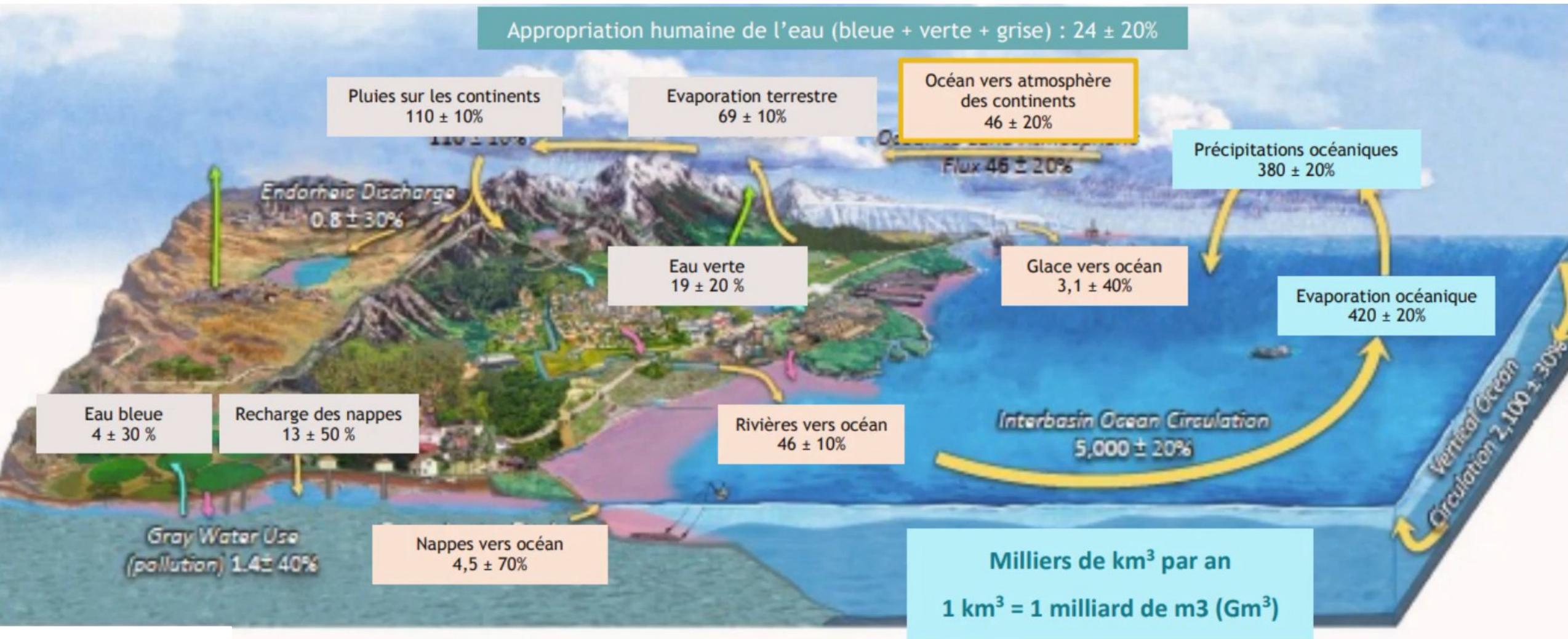


L'eau et l'anthropocène

Face aux changements globaux,
quels nouveaux paradigmes ?

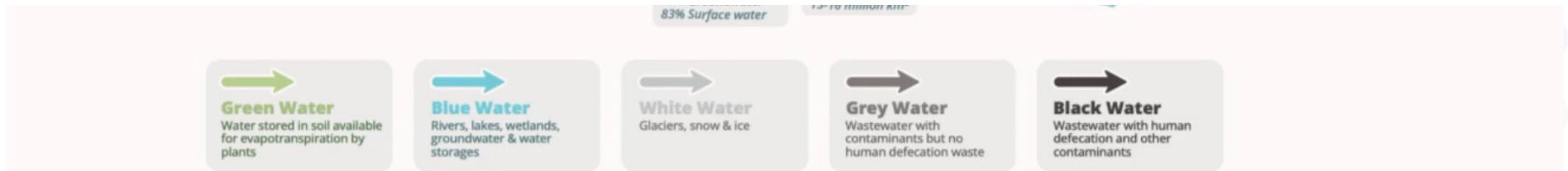
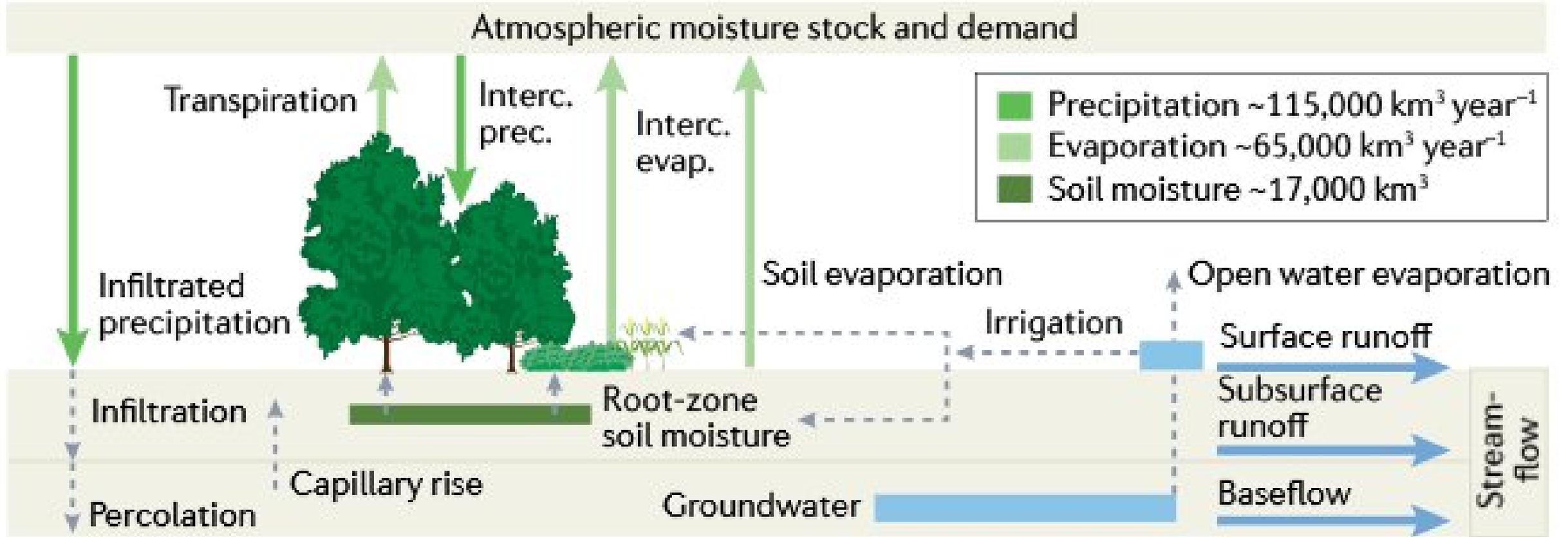
Mathieu Spérandio
30/09/2023





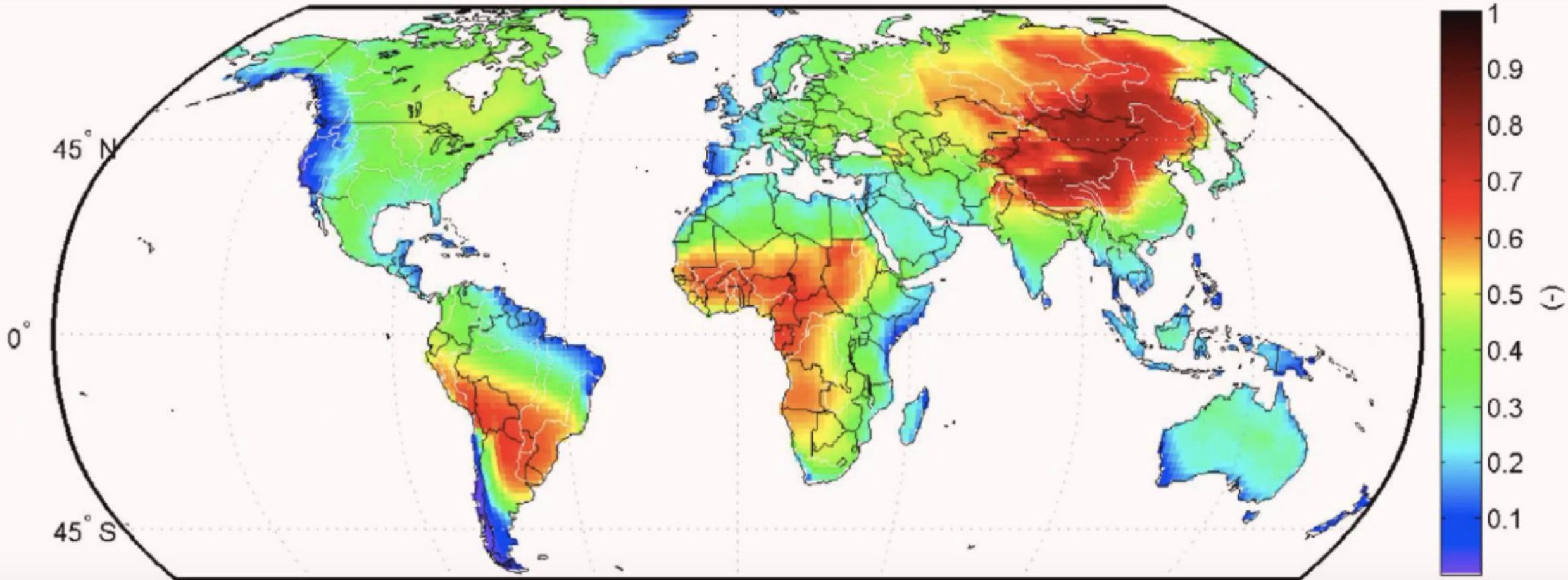
Abbott, B.W., Bishop, K., Zarnetske, J.P. *et al.* Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat. Geosci.* **12**, 533–540 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>

a The water cycle over land



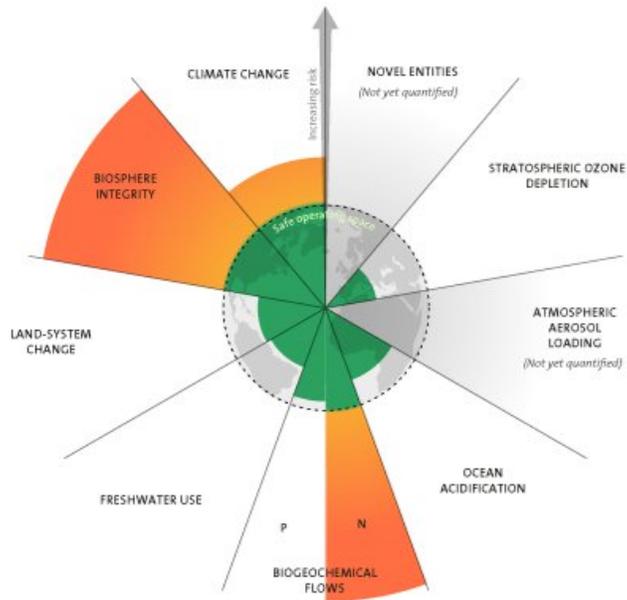
Des cycles fortement recyclés

Origine des précipitations
1: issues de l'évaporation de
l'eau verte)



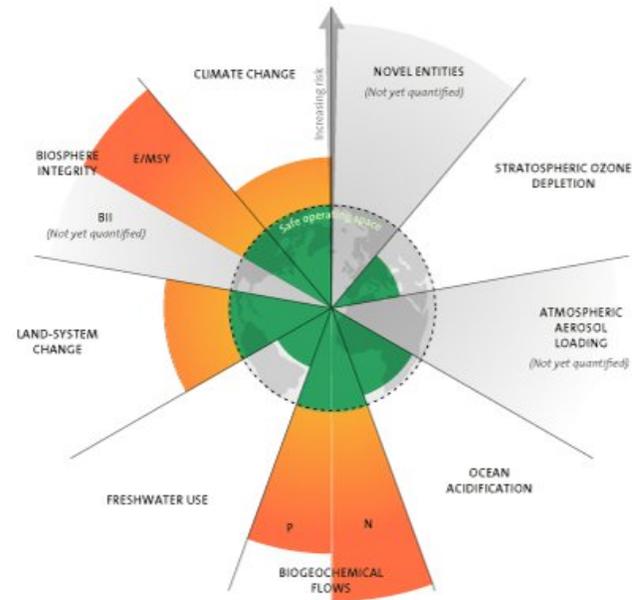
Des limites planétaires transgressées

2009



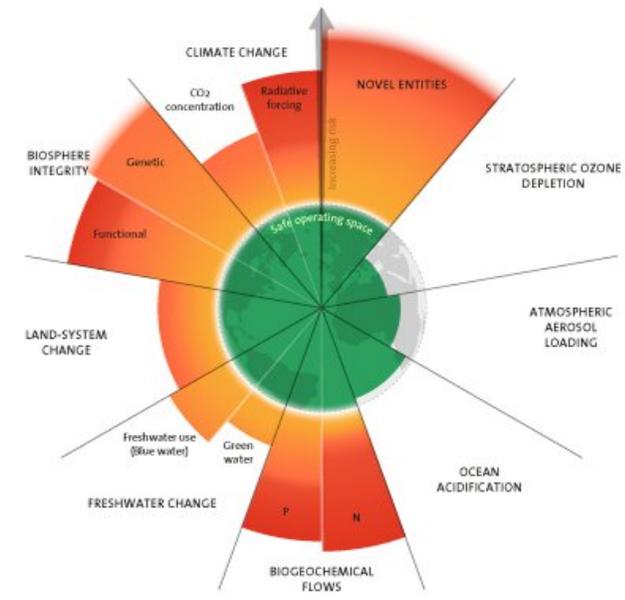
3 boundaries crossed

2015



4 boundaries crossed

2023



6 boundaries crossed

The evolution of the planetary boundaries framework. Licenced under CC BY-NC-ND 3.0. You are free to share – copy and redistribute the material in any medium or format. (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009) Click on image to download

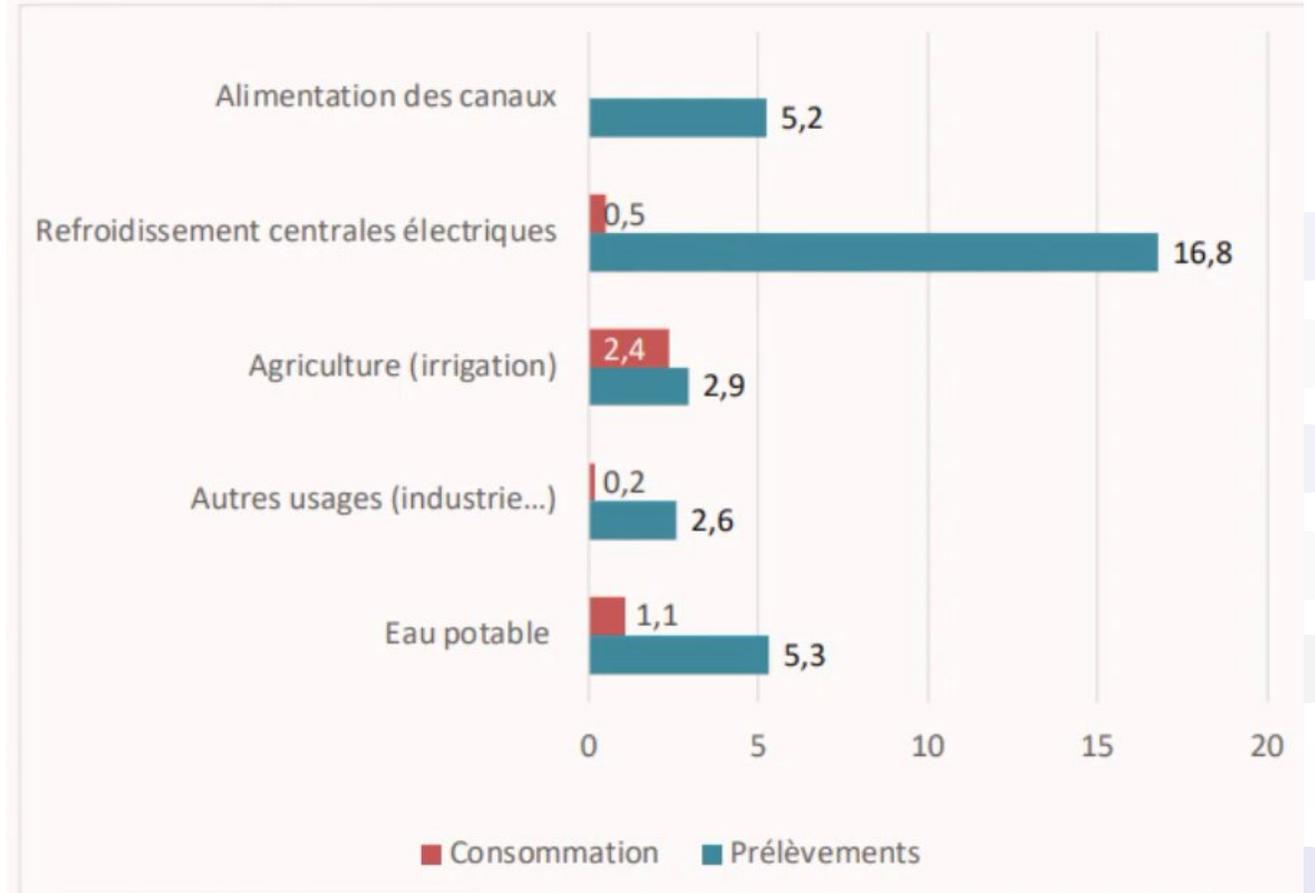
2022, de nouvelles limites transgressées

- En janvier 2022, 14 scientifiques ont conclu dans la revue scientifique [Environmental Science and Technology](#) que l'humanité avait dépassé une limite planétaire liée aux **polluants environnementaux et autres "entités nouvelles", dont les plastiques.**
- En avril 2022, une réévaluation de la limite planétaire pour l'eau douce a indiqué qu'elle avait été transgressée. **Cette conclusion est due à l'inclusion, pour la première fois, de l'"eau verte"** - l'eau disponible pour les plantes - dans l'évaluation de la limite.
- Des sols trop imperméabilisés (agriculture intensive et labours, villes et urbanisation) et les changements climatiques provoquent **des changements généralisés de l'humidité du sol (eau verte)** par rapport aux conditions du milieu de l'Holocène [Nature Reviews Earth & Environment](#)

Consommations \neq prélèvements



Ex: France



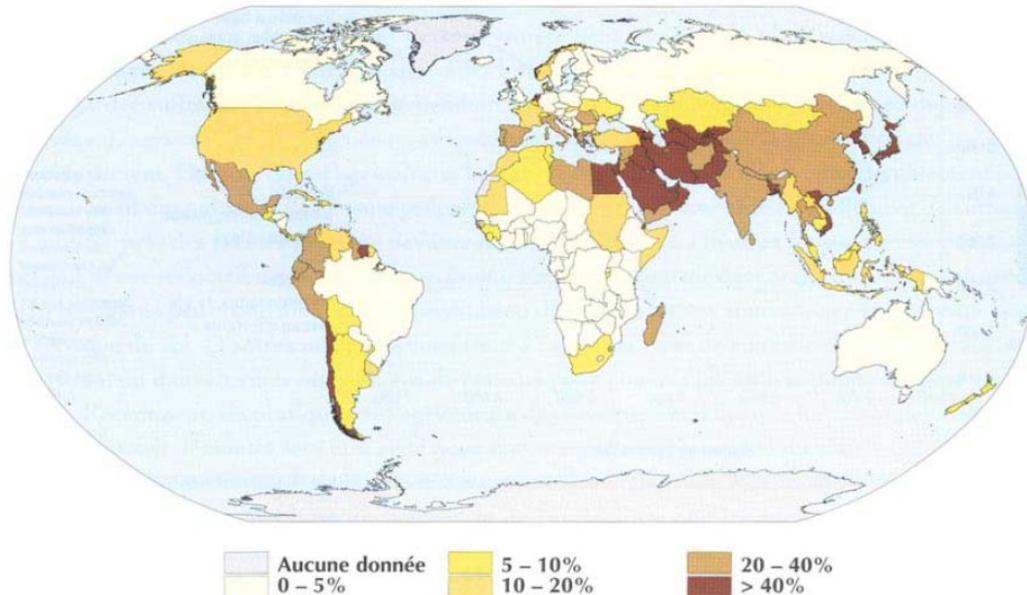
Des consommations plutôt à la baisse, sauf pour l'agriculture

Ex: eau potable -10% en 10 ans

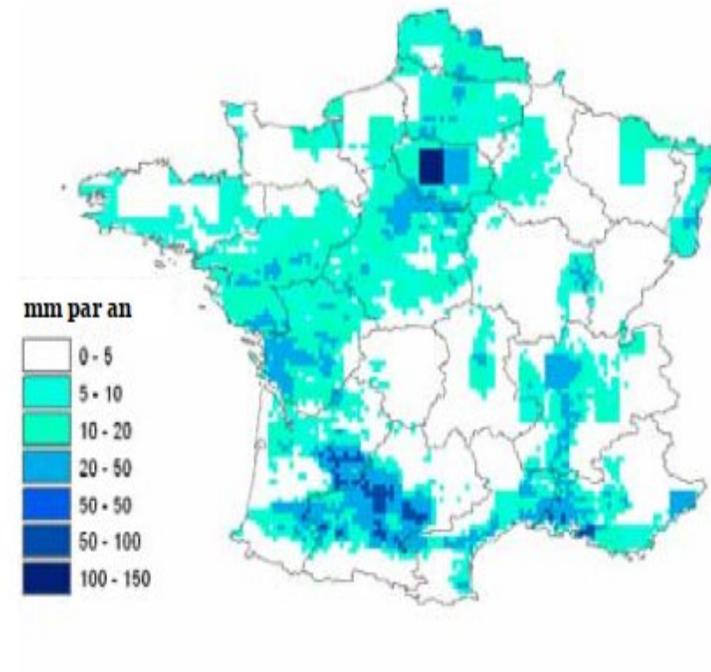
L'agriculture irriguée

- 17 % de toutes les terres agricoles sont irriguées. Mais à elles seules, ces dernières assurent 40 % de la production vivrière mondiale.
- En France le maïs (<10% des surfaces agricoles) représente 41% des surfaces irriguées et constitue un pilier de l'alimentation animale

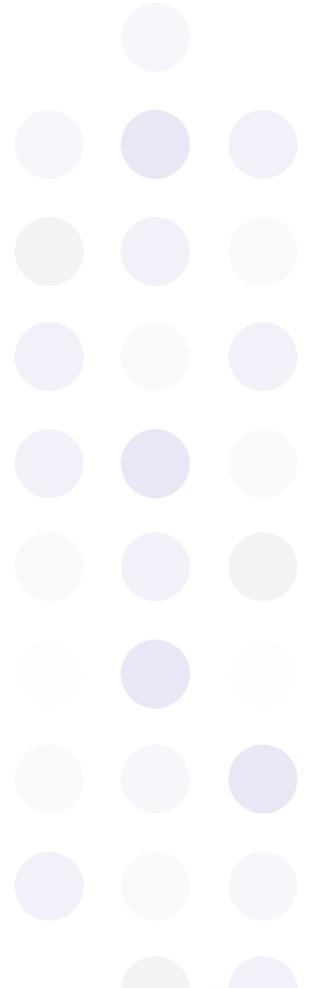
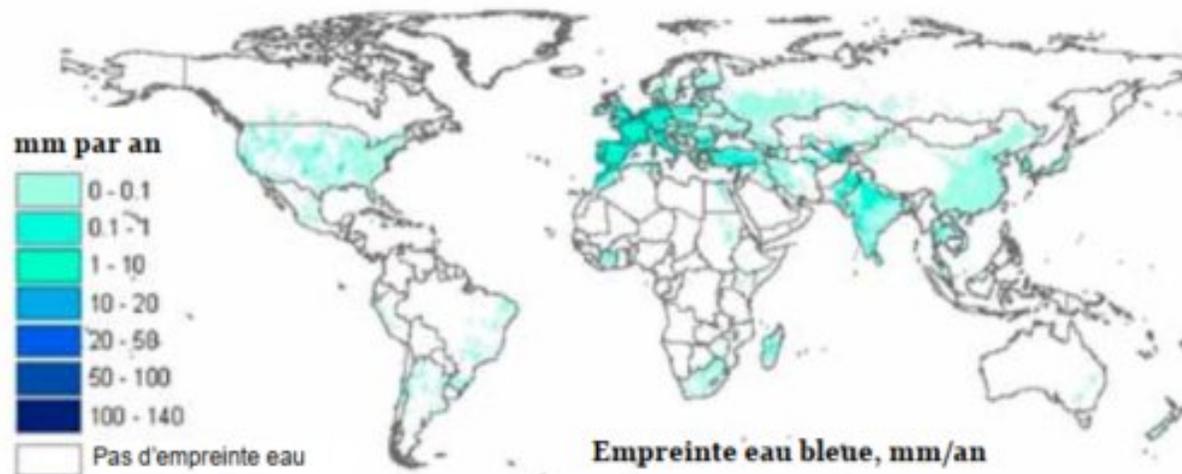
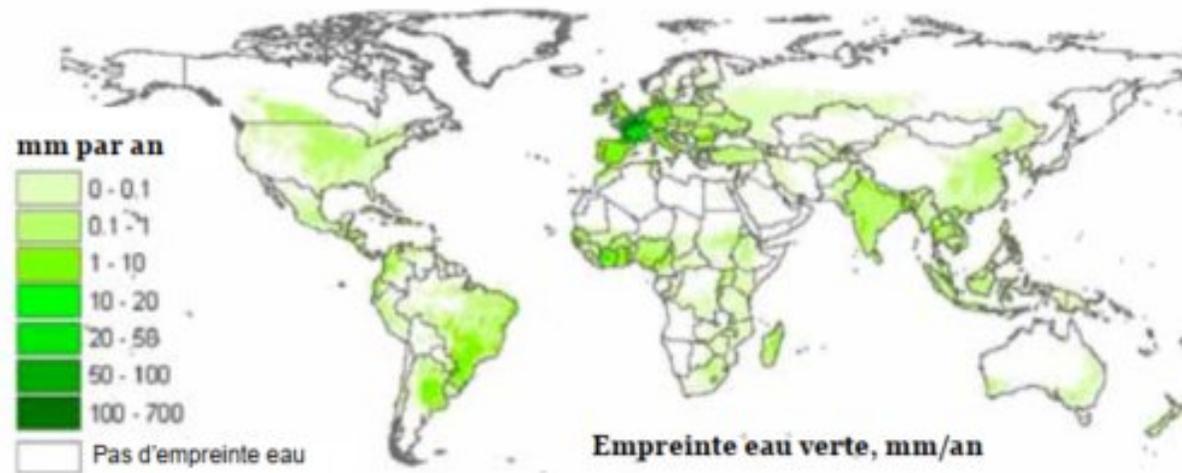
Carte 1 Zones aménagées pour l'irrigation en pourcentage des terres cultivées par pays (1998)



Empreinte 'eau bleue' de la production agricole française



L'empreinte eau de la France



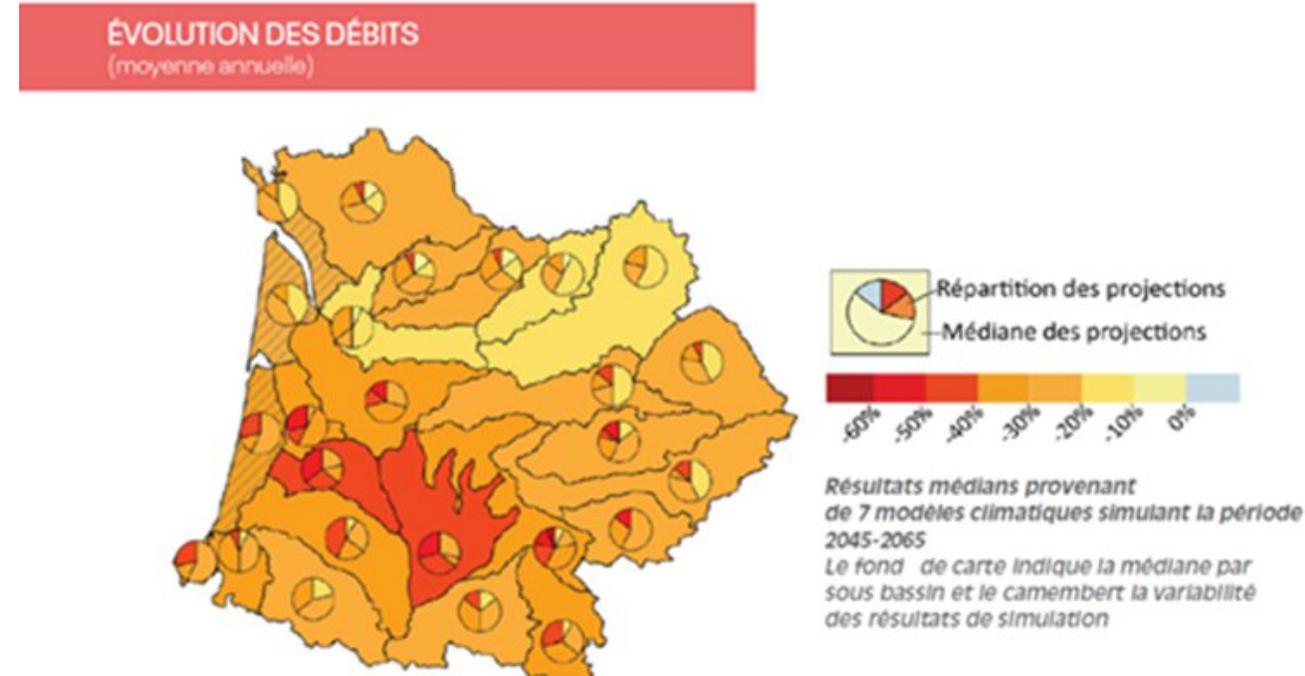
L'empreinte eau de la France

Bassins « points chauds »	% de l'empreinte eau bleue de consommation agricole de la France	Nombre de mois par an où le bassin subit un niveau de rareté modéré, significatif ou sévère.			Produits du « point chaud »
		Modéré	Significatif	Sévère	
Mer d'Aral - drainage (Ouzbékistan)	6.38	1	0	4	Coton
Garonne	5.44	1	1	1	Maïs, soja, produits animaux
Escaut	4.46	0	1	3	Maïs, pommes de terre
Loire	4.43	0	2	0	Maïs
Indus (Pakistan)	3.85	1	3	8	Coton, riz, sucre de canne
Guadalquivir (Espagne-Portugal)	2.98	1	0	6	Coton, tournesol, riz, betterave à sucre
Seine	2.23	2	0	2	Maïs, pommes de terre, betterave à sucre
Gange (Inde)	2.19	0	2	5	Riz, sucre de canne
Guadiana (Espagne-Portugal)	1.79	1	0	6	Raisin, tournesol, citron
Tigre & Euphrate (Turquie, Syrie, Irak)	1.62	0	1	5	Coton, riz
Po (Italie, Suisse)	1.59	2	0	0	Riz, produits animaux
Ebro (Espagne)	1.39	0	0	3	Maïs
Sebou (Maroc)	1.39	1	1	5	Betterave à sucre

Se préparer

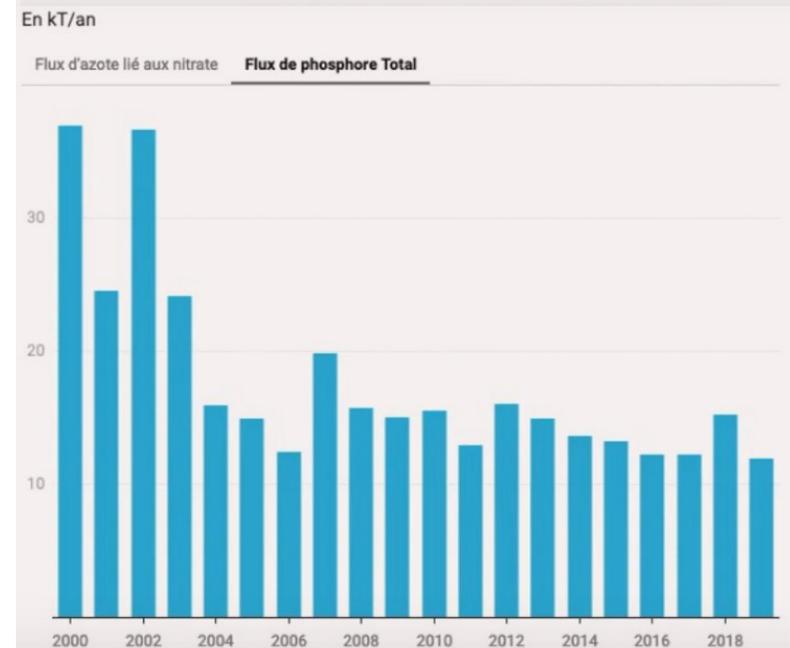
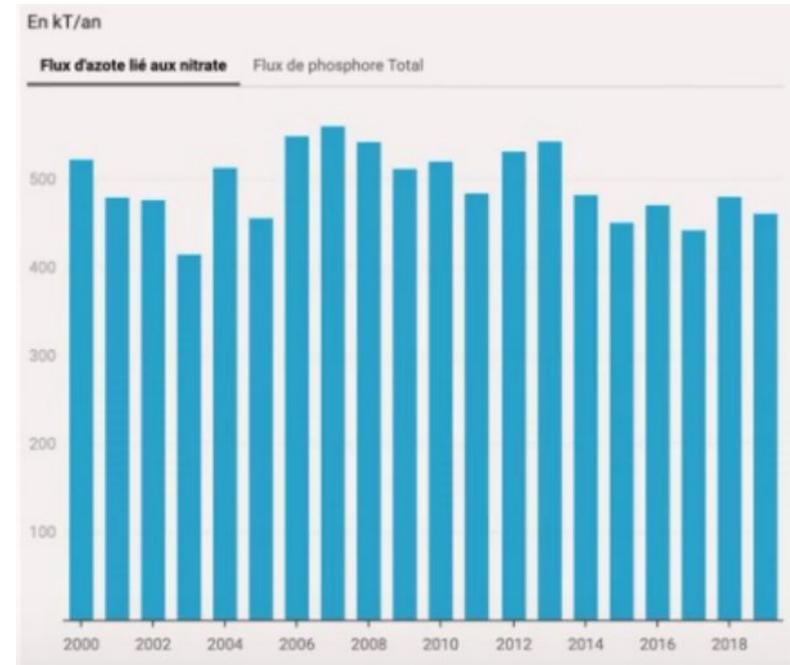
- Dans notre région:
- 2050: précipitations moyennes stables mais hétérogènes, plus d'évapotranspiration, Ecoulements -30%, Etiage -50%
- 2070: débits moyens -50%, Etiage...
- Des recharges de nappes plus difficiles

- Baisse des débits d'étiage => rivières plus vulnérables => exigence de traitement plus élevées

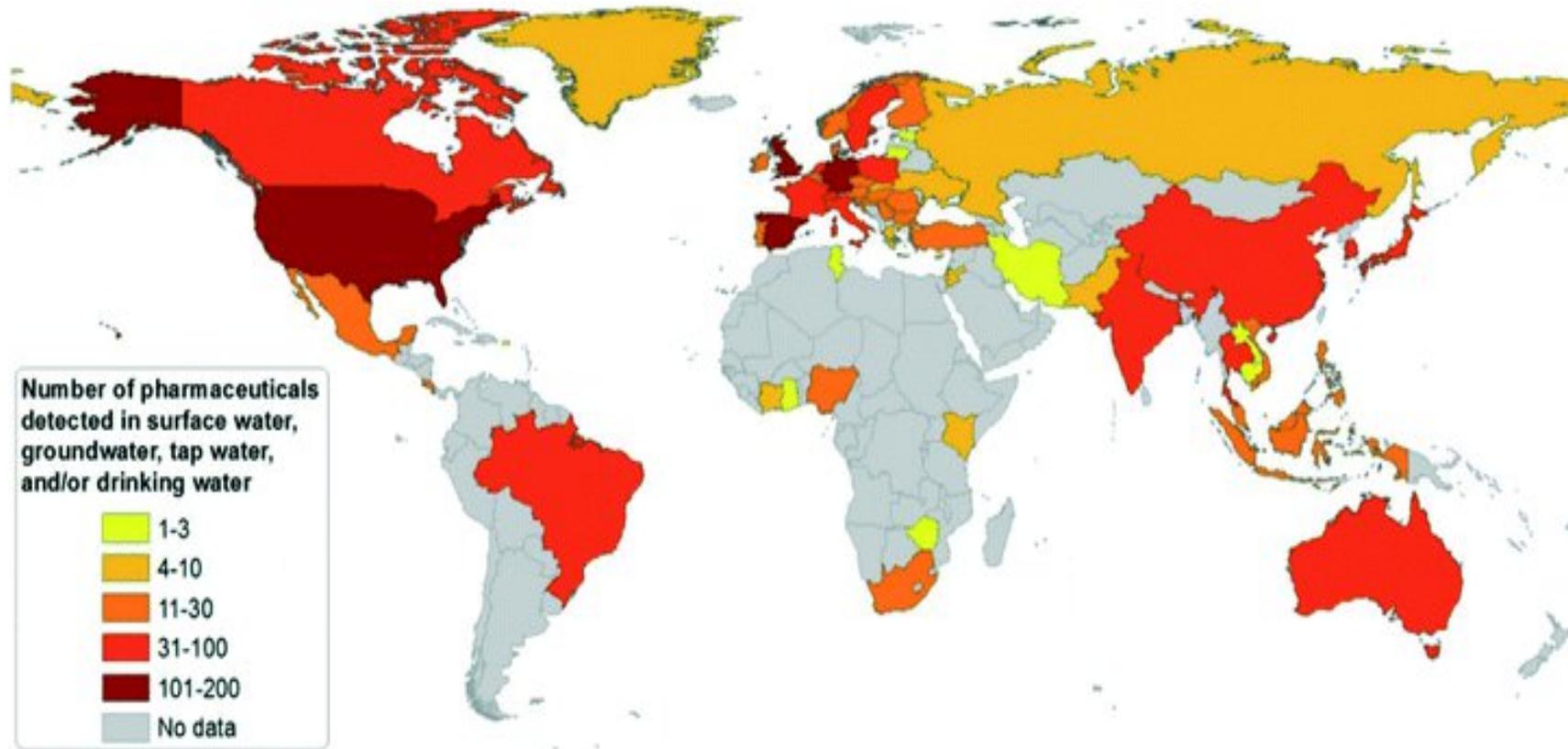


Eau, réceptacle de nos pollutions

- Des améliorations : Baisse des pollutions organiques (-80% en 20 ans), baisse des pollutions métaux (-90% en 20 ans)
- Des pollutions en azote qui diminuent trop peu: 2 millions de tN/an en engrais, 500kt/an qui se retrouvent dans les masses d'eau, encore également des stations dont le traitement de l'azote est incomplet
- Diminution des pollutions en phosphore (suppression des lessives) mais persistance de l'usage agricole, 11 Kt/an rejetés, de certaines petites stations en zone rurales



Molécules pharmaceutiques



Concentration en pesticides

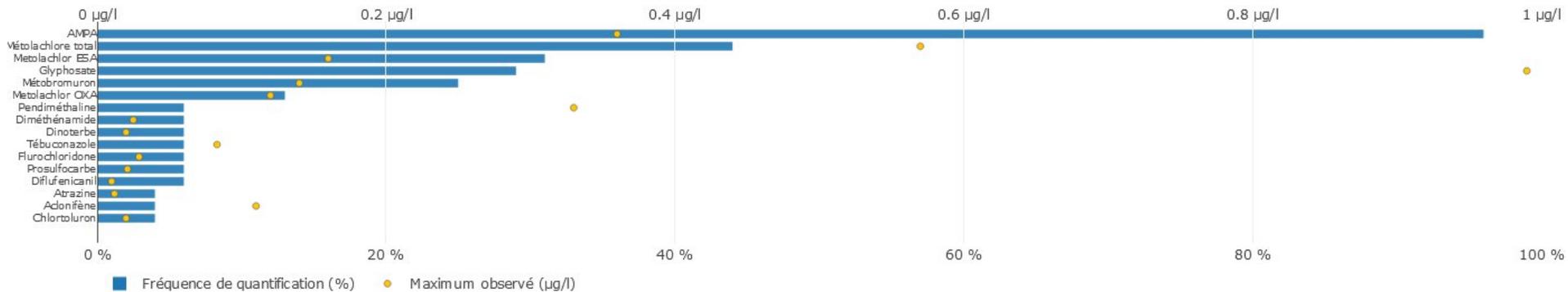


Analyse statistique des principales molécules phytosanitaires pour la période 2021-2023



		Moyenne par station sur le Bassin Adour-Garonne
Nb de molécules recherchées	290	
Nb de molécules quantifiées	16	12.4
Fréquence de quantification	1.1% (55/4928)	2.4% (56.6/2364.5)

Molécules les plus quantifiées



« Petit cycle »



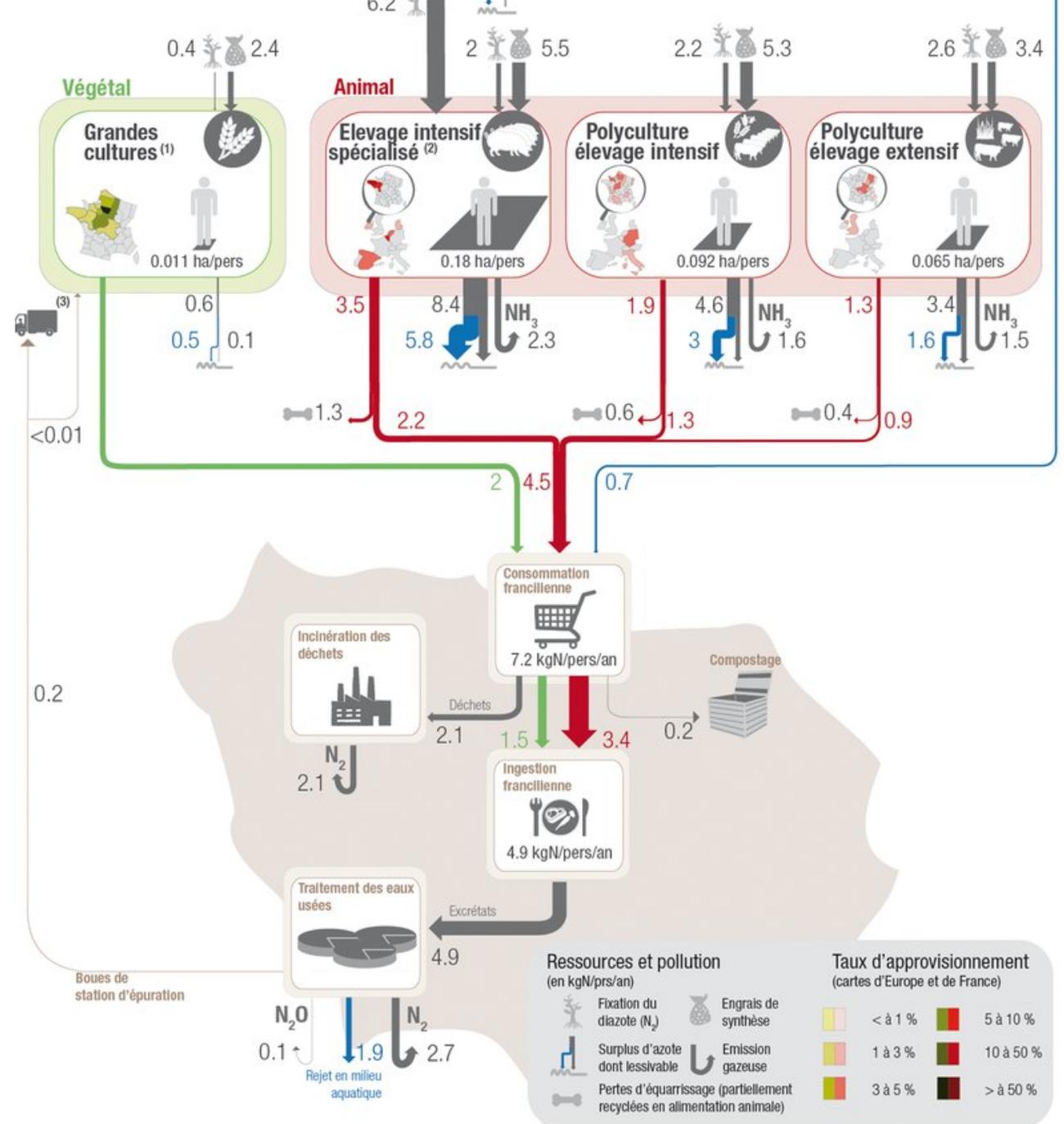
L'eau domestique: infrastructures

- En France: 38000 captages, 17000 stations de potabilisation, 21000 stations d'épuration, 1M km réseau eau potable, 380 000 km réseau assainissement
- Réseaux: 20% de fuite en France
- Cout: 6,2 Mds€ / an
- Réseau renouvellement: 0,5% par an



Exemple d'un cycle perturbé: l'azote

- L'azote est assimilé pour faire des protéines: champs, assiette, eaux usées
- Des flux d'azote doublés dans l'environnement par l'activité humaine



Etat global amont Toulouse



Réseaux
suivi piscicole,
En amont
En amont (affluents)
A l'aval

Suivi prises AEP, Etude particulière, Réseau Phytosanitaire, Contrôle de surveillance, Réseau Nitrates, AFB

05163950 (4.8km), 05174000 (9.1km), 05174001 (10.7km), ...
05164001 (8.1km), 05163860 (10km), 05164000 (10.4km), ...
05163000 (3.6km), 05162990 (4.2km), 05162950 (4.4km), ...

Ecologie ?	Chimie	Historique	Analyses	Phytosanitaires	Téléchargements
------------	--------	------------	----------	-----------------	-----------------

Evaluation de l'état écologique (Données de 1991 à 2022) pour l'année 2022

1991 ← 2022 → 2022

Ecologie		Moyen			
Physico chimie		Bon			
Les valeurs retenues pour qualifier la physico-chimie sur trois années correspondent au percentile 90. Cet indicateur correspond à la valeur qui est supérieure à 90 % des valeurs annuelles relevées.					
			Valeurs retenues	Seuil Bon état	
Oxygène		Bon			
Carbone Organique		Très bon	2.2 mg/l	≤ 7 mg/l	
Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5)		Très bon	1.6 mg O2/l	≤ 6 mg/l	
Oxygène dissous		Bon	7.6 mg O2/l	≥ 6 mg/l	
Taux de saturation en oxygène		Bon	88 %	≥ 70%	
Nutriments		Très bon			
Ammonium		Très bon	0.05 mg/l	≤ 0,5 mg/l	
Nitrites		Très bon	0.04 mg/l	≤ 0,3 mg/l	
Nitrates		Très bon	5.8 mg/l	≤ 50 mg/l	
Phosphore total		Très bon	0.04 mg/l	≤ 0,2 mg/l	
Orthophosphates		Très bon	0.04 mg/l	≤ 0,5 mg/l	
Acidification		Bon			
Potentiel min en Hydrogène (pH)		Très bon	8 U pH	≥ 6 U pH	
Potentiel max en Hydrogène (pH)		Bon	8.4 U pH	≤ 9 U pH	
Température de l'Eau		Très bon	24 °C	≤ 25,5° (Eaux cyprinicoles)	
Biologie		Moyen	Note brute	E.Q.R.	Seuil Bon état

Etat global aval Toulouse



2016-2021, Réseau Nitrates, AFB suivi piscicole,
En amont 05161500 (5.8km), 05161850 (9.7km), 05161900 (10.4km), ...
En amont (affluents) 05161950 (11.2km), 05162000 (13.6km), 05163100 (16.8km), ...
A l'aval 05156700 (12.8km), 05154800 (19.3km), 05154500 (25.1km), ...

Ecologie ? Chimie Historique Analyses Phytosanitaires Téléchargements

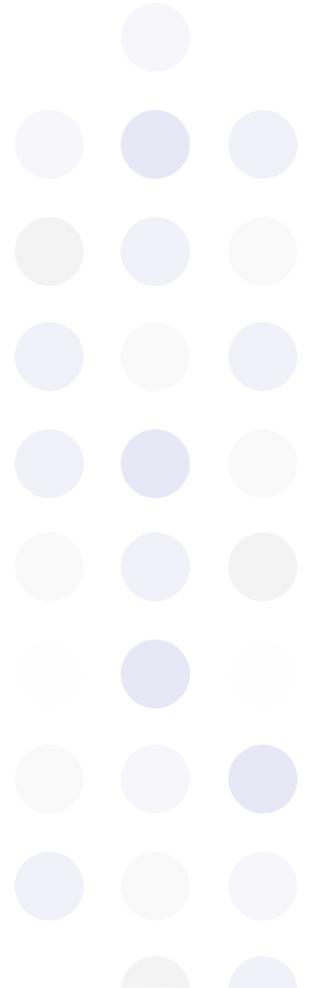
Evaluation de l'état écologique (Données de 1971 à 2022) pour l'année 2022

1971 ← 2022 → 2022

Ecologie		Moyen			
Physico chimie		Bon			
Les valeurs retenues pour qualifier la physico-chimie sur trois années correspondent au percentile 90. Cet indicateur correspond à la valeur qui est supérieure à 90 % des valeurs annuelles relevées.					
Oxygène		Bon			
Carbone Organique		Très bon	2.5 mg/l	Seuil	≤ 7 mg/l
Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5)		Très bon	2.1 mg O2/l	Bon état	≤ 6 mg/l
Oxygène dissous		Bon	7.6 mg O2/l		≥ 6 mg/l
Taux de saturation en oxygène		Bon	87 %		≥ 70%
Nutriments		Bon			
Ammonium		Bon	0.15 mg/l		≤ 0,5 mg/l
Nitrites		Bon	0.14 mg/l		≤ 0,3 mg/l
Nitrates		Très bon	7 mg/l		≤ 50 mg/l
Phosphore total		Bon	0.1 mg/l		≤ 0,2 mg/l
Orthophosphates		Bon	0.15 mg/l		≤ 0,5 mg/l
Acidification		Bon			
Potentiel min en Hydrogène (pH)		Très bon	7.9 U pH		≥ 6 U pH
Potentiel max en Hydrogène (pH)		Bon	8.7 U pH		≤ 9 U pH
Température de l'Eau		Très bon	24 °C		≤ 25,5° (Eaux cyprinicoles)
Biologie		Moyen			
	Note brute	E.Q.R.		Seuil	Bon état

Quelles adaptations ?

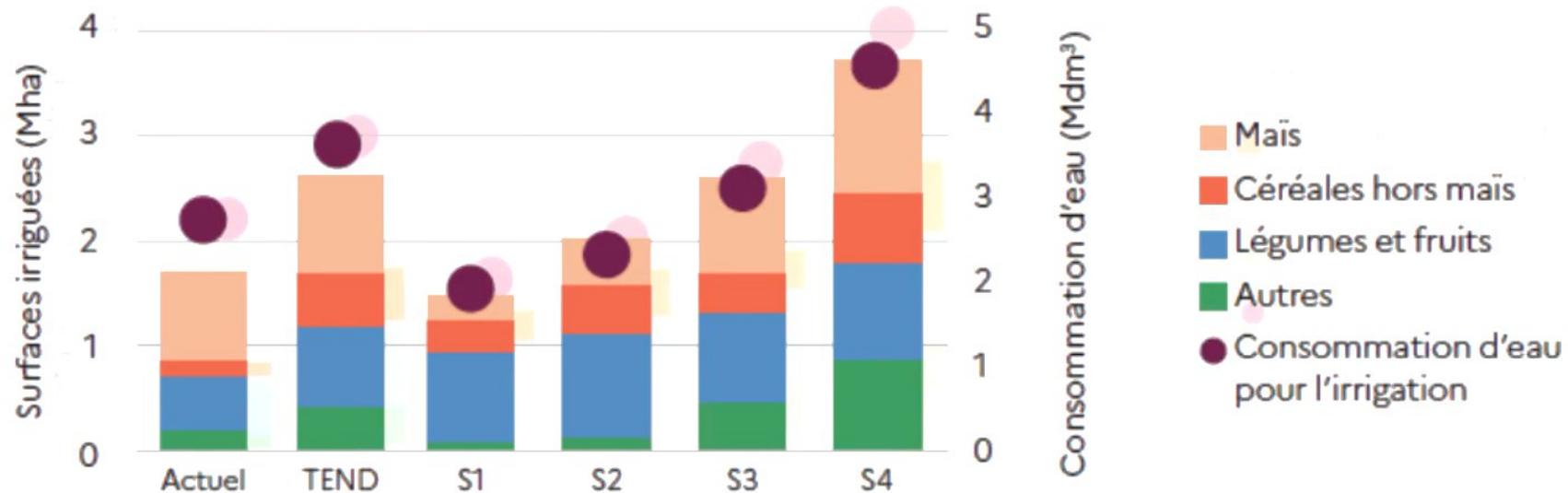
Possibles, souhaitables, nécessaires



Des scénarios pour l'agriculture ?

Prioriser l'irrigation pour les cultures alimentaires végétales (légumes, fruits, légumineuses, etc.)

Graphique 8 Usages de l'eau actuels et à l'horizon 2050 dans les différents scénarios (consommation et surfaces irriguées)



Trajectoires 2050 : dans S1 l'irrigation est ciblée sur les légumes, la consommation d'eau et les surfaces irriguées sont la moitié de celles de S4.

Des scénarios pour l'agriculture ?



Perméabilité: Un sol labouré sans humus: 1 mm/h
Un sol forestier: 80 mm/h

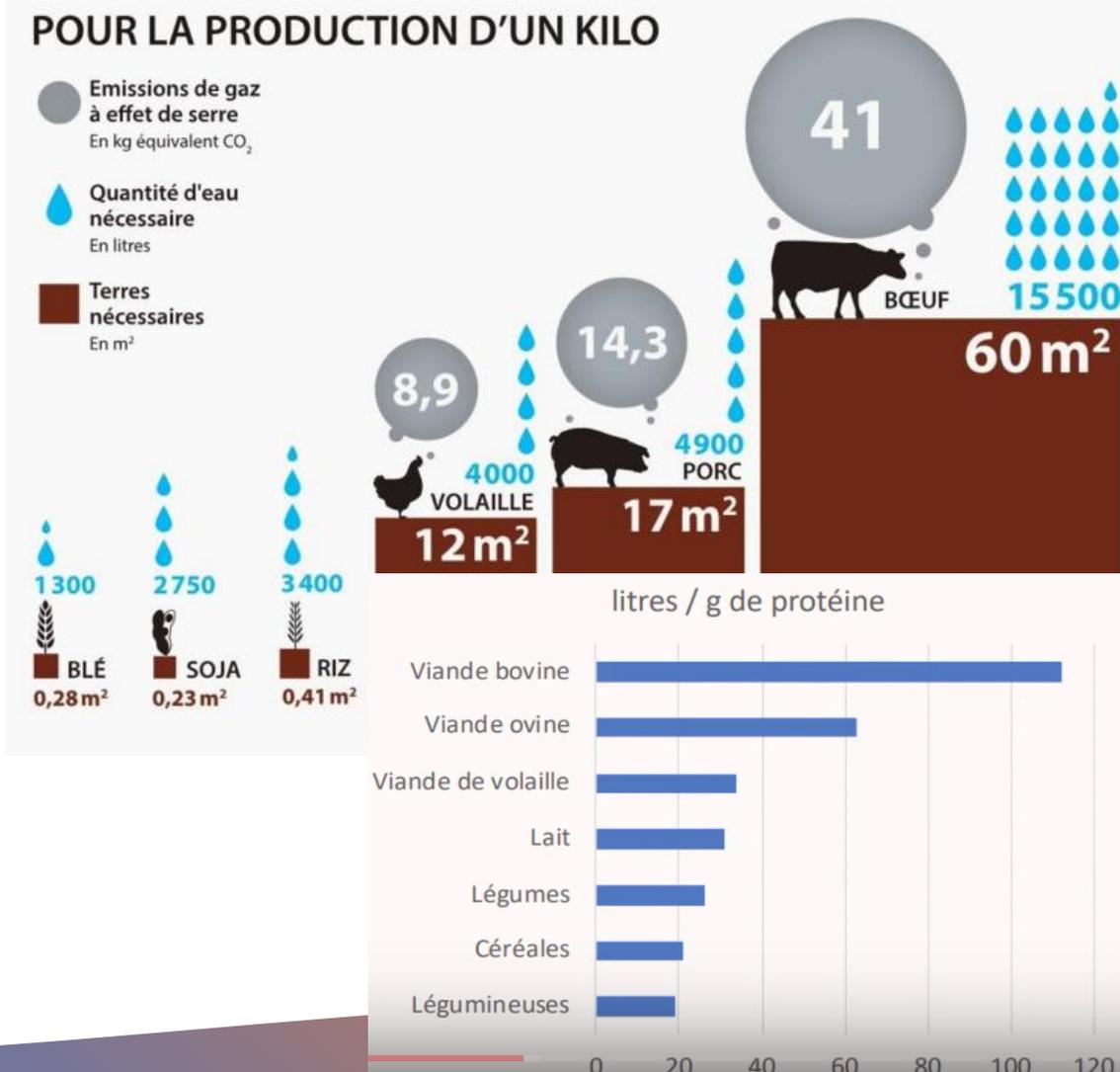
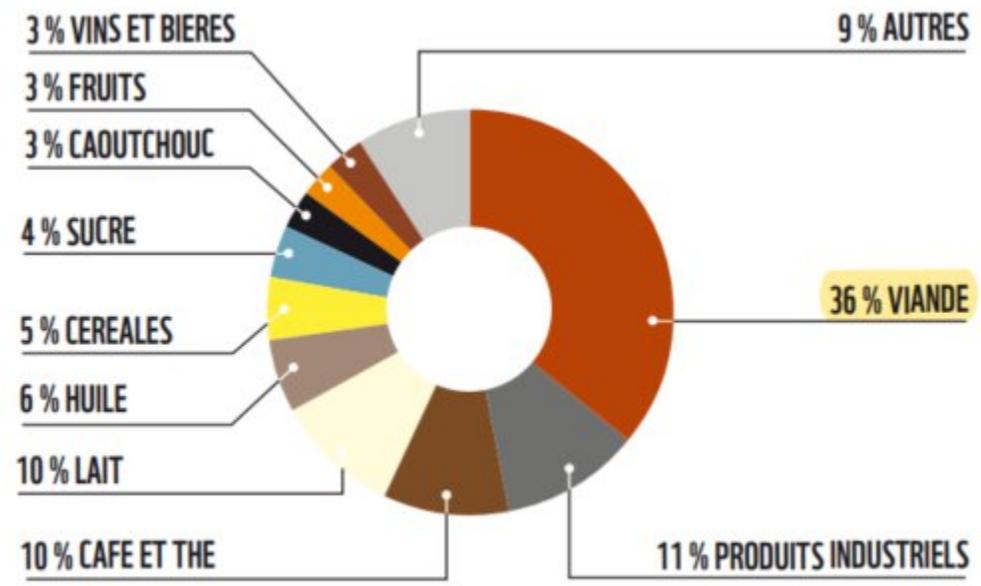
Il faut limiter l'érosion des sols et augmenter la rétention de l'eau

- Arrêt du labour
- Agriculture de conservation des sols
- Semis direct
- Agro-foresterie
- Arrêt des pesticides



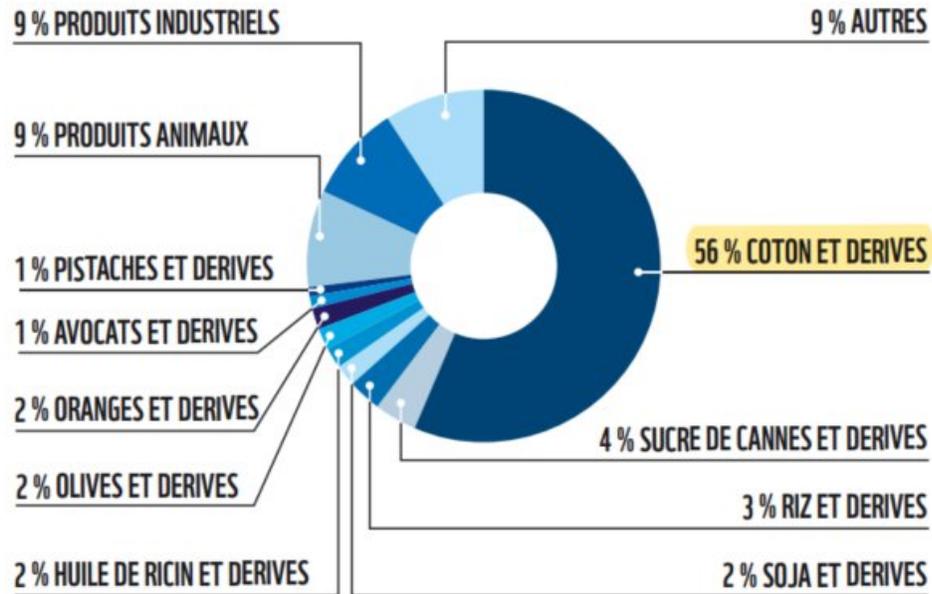
Nos choix alimentaires: un levier majeur pour réduire notre empreinte eau

Fig. 6 : Empreinte Eau de consommation de la France, par catégories de produits



Réduire les consommations des produits tels que...

Fig. 13 : Importations d'eau bleue virtuelle par groupes de produits



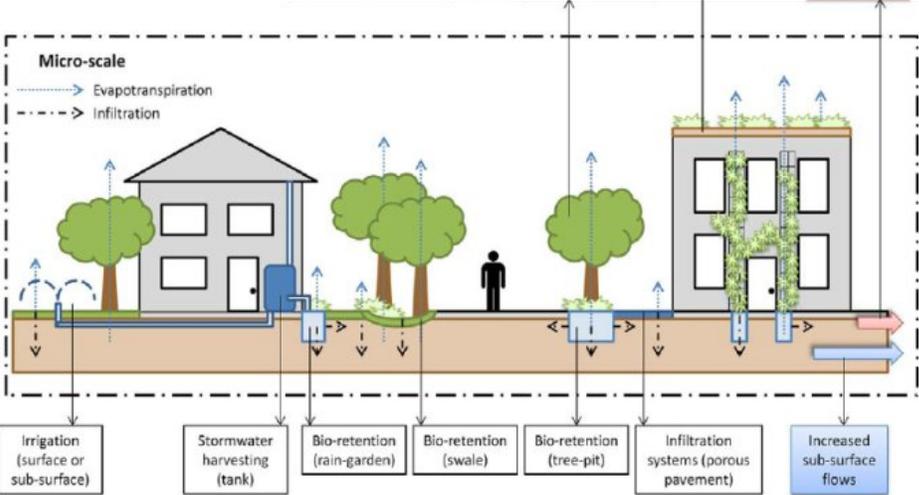
Des scénarios globaux? Efficience et sobriété

Scénario explore 2070

Scénario	Eau potable / Industrie	Agriculture
1 : sobriété dans les usages de l'eau	Réduction fuites réseaux de 15 % Réduction consommation de 20 %	Conversion de 100 % du maïs irrigué en céréales sèches (50 %) et en autres cultures irriguées (50 %) : blé, soja et autres céréales



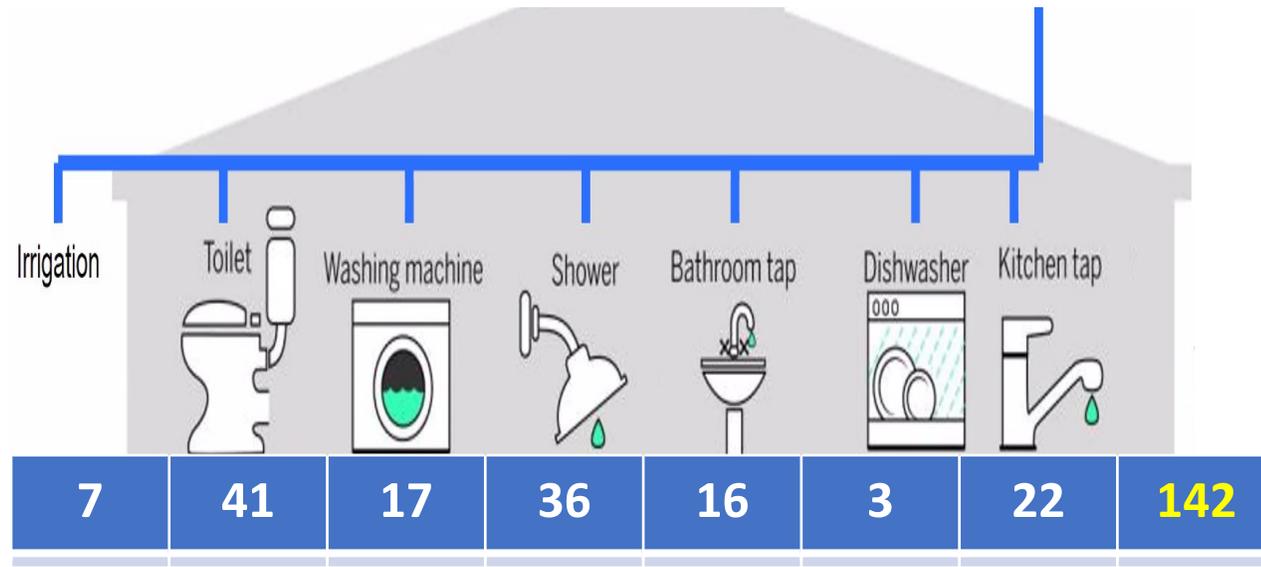
Désimperméabiliser



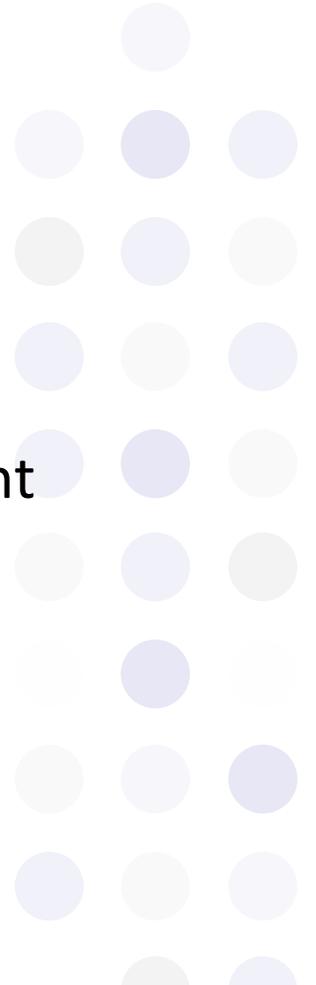
Les arbres, ces climatiseurs naturels



Sobriété

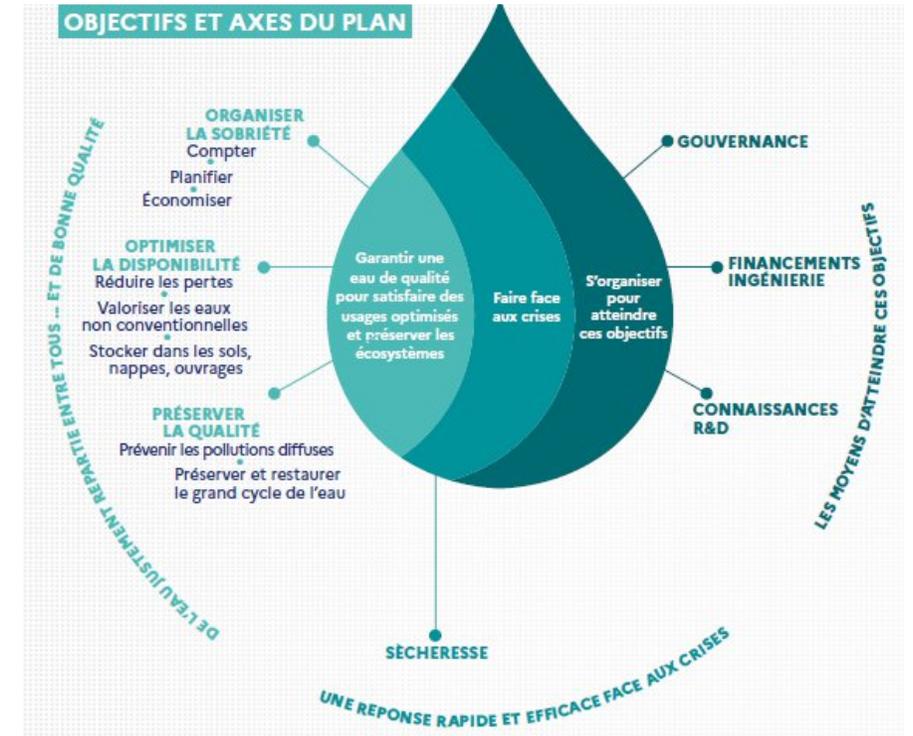


L / jour / habitant



Un plan eau

- Nouveau décret du 29 août 2023
- Ambition: 10% d'économie
- 1000 projets de recyclage des eaux usées d'ici 2027
- **Important/vigilance: faire de vrais substitutions et pas de nouveaux usages**



Irrigation – en signature

- Evolution liée au règlement UE 2020/741



Espaces verts - en signature

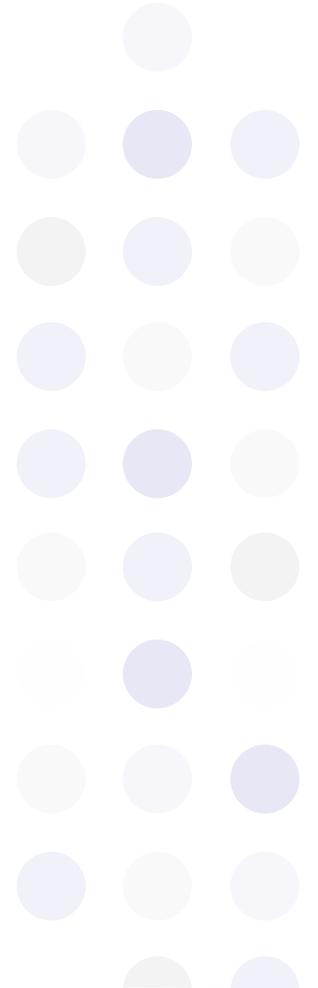


Usages urbains

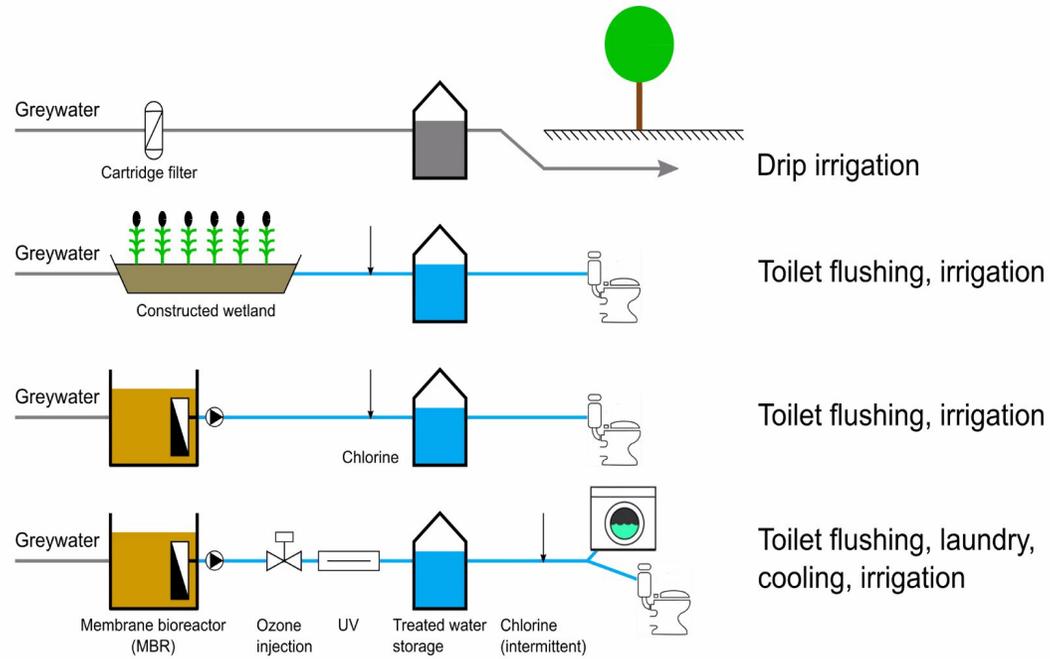
- En rédaction
- Avis ANSES attendu



Réutiliser les eaux ?



Des approches décentralisées



Morgenroth E., 2021

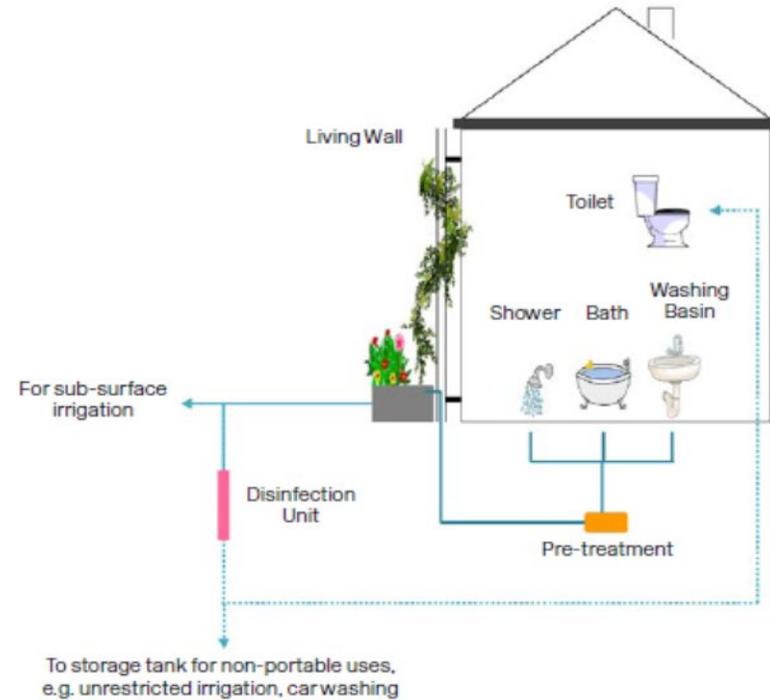
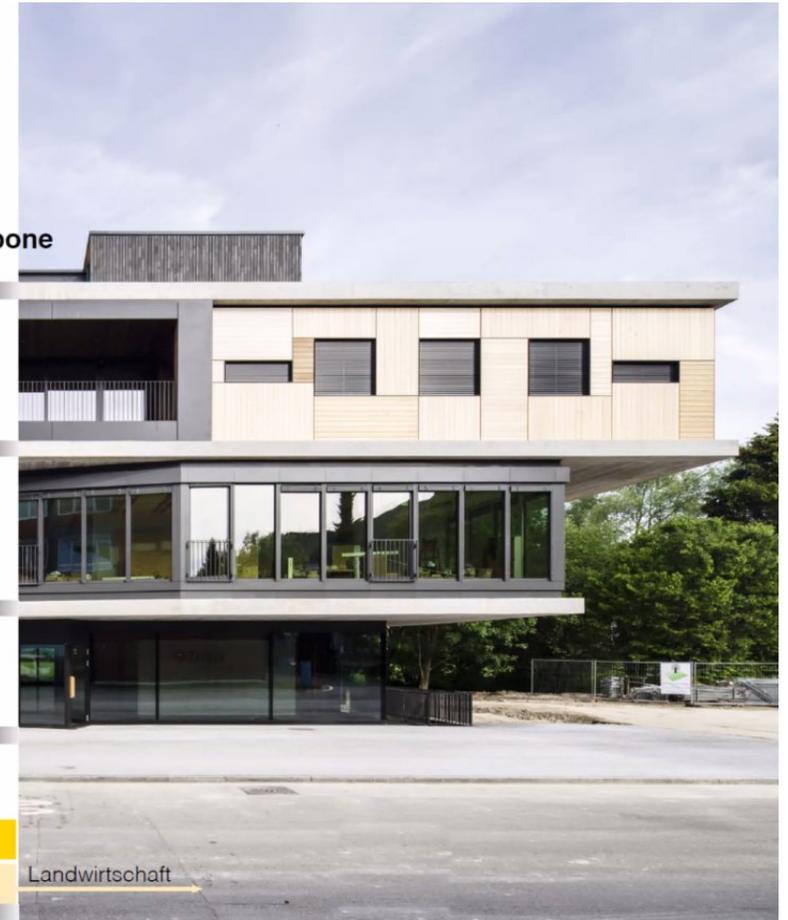
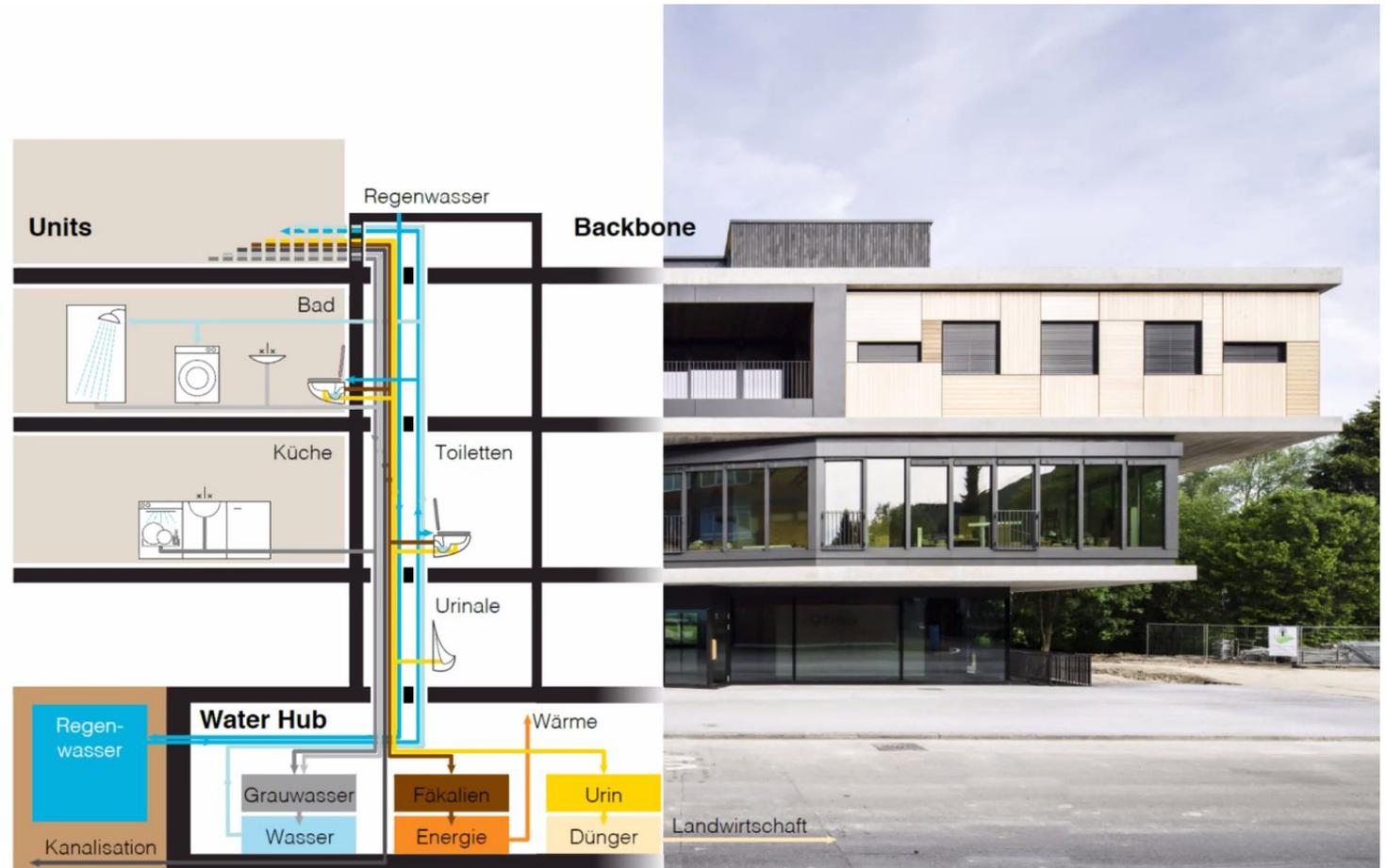


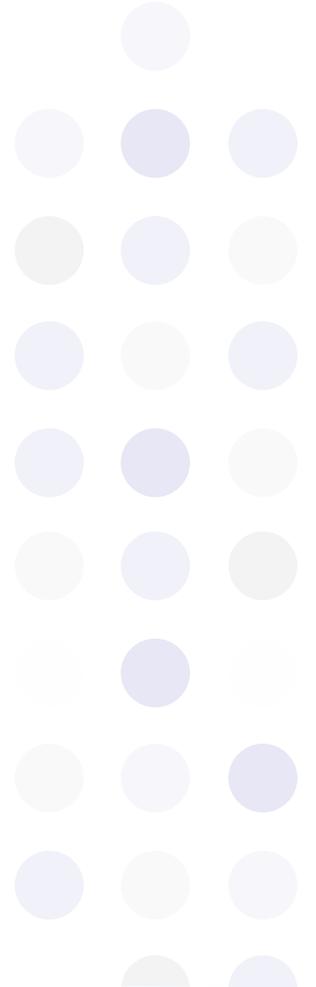
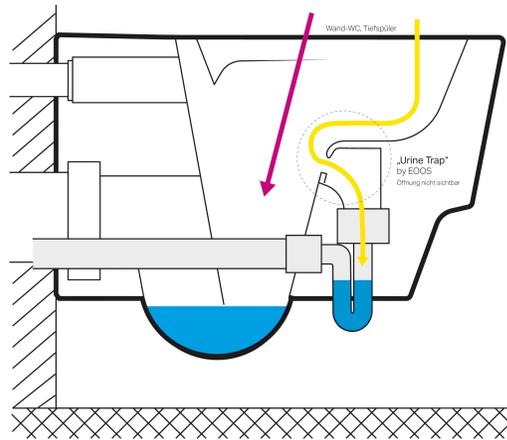
Figure 1.2a Concept of living walls for greywater recycling in domestic premises (adapted from Fowdar et al., 2017)

La séparation à la source

Urine = 85% de l'azote,
50% du P, et 70% des
pharmaceutiques

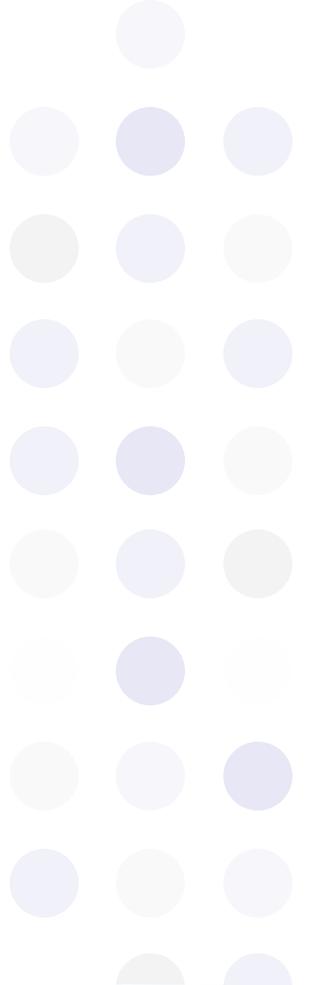


Séparer nos urines ou excréments à la source



Séparer nos excréments ou urine à la source

- Réduire la consommation d'eau potable
- Eviter la saturation et le grossissement des stations d'épuration
- Valoriser les nutriments (N et P)
- Eviter la dissémination des molécules pharmaceutiques dans l'eau
- Mieux maintenir la qualité des réseaux d'assainissement
- Moins consommer d'énergie et de produits chimiques (station d'épuration)



Collecte des toilettes sèches en ville: exemple de Bordeaux (La fumainerie)



Legrand M., 2022

Exemple de Saint – Vincent de Paul (Paris, 14eme)

- 1000 logements
- Séparation à la source de l'urine
- Traitement et production d'un fertilisant



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

Cas d'étude: la cartoucherie à Toulouse

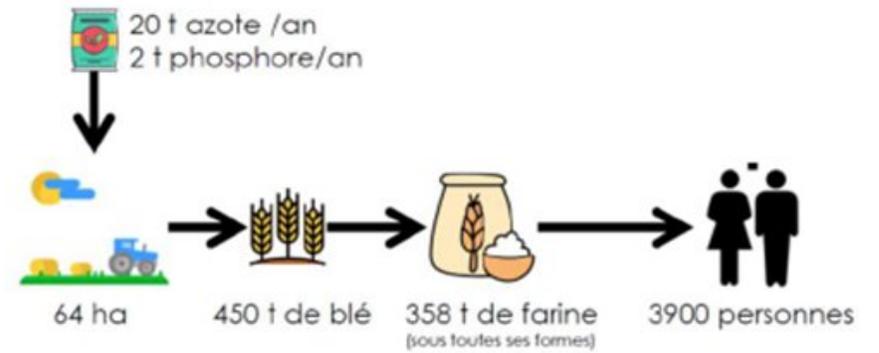
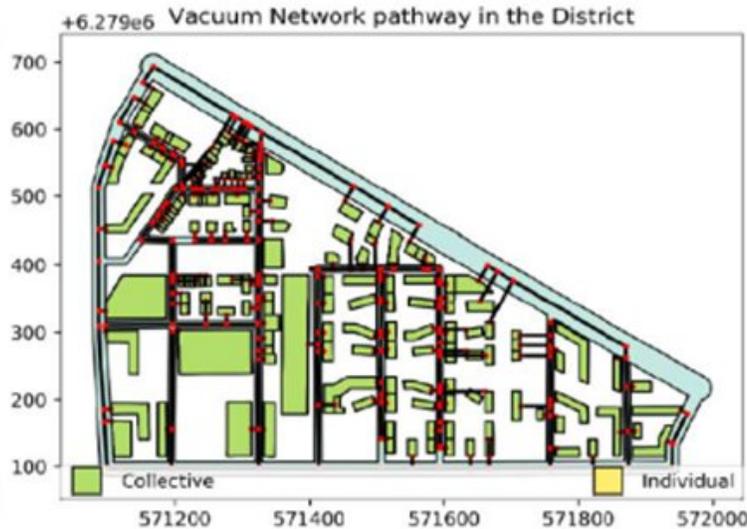
33 hectares, 3500 logements, 6500 habitants, 1600 employés



200 m²



2500 m²



Conclusions - quantitatif

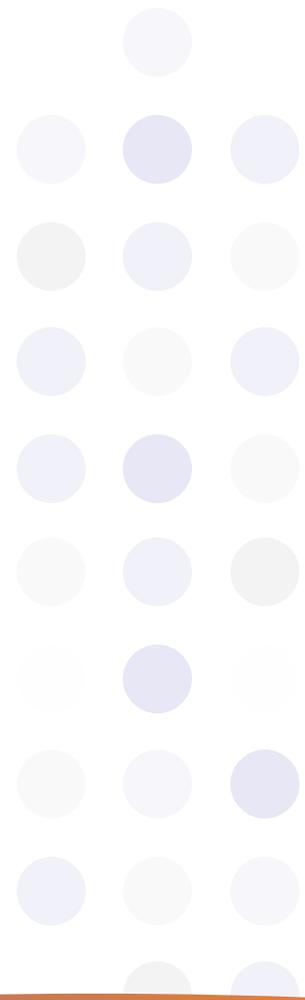
- Sobriété, agir d'abord sur la demande et l'efficacité
- Désimperméabiliser: restaurer l'eau verte
- Recyclage: mais en évitant les effets rebond, substituer des usages existants (d'eau potable) et ne pas créer de nouveaux usages
- Vers une agriculture de conservation des sols (plus perméable)
- Ecogestes, oui, mais surtout agir par nos consommations : viande et autres produits de commodités qui ont une empreinte eau forte (vêtements...)

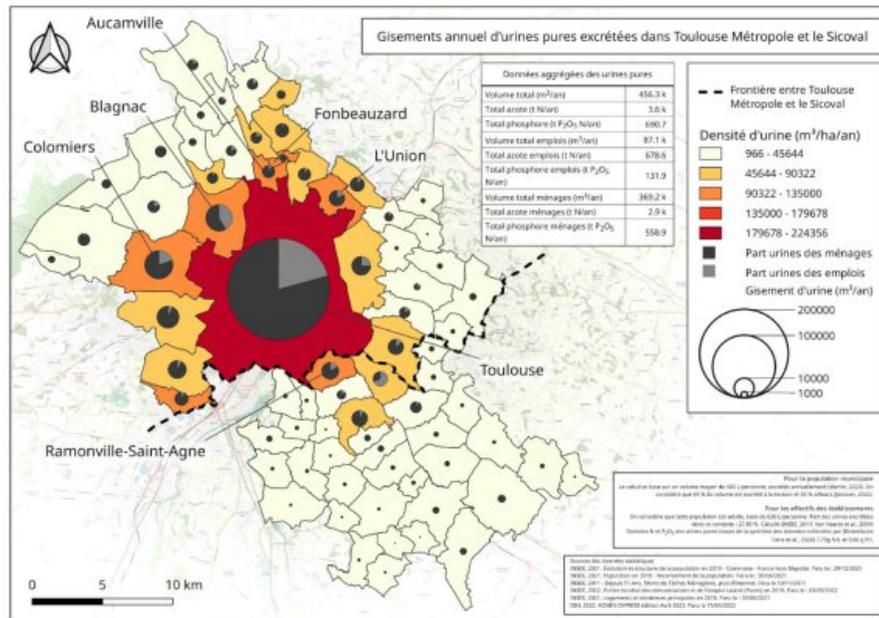
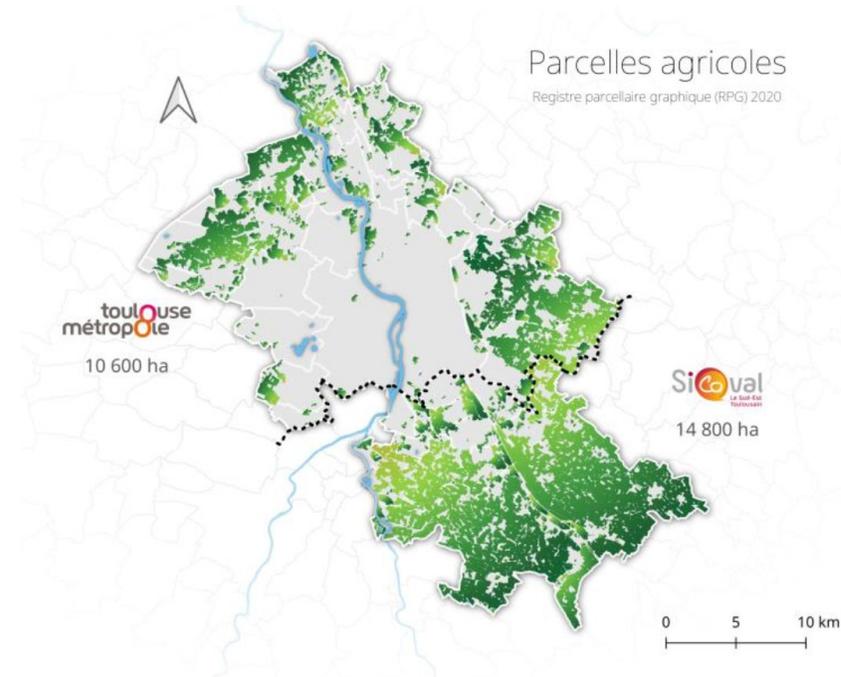
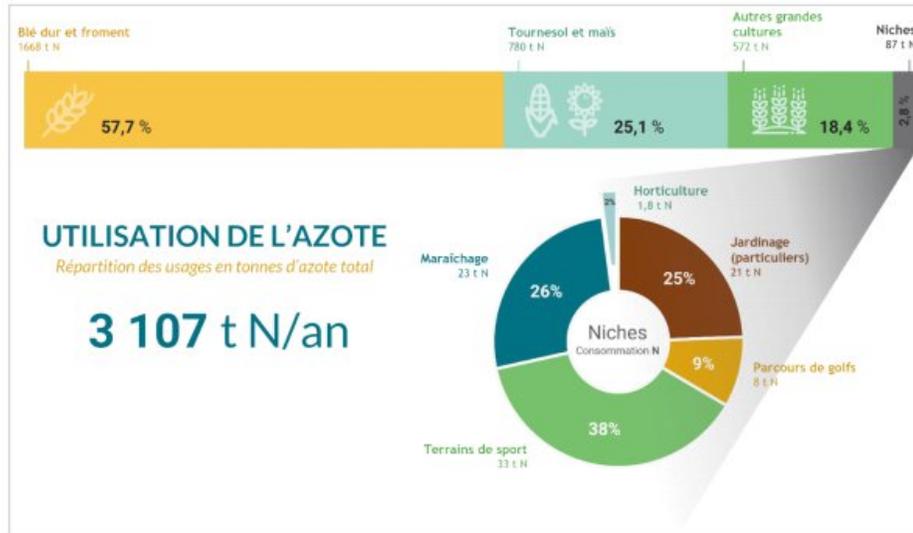
Conclusions – qualité

- Vers une agriculture moins consommatrice d'engrais, pesticides
- Limiter l'usage et la dissémination des « nouvelles entités », plastiques, micropolluants dont pharmaceutiques
- Sortir peu à peu du concept de « tout à l'égout » et faire émerger une gestion alternative de nos excréta

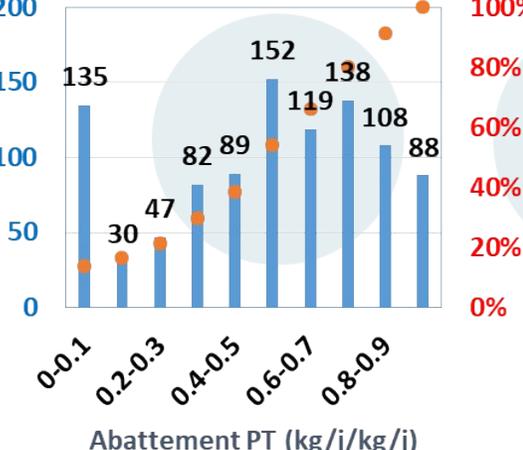
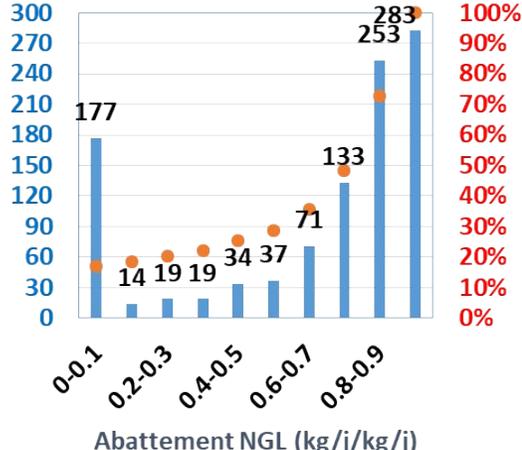
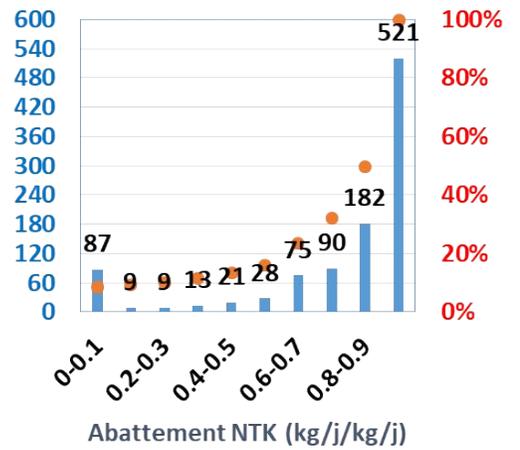
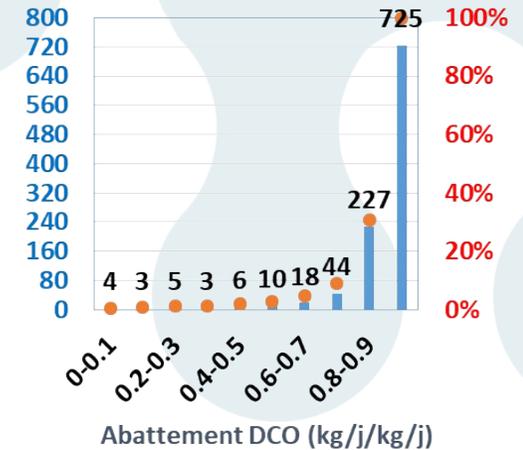
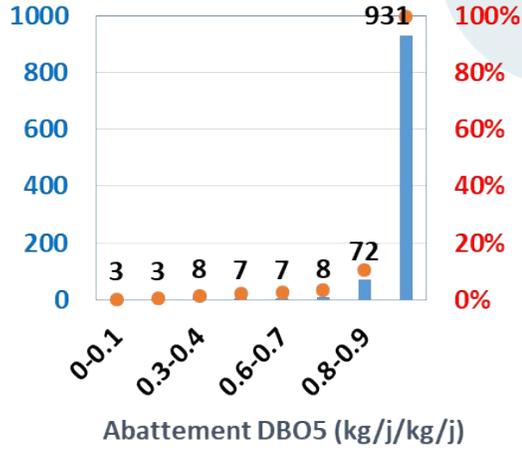
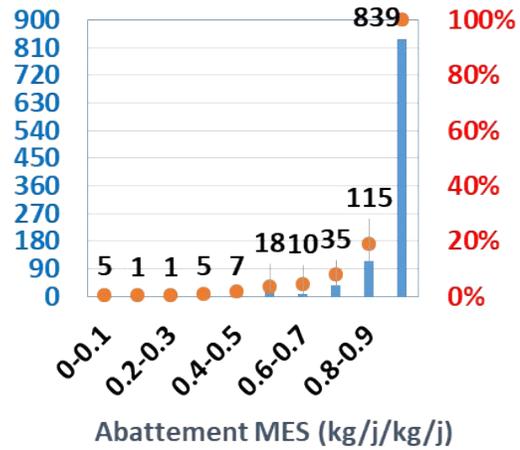
Merçi







Performance traitement (env. 1000 Boues activées)



Rejets des STEPs et état écologique des masses d'eau

$$TP_{NH4(ME)} + TP_{PT(ME)} + TP_{DBO5(ME)}$$

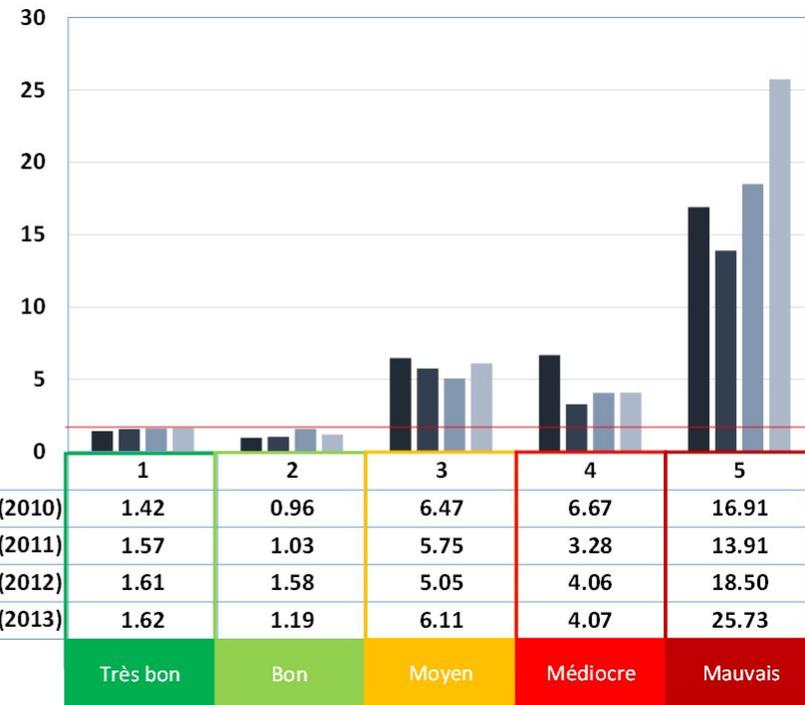
Mise en évidence du lien entre rejets des STEP et état écologique

Taux de pression sur Masse d'eau :

$$TP_{NH4(ME)} = C_{NH4(ME)} / NH4_{max}$$

$$TP_{PT(ME)} = C_{PT(ME)} / PT_{max}$$

$$TP_{DBO5(ME)} = C_{DBO5(ME)} / DBO5_{max}$$



■ Moyenne de Somme pressions ME (2010)	1.42	0.96	6.47	6.67	16.91
■ Moyenne de Somme pressions ME (2011)	1.57	1.03	5.75	3.28	13.91
■ Moyenne de Somme pressions ME (2012)	1.61	1.58	5.05	4.06	18.50
■ Moyenne de Somme pressions ME (2013)	1.62	1.19	6.11	4.07	25.73
	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais