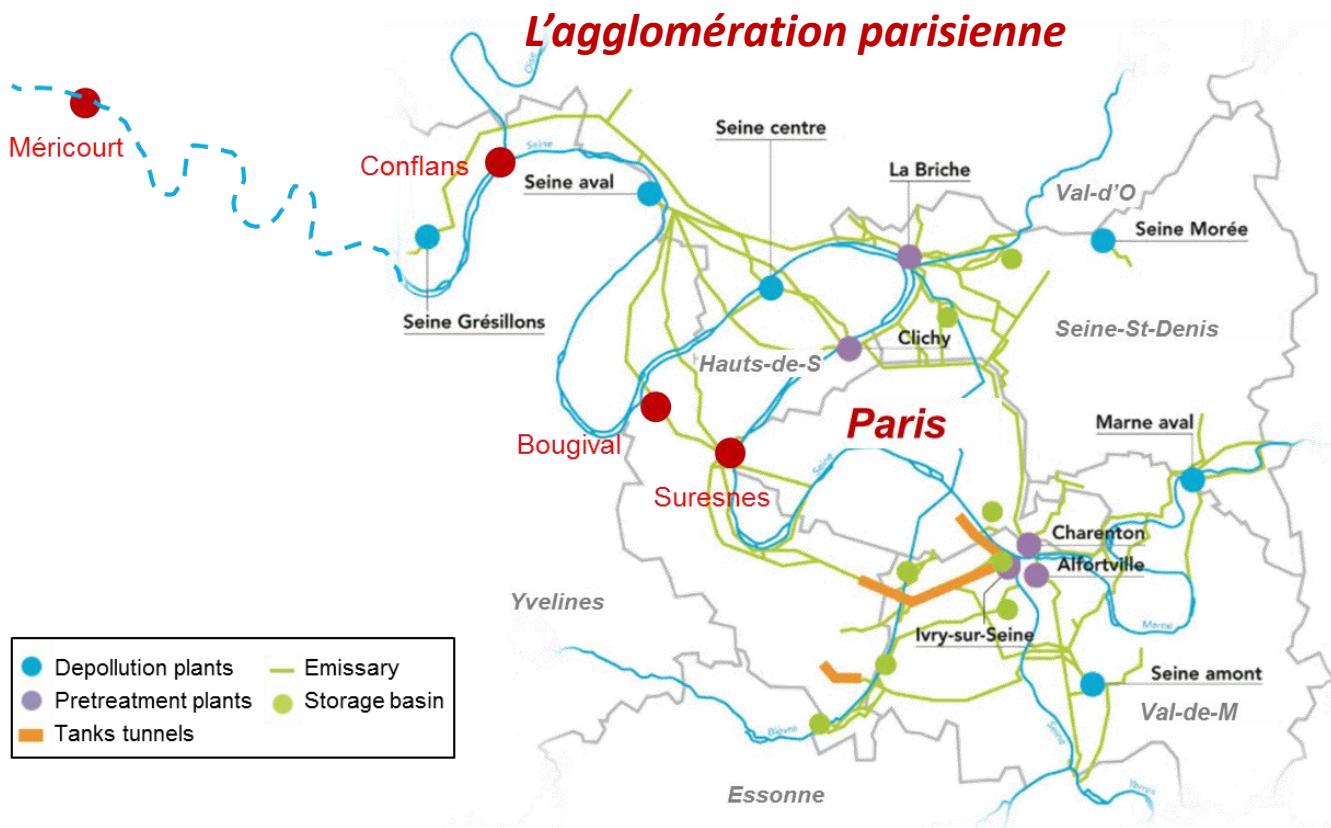
biodégradables (1970)

| Année | Rejet spécifique (gP/hab/j) |
|-------|-----------------------------|
| 1940 | 1.5 |
| 1945 | 1.6 |
| 1950 | 1.8 |
| 1955 | 2.1 |
| 1960 | 2.4 |
| 1965 | 3.0 |
| 1970 | 3.1 |
| 1975 | 3.3 |
| 1980 | 4.5 |
| 1985 | 4.8 |
| 1990 | 4.2 |
| 1995 | 3.8 |
| 2000 | 2.2 |

✓ Composante physiologique

Des solutions techniques pour gérer la pollution

- Une nette amélioration de la qualité de l'eau avec **plusieurs milliards d'euros** dépensés, sans changement de système (tout à l'égout !)



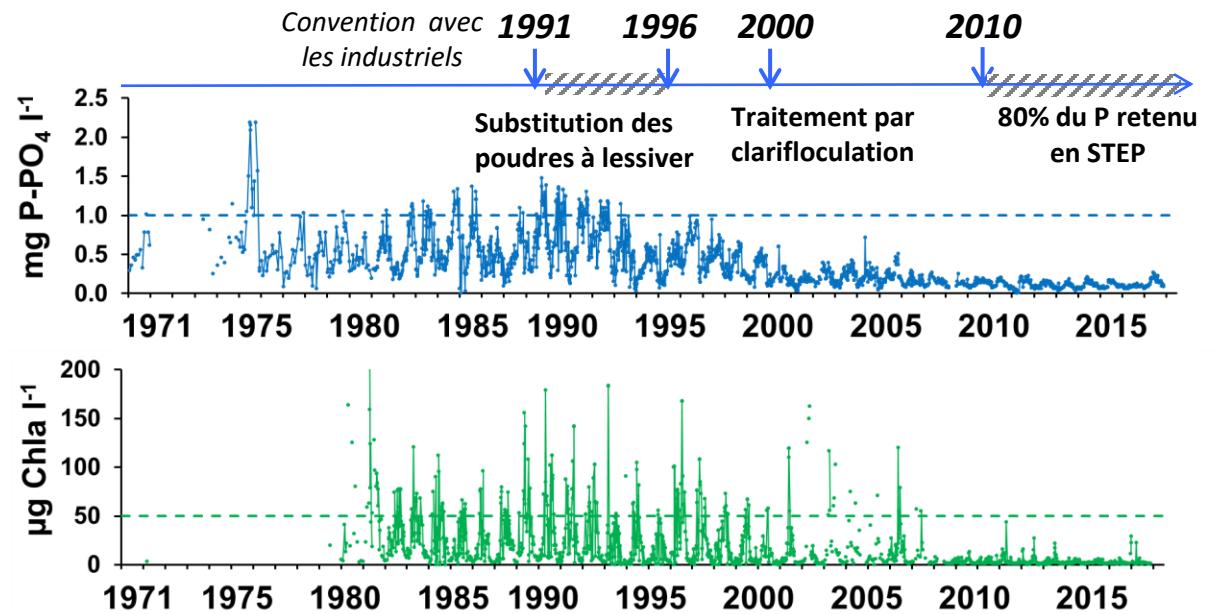
Trajectoires et qualité de l'eau

- Une diminution spectaculaire du phosphore dans les hydrosystèmes, de nature à réduire l'eutrophisation

La Seine à l'entrée de l'estuaire

- DERU 1991, DCE 2000 transposée en droit français par le décret du 3 juin 1994

- Une diminution de l'eutrophisation des cours d'eau

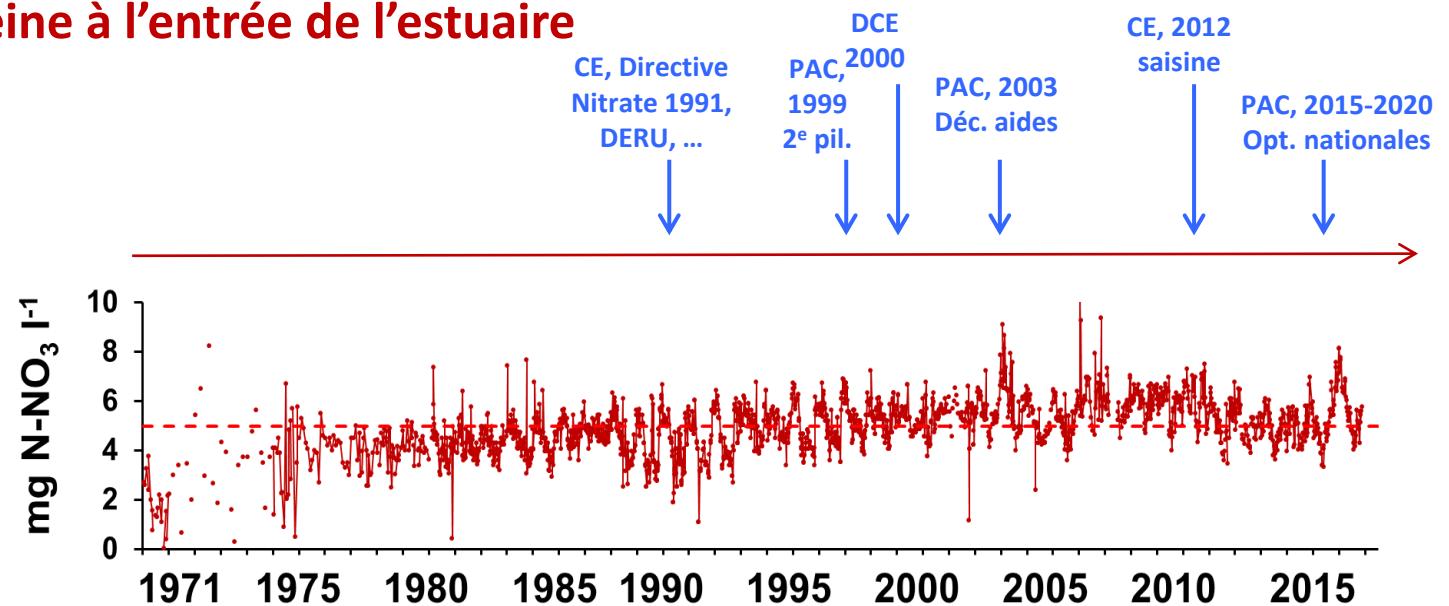


Trajectoires et qualité de l'eau

- Pas de diminution notable de la contamination nitrique dans les hydrosystèmes



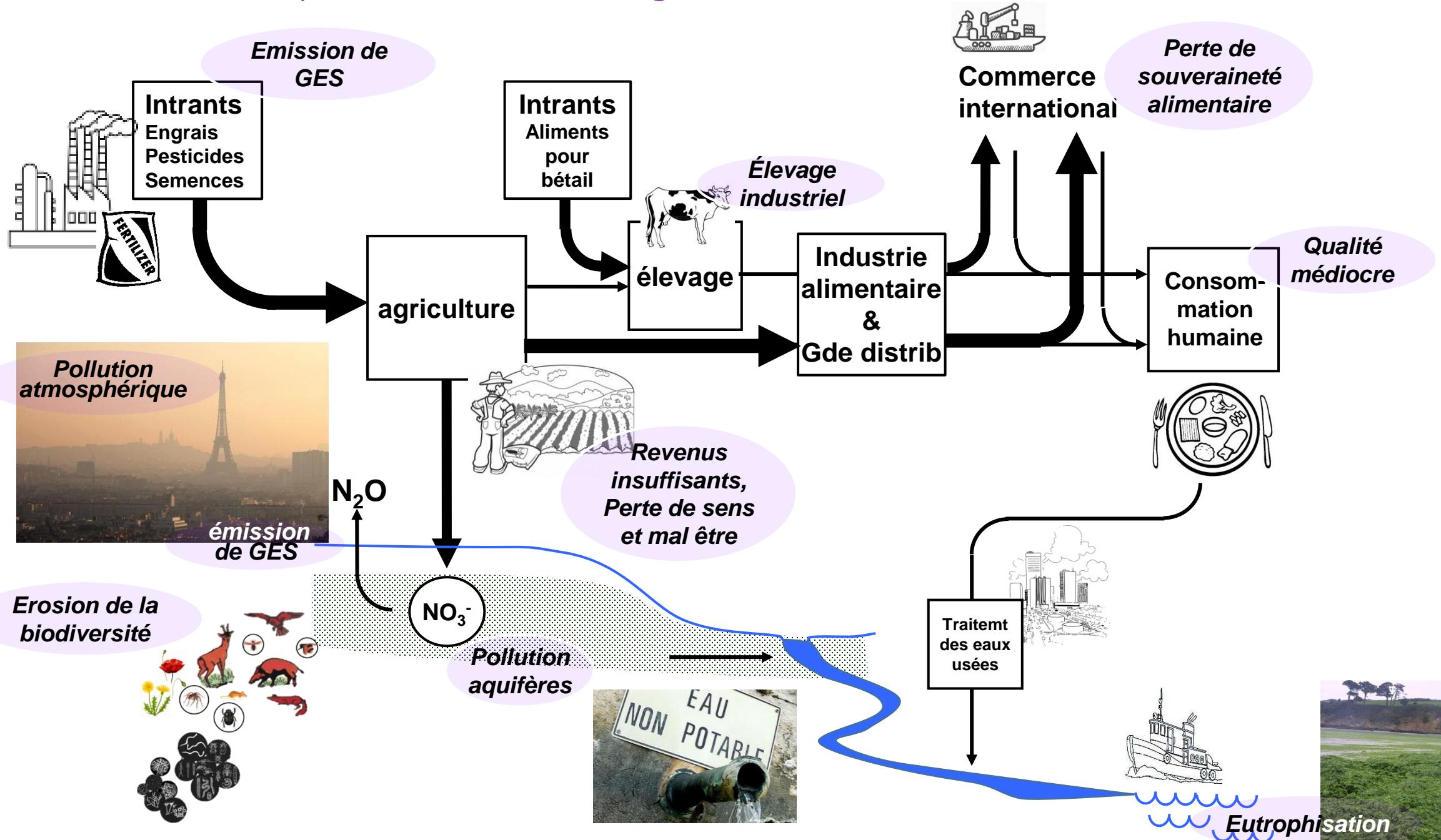
La Seine à l'entrée de l'estuaire



- Rapport Henin, 1980
- Comifer 1980
- CORPEN 1984
- Programmes d'actions Nationaux
(1^{er} 1996; 5^{ème} 2014-2018
=> 6^e déclinaison régionale)
PMPOA 1&2, 2001-2006, 2009-2010
MAE, MAET, MAEC, 2007, 2011, 2014
Grenelle 1 & 2, 2009, 2010
GREN, 2011, groupe d'expertise « nitrates » etc.

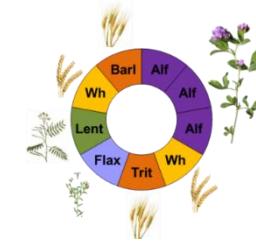
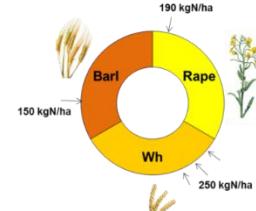
➔ l'efficacité des programmes d'actions de la Directive «nitrate» n'est pas évidente

Une cascade d'impacts actuels de l'agriculture, de l'alimentation et de l'excrétion



Les leviers à activer pour réduire les pertes environnementales

1. Adopter des rotations longues



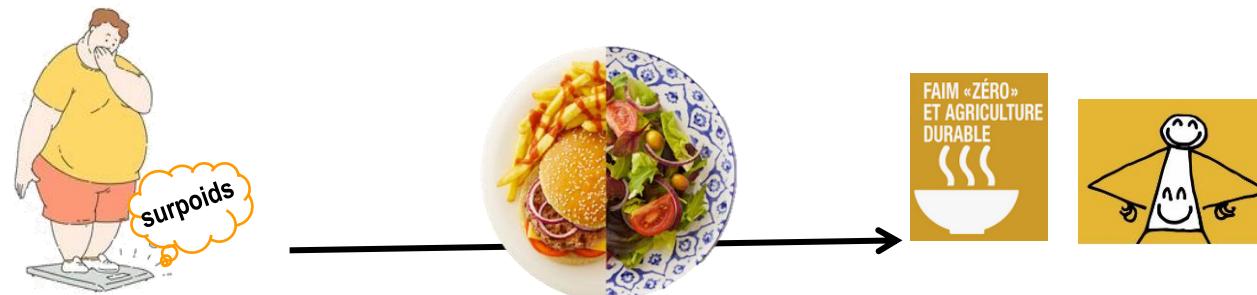
...d'une agriculture de type « conventionnel »..... au type «agriculture biologique », avec des légumineuses

2. Reconnecter le cheptel à la prairie et aux systèmes de cultures

➔ Dimensionné aux ressources locales (l'herbe, les légumineuses fourragères, tourteaux d'oléagineux, céréales en excès de l'alimentation humaine et autres restes)

3. Modifier le régime alimentaire

...d'une alimentation trop richeà un régime plus sain et plus équitable, avec moins de protéines d'origine animale



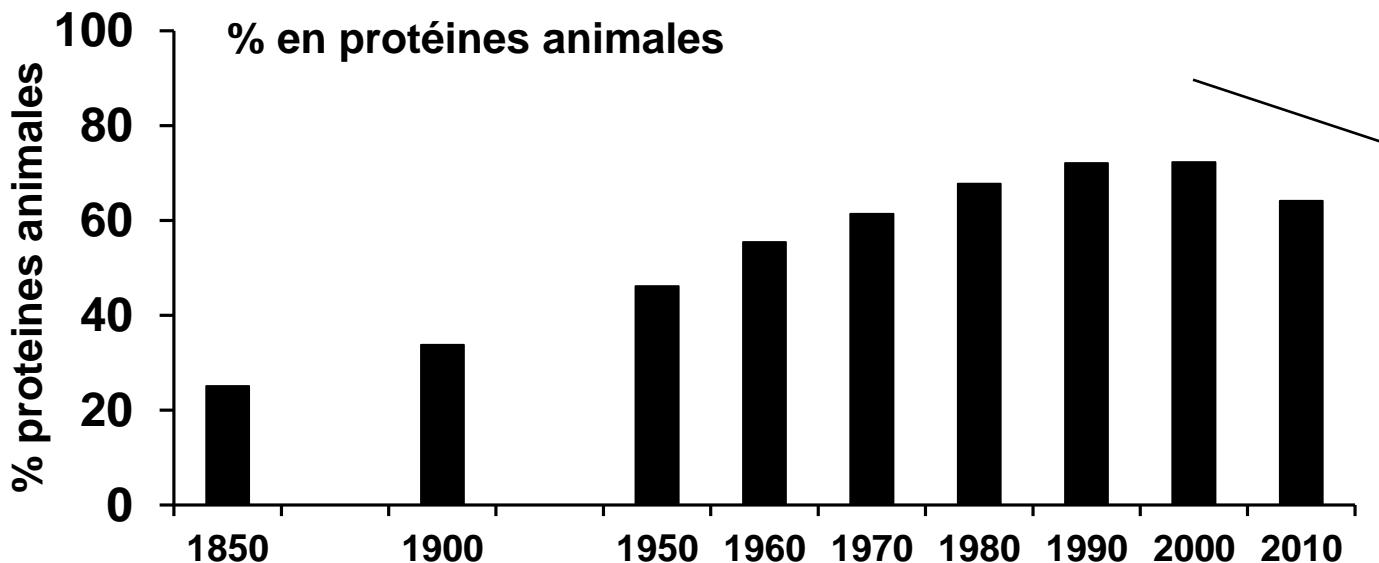
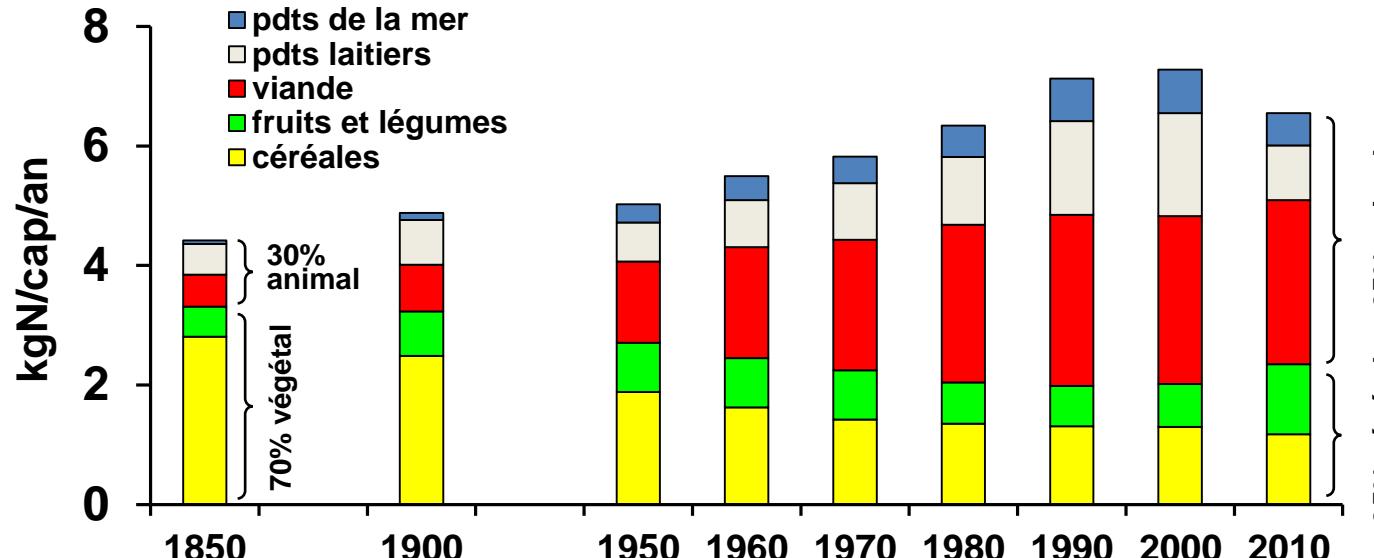
4. Réduire, Réutiliser, Recycler

Par ex. recycler
l'urine à la source



L'urine contient :
▪ 90% de N
▪ 70% de P

L'assiette française depuis deux siècles...



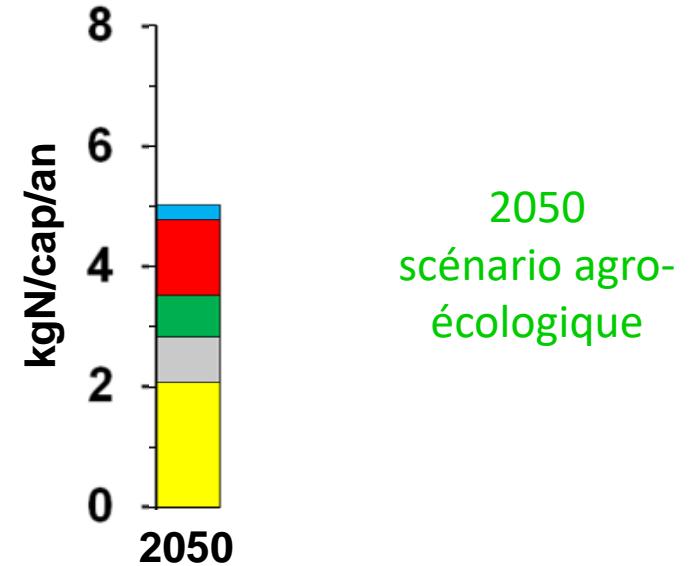
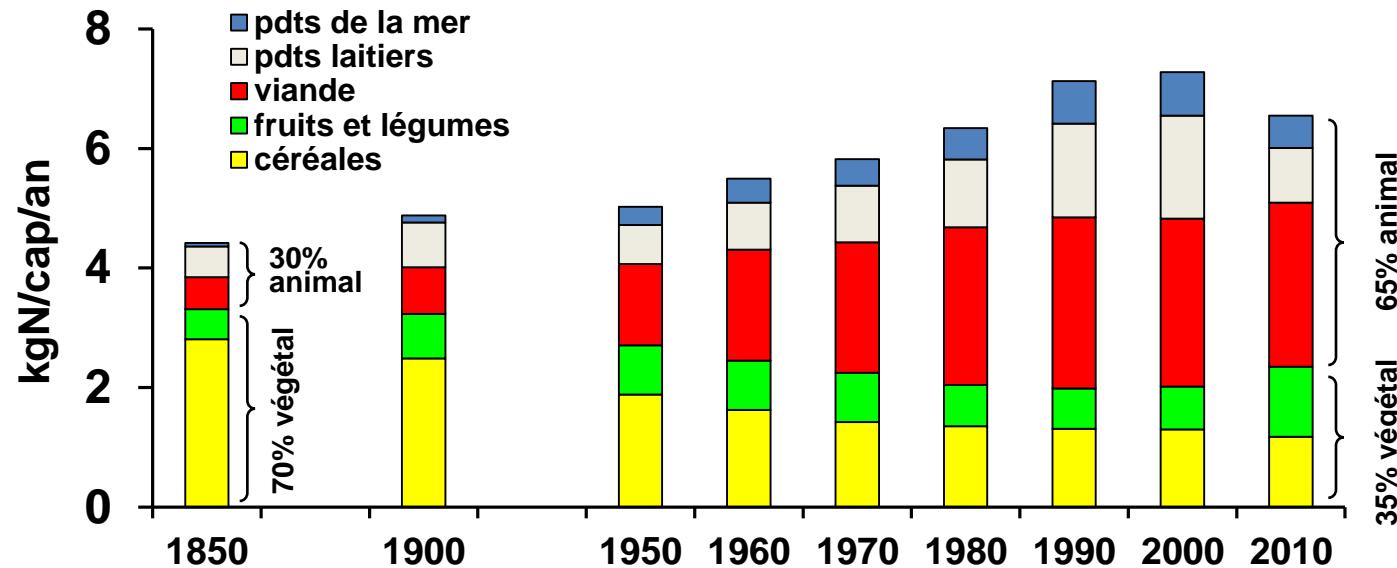
Recul de la consommation protéines animales ?

- des raisons de santé
- des raisons éthiques
- des raisons environnementales
- de moyens financiers des ménages

A noter :

- 21 kgN/pers pour produire la nourriture animale
(4000 m²/pers)
- 3 kgN/pers pour produire la nourriture végétale
(150 m²/pers)

... vers un régime, plus sain et plus juste !



- Le régime alimentaire actuel est trop riche et contient trop de protéines d'origine animale

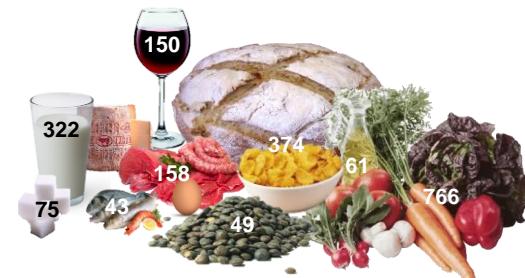
2009-2014

58% animal
6.5 kgN/cap/an



Demitarian diet (Barsac declaration)
<http://www.nine-esf.org>

Eat-Lancet Commission
Healthy diet from
sustainable food systems
(Willet et al, 2019)



30% animal
5 kgN/cap/an

NB: minimum vital
de 3.6 kgN/cap/an

Les hypothèses de scénarios pour l'Europe (127 régions)

- Des points communs qui découlent du cadrage de sobriété forte
- Des différences en fonction des réponses de la société à l'impératif de sobriété
- Des points critiques qui invitent à prolonger les réflexions...

| | REF: 2014-2019 | Agro-écologie 2050 | Sobrieté radicale |
|---|---|---|---|
| Population des 127 régions européennes | 534 | 538 | 538 |
| Régime alimentaire | déséquilibré, trop riche en sucres et en protéines animales | équilibré, demitarien: 2 fois moins de protéines animale que pour REF | équilibré, 3 fois moins de protéines animale que pour REF |
| Fertilisation synthétique | 50% | 0% | 0% |
| Réutilisation de l'urine humaine | 0% | 30% | 70% |
| Surface agricole utile (SAU) | | | |
| Total | 186 Mha | 186 Mha | 157 Mha |
| - prairie | - 64.2 Mha | - 64.2 Mha | - 67.5 Mha |
| - culture | - 109.6 Mha | - 106.9 Mha | - 76.2 Mha |
| - maraîchage/syntropus | - 3.5 Mha | - 3.5 Mha | - 13.3 Mha |
| Surface forestière | 219.3 Mha | 219.3 Mha | 260.0 Mha + 20.4 Mha pour l'ensauvagement |



➔ Pour le Bassin de La Seine

Fiches de synthèse

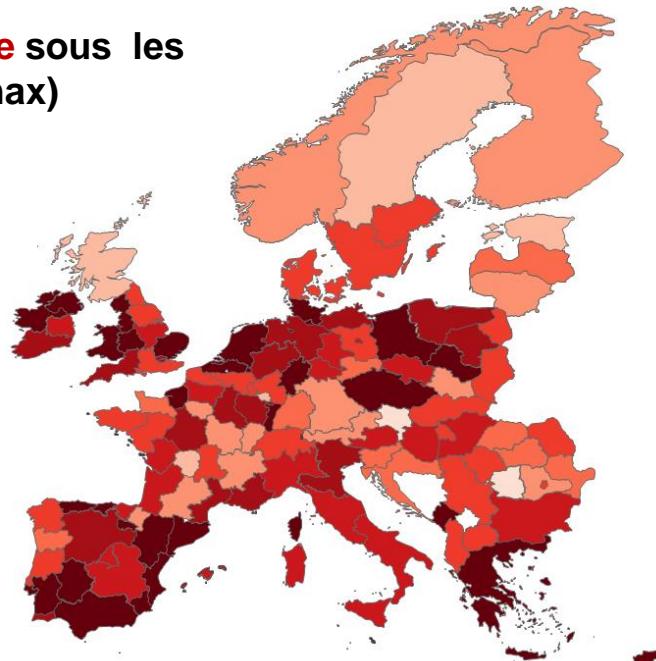
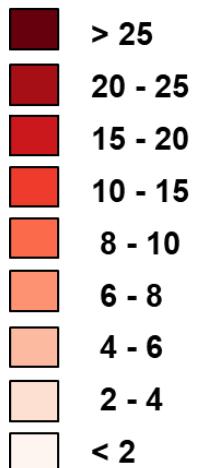
Deux scénarios agri-alimentaires & urbains sobres pour le bassin de la Seine en 2050

https://www.piren-seine.fr/rapports/autres_rapports_et_etudes/deux_scenarios_agri_alimentaires_et_urbains_sobres_pour_le

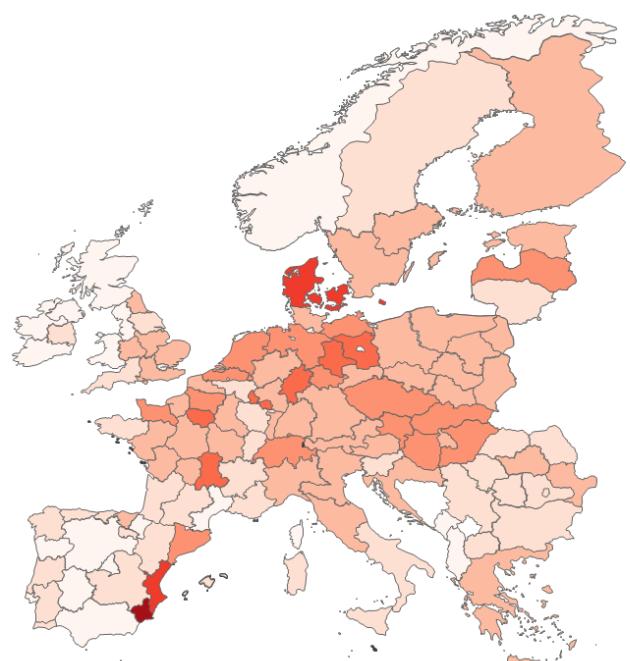
Contamination des eaux : lixiviation

Référence 2019

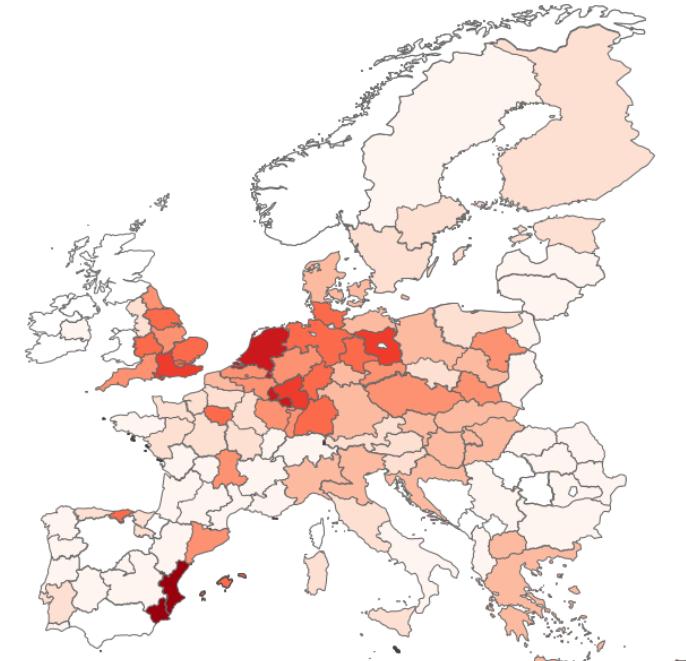
Concentrations en nitrate sous les terres arables (valeurs max)
mgN/L



Agro-écologie 2050



Sobriété radicale 2050

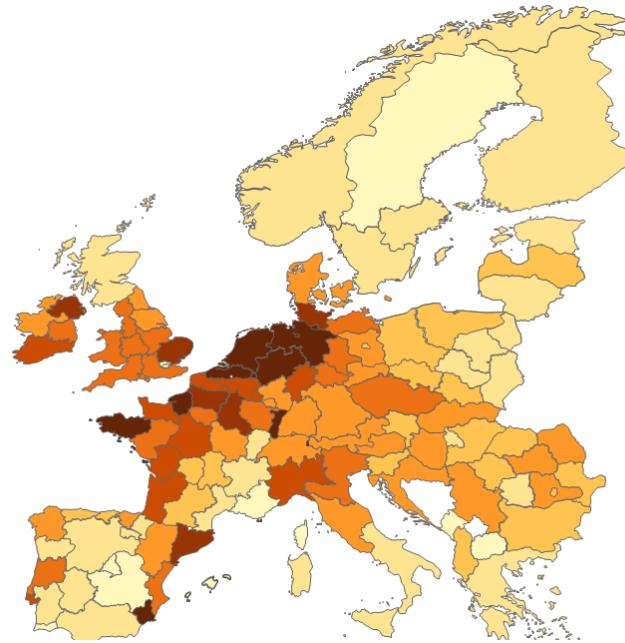


Pollution atmosphérique

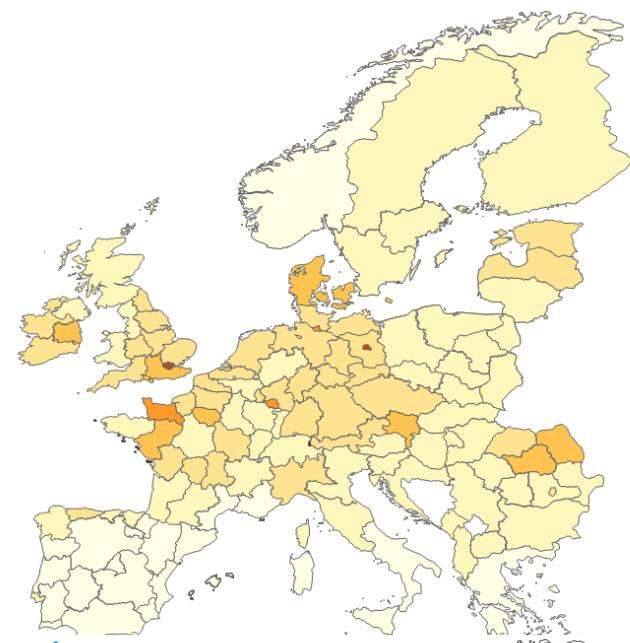
Volatilisation NH₃,
kgN/haSAU/an



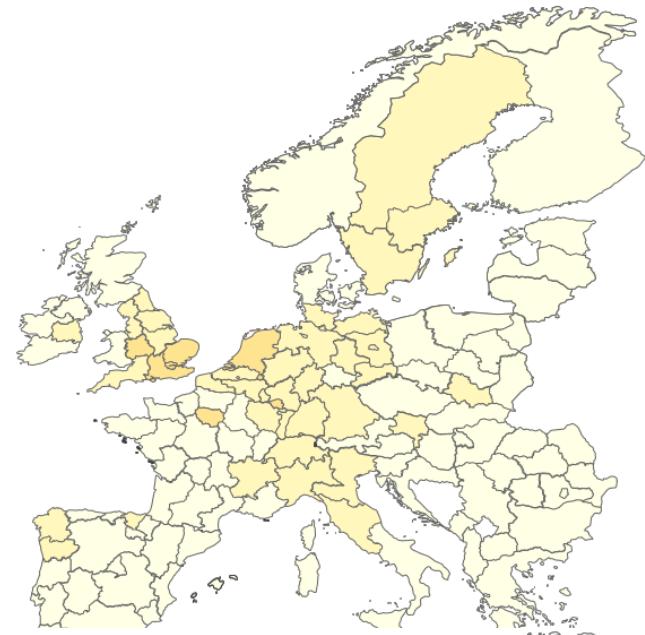
Référence 2019



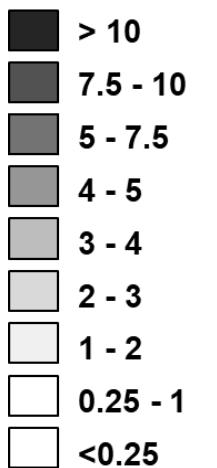
Agro-écologie 2050



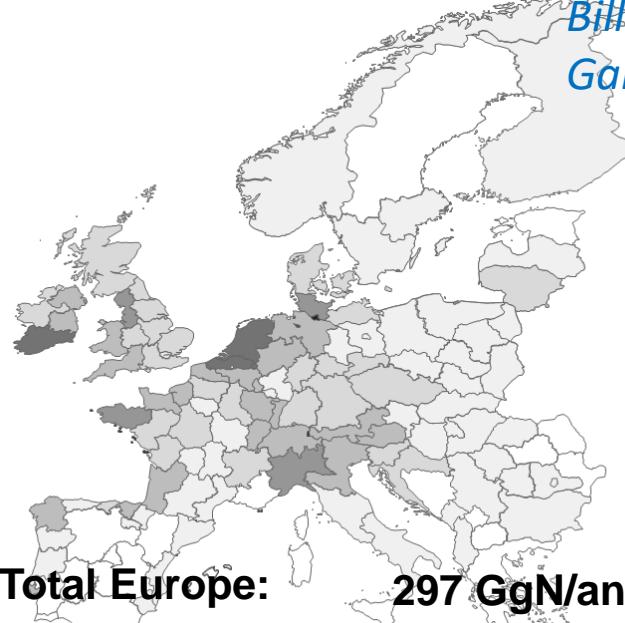
Sobriété radicale 2050



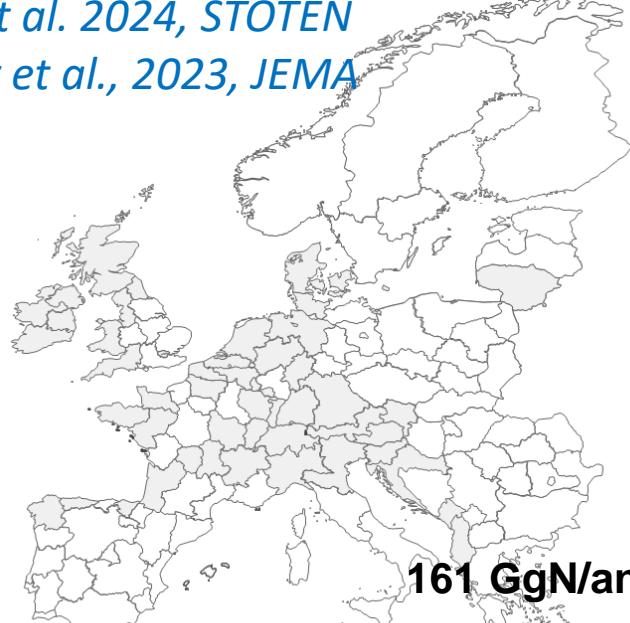
Emission de N₂O,
kgN/haSAU/an



Billen et al. 2024, STOTEN
Garnier et al., 2023, JEMA



Total Europe: 297 GgN/an



161 GgN/an



99 GgN/an

Conclusion et freins

- Les deux scénarios, biogéochimiquement soutenables, permettent de nourrir la population européenne et réduisent les pertes environnementales, d'un facteur 2... au moins !
- Il reste des freins à débloquer avec un besoin de volontés des politiques publiques et des aides pertinentes
 - *Il existe une tendance à l'augmentation de la longueur des rotations mais renoncer à l'utilisation des engrains minéraux synthétiques n'est pas d'actualité (cf. FetigHy)*
 - *La reconnexion élevage et cultures nécessite une réorganisation des métiers liés à l'animal et leur réimplantation sur les territoires qui se sont spécialisés en grandes cultures*
 - *La diminution de la consommation de protéines animales est en bonne voie, mais des programmes éducatifs et de santé publique doivent se développer*
 - *Le recyclage de l'urine à la source nécessite d'être accepté socialement, tant en termes d'installation et de pratiques individuelles qu'en termes d'utilisation par les agriculteurs, sans mainmise de l'agro-industrie*
 - *Etc.*
 - ➔ Les lobby agricoles et agroindustriels ne conçoivent pas l'agriculture sans intrant... Fertilisants chimiques, pesticides, fertilisants organiques transformés, biostimulants... ce qui maintient les agriculteurs en situation de dépendance...
 - ➔ Les politiques ne mesurent pas les enjeux de l'avenir des agriculteurs, de la fertilité des sols, de l'association de la crise agricole aux problèmes climatiques, géopolitiques, et s'installent dans une forme de déni insidieux.

Références

- Anglade J., Billen G., Garnier J., Makridis T., Puech T., Tittel C. (2015). Nitrogen soil surface balance of organic vs conventional cash crop farming in the Seine watershed. *Agricultural Systems*, 139: 82-92. doi.org/10.1016/j.aghsy.2015.06.006
- Barles S., Barataud F., Billen G., Esculier F., Garnier J., Lumbroso S., Petit, C., Poux X. (2024). Deux scénarios agri-alimentaires et urbains sobres pour le bassin de la Seine. Coord. : Barles, S., Poux, X., Garnier, J. Porte-folio #2 du PIREN-Seine, 64p. <https://doi.org/10.26047/6xbh-hc52>. https://piren-seine.fr/scenarios_sobres_piren_seine
- Billen G., Garnier, J., Lassaletta L. (2013). Modelling the nitrogen cascade from watershed soils to the sea: from regional to global scales. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2013, 368: 20130123. doi. [10.1098/rstb.2013.0123](https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0123)
- Billen G., Le Noë J., Garnier J. (2018). Two contrasted future scenarios for the French agro-food system. *Science of the Total Environment*, 637–638: 695–705. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.043.
- Billen G., Aguilera E., Einarsson R., Garnier J., Gingrich S., Grizzetti B., Lassaletta L., Le Noë L., Sanz-Cobena A. (2024) Beyond the Farm to Fork Strategy: methodology for designing a European agro-ecological future. *Sc. Tot. Envir.* 908: 168160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168160>
- Esculier, F., Le Noë, J., Barles, S., Billen, G., Créo, B., Garnier, J., Lesavre, J., Petit L., Tabuchi, J.- P. (2018). The biogeochemical imprint of human metabolism in Paris Megacity: a regionalized analysis of a water-agro-food system. *Journal of Hydrology*. [10.1016/j.jhydrol.2018.02.043](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.043).
- Garnier J., Anglade J., Benoit M., Billen G., Puech T., Ramarson A., Passy P., Silvestre M., Lassaletta L., Trommenschlager J.-M, Schott C., Tallec G. (2016). Reconnecting crop and cattle farming to reduce nitrogen losses in river water of an intensive agricultural catchment (Seine basin, France). *Environmental Science and Policy*. 63: 76–90. doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.019
- Garnier J., Le Noë J., Marescaux A., Sanz-Cobena A., Lassaletta L, Silvestre M., Thieu V., Billen G. (2019). Long term changes in greenhouse gas emissions of French agriculture (1852-2014): from traditional agriculture to conventional intensive systems. *Science of the Total Environment*, 660: 1486-1501. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.048
- Garnier J., Marescaux A., Guillou S., Vilmin L. Rocher V., Billen G., Thieu V., Silvestre M., Passy P., Groleau A., Tallec G., Flipo N. (2020). Ecological functioning of the Seine River: from long-term modelling approaches to high-frequency data analysis. In: Flipo N, Labadie P, Lestel L (2021). *The Seine River basin, Handbook of Environmental Chemistry*, Springer. [DOI 10.1007/698_2019_379](https://doi.org/10.1007/698_2019_379).
- Garnier J., Billen G., Aguilera E., Lassaletta L., Einarsson R., Serra J., Cameira M.R., C. Marques-dos-Santos, Sanz Cobena A. (2023). How much can changes in the agro-food system reduce agricultural nitrogen losses to the environment? Example of a temperate-Mediterranean gradient. *J. of Environm. Manag.*, 337: 117732. doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117732
- Garnier, J., Billen, G. (2025). Toward sustainability of territorial agro-food systems in Europe: indicators for assessing alternative scenarios. *Environmental Research Letters*, 20(9), 094059. [10.1088/1748-9326/adf97e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/adf97e)