

Emergence L'eau, système complexe?

Jean Pierre Tardieu 29 avril 2024

L'eau, système complexe?

- La molécule H_2O est sans doute la plus simple qui existe. Si l'eau peut être considérée comme un système complexe, ce n'est pas du fait de sa nature chimique, mais de celui de ses interactions avec l'Homme : ses usages essentiels à la plupart des activités humaines, son importance sanitaire fondamentale, mais aussi a contrario l'impact sur elle des activités humaines, qui a crû avec le développement démographique et économique de l'espèce humaine et conduit aujourd'hui (anthropocène) à une crise de l'eau, dont les conséquences géopolitiques sont en train d'émerger.
- La diversité des facteurs ne se prête guère à une modélisation d'ensemble, mais cet exposé va tenter d'illustrer les différentes dimensions de la question de l'eau, au plan mondial comme au plan français.

Plan de l'exposé

- 1 L'origine de l'eau sur terre
- 2 Où se trouve l'eau sur la terre ?
- 3 Le grand cycle de l'eau, ou la conservation de l'eau sur terre
- 4 Le petit cycle de l'eau, ou la domestication de l'eau par l'Homme, avec ses services et ses abus
- 5 Les effets du dérèglement climatique
- 6 La crise de l'eau, aujourd'hui et demain, et sa dimension géopolitique
- 7 Quels remèdes ?

Conclusion

1 L'origine de l'eau sur la Terre

Deux principales hypothèses ont été formulées par les scientifiques.

1. **Origine dans le manteau terrestre:** cette première hypothèse suggère que l'eau et les autres volatils terrestres, du fait d'une intense activité volcanique, sont dérivés du dégazage de l'intérieur de la Terre au moment de sa formation il y a 4,55 milliards d'années.
2. **Origine tellurique:** la seconde hypothèse suggère un apport un peu plus tardif de l'eau, durant les dernières phases d'accrétion de la Terre, par des petits corps planétaires chondritiques (comètes et météorites) relativement riches en eau.

Le consensus actuel de la plupart des scientifiques est celui d'une combinaison de ces deux facteurs, dans des proportions encore incertaines.

- Des circonstances très spécifiques ont par ailleurs permis à cette eau de se maintenir sur la terre, contrairement au processus intervenu sur d'autres planètes, telles Venus et Mars: température, nuages, précipitations intenses, etc. Il semble établi que les océans se sont individualisés il y a environ 4,4 milliards d'années, avec de l'eau liquide présente et une température compatible.
- Notre planète apparaît ainsi comme extrêmement privilégiée parmi celles du système solaire, et sans doute même parmi les exoplanètes connues. Les circonstances très favorables à l'apparition de l'eau et à sa conservation se sont poursuivies avec les conditions qui ont favorisé l'apparition et le développement de la vie.

2 Où se trouve l'eau sur la terre? Répartition

- Quantité d'eau sur terre : 1,386 milliards de km³, qui couvrent 70% de la surface de la planète, mais ne représentent que 0,13% de son volume total.
- Les plus gros pourvoyeurs sont bien sûr les mers et les océans, qui constituent 96,5% de l'eau terrestre.
- Viennent ensuite les calottes polaires (Groenland et Antarctique), les glaciers et les neiges éternelles, pour un total d'environ 24 millions de km³ (1,7%), que vient doubler l'eau du sous-sol et de la croûte terrestre.
- Les 0,1% restants se composent, en ordre décroissant, des glaces du pergélisol, des lacs, de l'humidité des sols, de l'eau présente dans l'atmosphère, des marais, des cours d'eau et, pour finir, de l'eau entrant dans la composition des organismes vivants.
- Elle représente, par exemple, 66% du poids du corps humain.

3 Le grand cycle de l'eau, ou la conservation globale de la ressource

L'eau circule sans arrêt sur la terre. Elle s'évapore des océans et autres milieux contenant de l'eau et y revient sous forme de précipitations de pluie et neige. Le soleil fait s'évaporer l'eau en fines gouttelettes, qui, en se regroupant, forment des nuages. Ceux-ci, poussés par le vent, rencontrent des masses d'air froid et donnent naissance à la pluie.

L'eau de pluie s'infiltre pour une part dans le sol et rejoint les nappes phréatiques, dont elle pourra ressortir par les sources naturelles; elle ruisselle aussi pour alimenter les rivières et les fleuves et retourner vers l'océan. Elle peut aussi être provisoirement stockée sous forme de neige ou de glacier, pour ensuite fondre et se retrouver dans les rivières, ou dans les océans sous forme d'iceberg.

Le cycle est ainsi permanent et entretient la conservation de la masse d'eau terrestre. Cette **conservation globale au sein du système Terre** ne signifie pas maintien au cours des temps des conditions locales et régionales: succession des glaciations au cours des temps géologiques, avec les variations du niveau des océans, modifications en cours sur lesquelles nous reviendrons en détail.

4 Le petit cycle de l'eau: l'Homme et l'eau

Depuis des temps anciens, l'Homme emprunte l'eau à la nature pour plusieurs types d'usages:

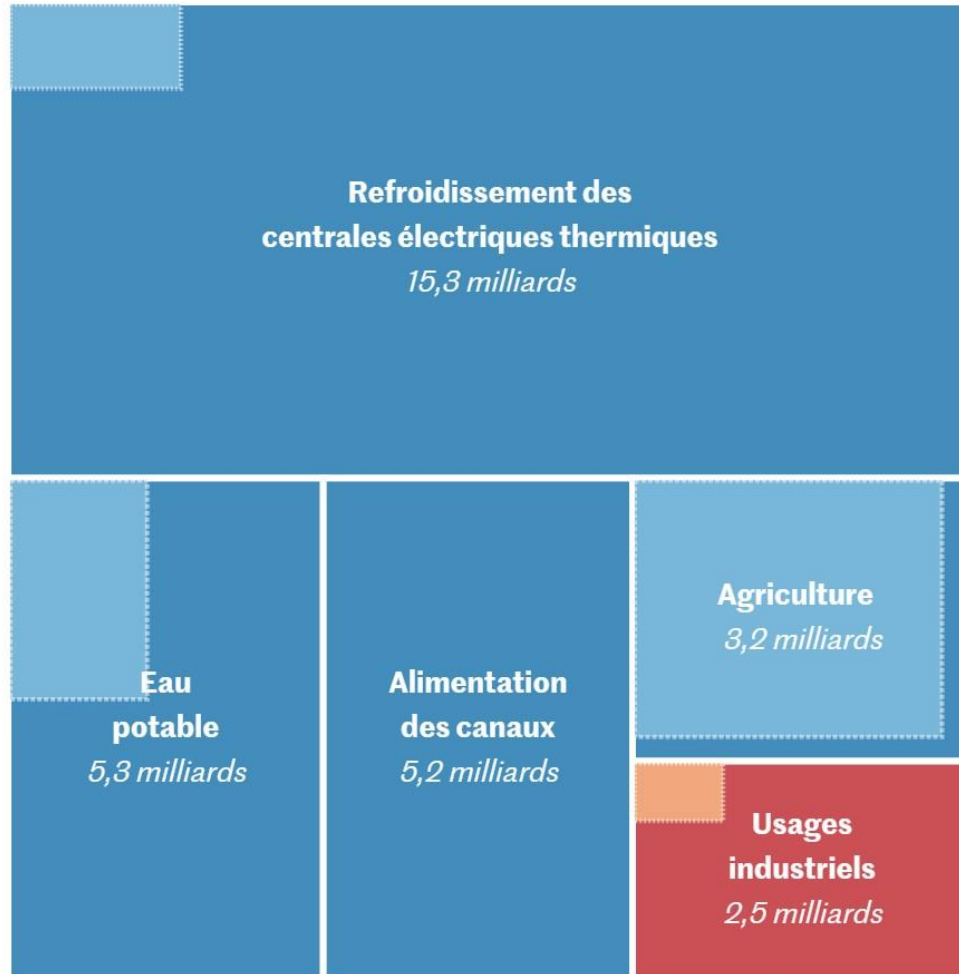
- usages de **simple stockage**: les canaux (navigation), les barrages (régulation de débit, stockage provisoire pour irrigation et/ou production hydroélectrique)
- **usage agricole**: l'irrigation
- **usage d'alimentation** humaine
- **usage industriel**
- Lien essentiel entre **eau et santé**: produit alimentaire vital, l'eau douce est source de contaminations lorsque elle est polluée (1 million de personnes meurent de diarrhées chaque année dans le monde), de maladies lorsqu'elle stagne (400 000 morts dues au paludisme).
- Sauf exception, il est économiquement **difficile de transporter l'eau** sur de longues distances (rapport entre le prix du produit, le plus faible de tous à la tonne, et celui de son transport).
- La répartition géographique des ressources en eau disponibles ne correspond pas partout à celle des besoins des populations, et cet écart s'accroît sous l'effet du dérèglement climatique, des pollutions qui restreignent parfois l'exploitation de certaines ressources, et de l'accroissement des populations (urbanisation): il en résulte ce qu'il est convenu d'appeler le **stress hydrique**.

Situation française: ressources et emploi

- Les précipitations annuelles moyennes sur la France métropolitaine s'élèvent à 503 milliards m³
- Il s'en évapore 314 milliards
- Il s'ajoute 11 milliards en provenance des pays voisins
- Il reste donc une ressource renouvelable disponible de 200 milliards m³, dont 80 ruissellent et 120 s'infiltrant dans le sol
- A comparer au total des prélèvements, soit 33 milliards m³

Prélèvements d'eau douce en France

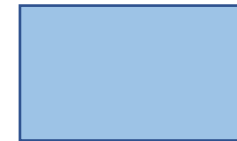
Prélèvements d'eau en mètres cubes



La zone la plus claire représente la part consommée.



Prélèvements bruts



Dont part consommée

**Bien distinguer prélèvements
et consommation**

La préservation des ressources en eau douce

- L'aval subit toujours les effets de l'amont
- **Premier principe:** éviter tout gaspillage de ressources qui deviennent de plus en plus rares, face à la croissance de la demande
- **Deuxième principe:** éviter de rendre ces ressources inutilisables ou mobilisables à un coût élevé du fait de leur pollution: pollutions chimiques à proximité d'installations industrielles, ou diffuses liées aux activités agricoles (nitrates, pesticides)
- Politiques de gestion des bassins versants, zones de protection (proche et lointaine) des forages et des nappes
- Outils: modélisation des schémas de diffusion de pollutions, stations d'alerte sur les cours d'eau, suivi de l'état des masses d'eau par l'ONEMA (*)

(*) **Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques**

L'empreinte eau

En plus de la consommation directe d'eau d'un pays, son empreinte eau comprend celle qu'il importe avec les produits industriels ou agricoles qu'il achète à l'extérieur. A l'échelle mondiale, l'empreinte eau de consommation d'un humain s'élève à **1 243 m³** d'eau par personne et par an (total de 7 452 milliards de m³/an)

- **1 875 m³** / personne/an en **France** (110 milliards de m³/an)
- **2 483 m³** / personne/an aux **Etats-Unis** (696 milliards de m³/an)
- **702 m³** / personne / an en **Chine** (883 milliards de m³/an)

L'eau virtuelle est ainsi une manière d'exporter son eau: 1kg de tomates représente 214 litres d'eau, 1 kg de pommes 815 l, 1kg de viande de bœuf 15,4 m³, 1 kg de chocolat 17,2 m³, un pantalon jean 8 m³.

Au total, les échanges d'eau virtuelle représentent 20% des consommations mondiales d'eau douce. A ce phénomène s'ajoutent les **externalités associées**: pollution des eaux industrielles rejetées sans traitement, pollution des terres agricoles par les pesticides et les nitrates.

L'eau d'irrigation

- Elle représente en moyenne mondiale environ **70% des usages de l'eau**
- Elle se fait par des prélèvements dans les lacs naturels et de barrage, les rivières et fleuves, et parfois dans les nappes. En règle générale, cette eau est distribuée aux agriculteurs sans traitement.
- A partir de ces prélèvements, l'eau est acheminée par des canaux ouverts ou des conduites fermées vers les lieux d'utilisation. Les pertes en ligne atteignent ou dépassent même souvent les 50% (70% en Inde par exemple): évaporation en cours de transport, fuites par mauvais entretien des canaux et conduites.
- L'irrigation se fait selon des techniques diverses, dont les rendements varient considérablement, entre l'arrosage en plein soleil jusqu'au goutte à goutte développé à l'origine en Israël et maintenant utilisé dans de nombreux pays.
- En France, les ouvrages d'irrigation sont en général gérés par des syndicats d'irrigants.

Devant la rareté croissante de l'eau, des progrès importants sont donc nécessaires.

La consommation d'eau potable en France

- En moyenne, entre 2010 et 2019, le volume annuel d'eau consommée est estimé à 4,1 milliards de m³ en France métropolitaine (soit environ 15 % des 27,6 milliards de m³ d'eau prélevée, hors alimentation des canaux), ce qui représente 64 m³/habitant.
- Ce chiffre de 4,1 milliards de m³ est à comparer à celui des prélèvements qui lui sont destinés, soit 5,3 milliards. Leur rapport, appelé rendement des réseaux, est représentatif des fuites dans les infrastructures et réseaux de distribution. Il s'élève ainsi aux environs de 80% (taux de pertes de 20%).
- Ce rendement varie selon le degré de dispersion de l'habitat, la maintenance des réseaux et la recherche systématique des fuites. Chez Veolia, en Ile-de-France le rendement moyen est de 90,4%. A Monaco, il dépasse 95%. Il existe aujourd'hui des moyens sophistiqués de recherche des fuites permettant une intervention rapide.
- Les consommations d'eau ont diminué de près de 20% depuis 1990 (effet élasticité prix de l'eau, nouveaux équipements ménagers, préférence pour les douches, sensibilisation du public).

L'eau d'alimentation humaine

- En moyenne 15% des usages de l'eau
- Le plus souvent, l'eau est prélevée dans le milieu naturel et à proximité (le transport sur de longues distances est incompatible avec la valeur du produit eau).
- Sont privilégiées les eaux souterraines, qui ont bénéficié d'une filtration naturelle, puis celles des rivières et lacs. Cependant la multiplication des pollutions diffuses (nitrates, pesticides) conduit parfois à des choix différents.
- L'eau prélevée arrive par une conduite dans une usine de traitement: physico-chimique ou biologique, filtration, micro ou nano filtration sur membranes, stérilisation finale (chlore, ozone, rayons UV). Elle parvient au point de consommation par un réseau de distribution: pertes en ligne en moyenne de 20 à 30% en France, 50% à New York il y a quelques années.
- Outils:
 - digitalisation des réseaux (sectorisation, capteurs, etc.),
 - auscultation des fuites,
 - télérelèves des compteurs
 - Renouvellement des réseaux

Exemple d'usine de **traitement complexe** Méry sur Oise

Annexe 1

Usine de **production** **d'eau potable** de **Méry-sur-Oise**



SEDIF
SERVICE PUBLIC DE L'EAU

Méry-sur-Oise : une usine, deux filières autonomes

L'usine de Méry-sur-Oise, datant du début du XX^e siècle, entre au patrimoine du SEDIF à la création de ce dernier en 1923. Équipée dans les années 1960 d'une filière biologique, elle est ensuite dotée du bassin de stockage Ségur où l'eau brute décante naturellement avant d'entrer dans l'usine. Puis, face à la croissance démographique, le SEDIF décide d'augmenter la capacité de l'usine avec une seconde filière de traitement, et un procédé novateur, la nanofiltration, mise en service en 1999.

PRODUCTION

Oise
Ressource

340 millions de litres/jour
Capacité maximale

165 millions de litres/jour
Production moyenne

880 000 habitants
Population concernée

47 communes
Territoire desservi

PATRIMOINE

Bassin Ségur
370 millions de litres

FILIÈRE BIOLOGIQUE

3 floculateurs décanteurs
12 filtres à sable
5 ozoneurs
12 filtres à charbon
3 réacteurs UV

FILIÈRE MEMBRANAIRE

8 cuves de floculation-décantation
2 décanteurs lamellaires
3 ozoneurs
10 filtres bicouche
6 préfiltres
340 000 m² de membranes
de nanofiltration
8 tours de dégazage
5 réacteurs UV

Chiffres-clés en 2022



Zoom sur... la nanofiltration

L'usine de Méry-sur-Oise a été équipée d'une filière membranaire par nanofiltration en 1999 en parallèle de la filière biologique afin de mieux traiter les pesticides (en particulier un herbicide, l'atrazine et ses dérivés, interdit en 2003 mais toujours présent dans la ressource) et abaisser le carbone organique total (COT) dans l'eau distribuée.

L'eau est filtrée sous pression à travers des membranes dont les pores ont un diamètre inférieur au milliardième de mètre. Ces modules de membranes, s'ils étaient dépliés, représenteraient une surface filtrante de 70 terrains de football !

Avant d'être envoyées dans le réseau, les eaux des deux filières sont mélangées : 70 % d'eau nanofiltrée et 30 % d'eau issue de la filière biologique. L'eau conserve ainsi une teneur satisfaisante en sels minéraux. Elle est moins chlorée et moins dure (17 °F contre 30 °F pour la filière biologique seule).



Qui sommes-nous ?

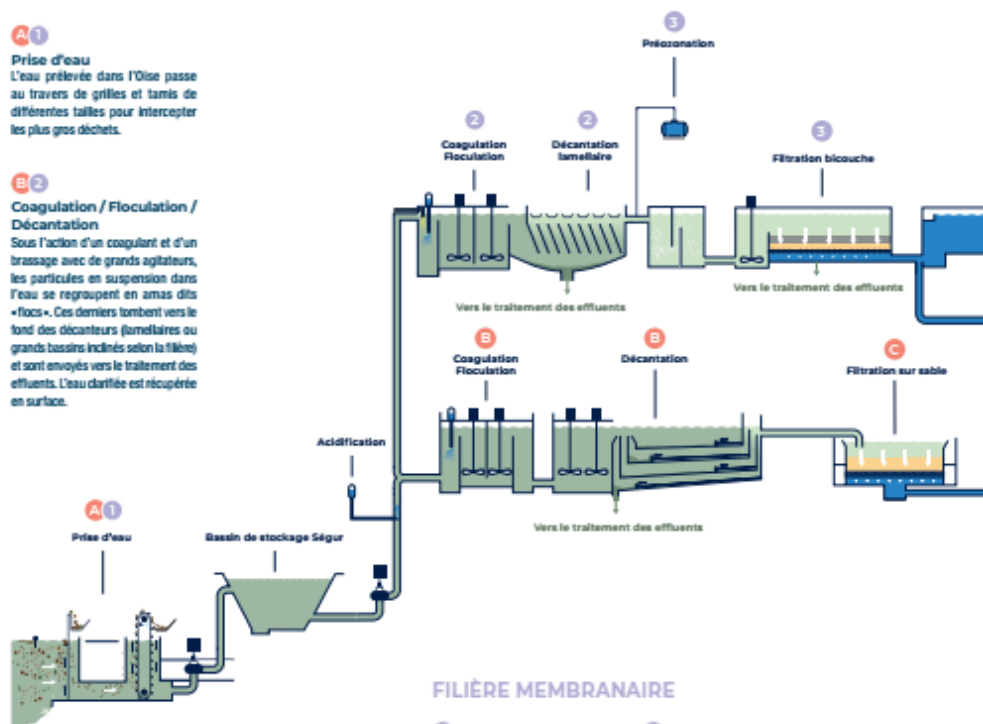
Établissement public créé en 1923, le Syndicat des Eaux d'Île-de-France (SEDIF) assure la desserte en eau potable de plus de 4 millions de Franciliens, ce qui en fait le plus grand service public d'eau potable en France. En tant qu'autorité organisatrice et maître d'ouvrage, propriétaire à 100 % de toutes ses installations, le SEDIF décide en toute transparence des grandes orientations stratégiques du service au bénéfice de ses usagers.

PRODUIRE	
3 usines principales traitant l'eau de la Seine, de la Marne et de l'Oise	4 usines à puits traitant des eaux souterraines
97 % d'eau produite à partir des eaux de surface	285 milliards de litres produits par an

DISTRIBUER		
78 réservoirs	46 stations de pompage	Plus de 8000 km de canalisations
91 % de rendement du réseau		

DESSERVIR	
Plus de 4 millions d'usagers	Plus de 600 000 abonnés
135 communes adhérentes sur 7 départements	

SURVEILLER
413 000 analyses qualité par an
Le ServO, centre de pilotage du service de l'eau, permet de calculer en permanence les stratégies optimales d'exploitation.



FILIÈRE BIOLOGIQUE

C Filtration sur sable
L'eau décantée passe à travers une épaisse couche de sable qui achève sa clarification.

D Ozonation
La diffusion d'ozone dans l'eau a pour objectif la destruction des germes et permet d'améliorer le rendement de l'étape suivante en oxydant la matière organique.

E Filtration sur charbon actif
L'eau traverse de nouveaux filtres contenant du charbon actif en grains qui piègent les micropolluants (particules, microalgues).

F Traitement UV / Chloration
L'eau subit un traitement de désinfection par rayonnement UV. Puis, une dose de chlore est ajoutée dans l'eau pour constituer une ultime barrière de désinfection.

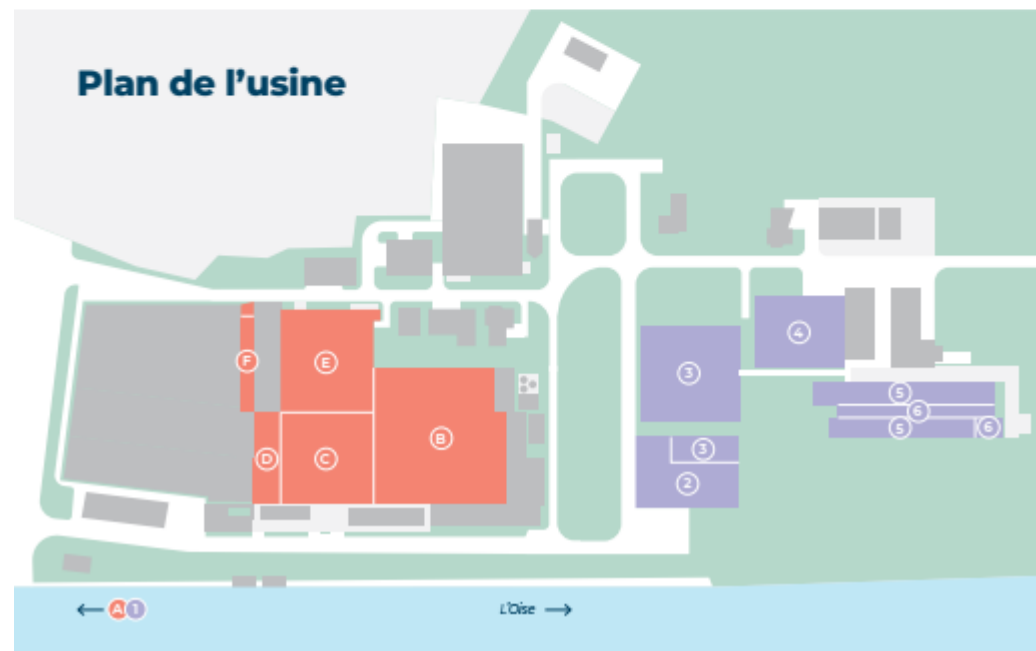
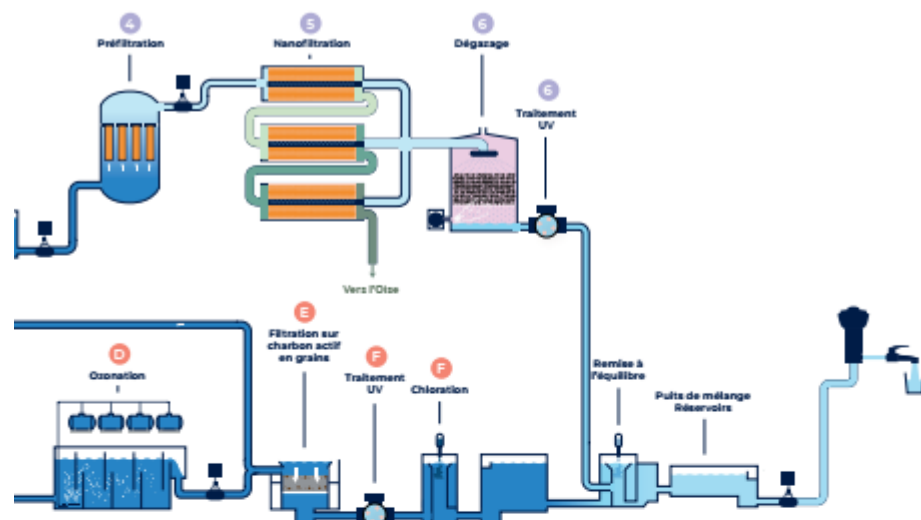
FILIÈRE MEMBRANAIRE

3 Pré-ozonation / Filtration bicouche sable-anthraxite
La diffusion d'ozone permet d'améliorer l'action de la filtration bicouche en oxydant la matière organique (particules, microalgues). Puis, l'eau passe à travers une couche d'antracite et une couche de sable ce qui permet de retenir les matières en suspension non éliminées par les décanteurs et une partie de la matière organique.

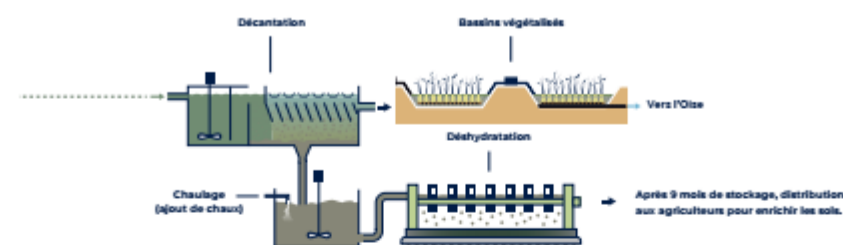
4 Pré-filtration
Les molécules de quelques µm restantes sont arrêtées pour protéger les membranes de nanofiltration et augmenter leur durée de vie.

5 Nanofiltration
L'eau passe à travers des membranes dont les pores extrêmement fins permettent la rétention d'une majeure partie des micropolluants et des sels dissous dont le calcaire.

6 Dégazage / Traitement UV
L'eau, dispersée en pluie, croise un flux d'air ascendant afin d'éliminer l'excès de gaz carbonique. Puis, l'eau subit un traitement de désinfection par rayonnement UV.



Le traitement des effluents



Les boues issues de la décantation et les eaux de lavage des filtres sont acheminées vers l'unité de traitement des effluents pour produire des terres destinées à la filière agricole.

Le principe de barrières multiples

Pour garantir une qualité sanitaire irréprochable, le SEDIF met en œuvre le principe de barrières multiples, dispositif associant plusieurs étapes de désinfection complémentaires.

	Filtration sur sable	Ozonation	Traitement UV	Chloration	Nanofiltration
Bactéries	●	●	●	●	●
Parasites	●	●	●	●	●
Virus	●	●	●	●	●

● Peu efficace ● Efficace ● Très efficace

L'eau, le produit alimentaire le plus contrôlé

Le Code de la santé publique fixe à 54 les paramètres à surveiller et les seuils à respecter pour les eaux destinées à la consommation humaine. Le SEDIF en surveille jusqu'à 65. La conformité à ces normes est garantie par deux niveaux de contrôle :

- le contrôle sanitaire, confié à des laboratoires indépendants agréés par le Ministère de la Santé, porte sur l'eau brute, produite et distribuée;
- le second niveau de contrôle est assuré par le délégataire du SEDIF au titre de l'auto-surveillance.

Ce sont 413 000 analyses qui sont effectuées chaque année.

La régulation des services eau d'alimentation et assainissement

- Pour des raisons sanitaires et environnementales, des réglementations techniques existent partout. Elles sont particulièrement strictes au sein de l'UE (directives eau potable, avec **57 paramètres contrôlés**, et eaux usées urbaines).
- L'eau est le produit alimentaire le plus contrôlé. Au-delà des paramètres physico-chimiques, priorité à la bactériologie. Mais faut tenir compte des **nouveaux polluants**: perturbateurs endocriniens, microparticules.
- L'eau est l'objet d'un **monopole** naturel (un seul réseau) à l'échelle locale ou régionale, les tentatives de découplage production-acheminement n'ayant pas été concluantes.
- Au plan juridique, l'eau est « **res nullius** », c'est-à-dire n'appartient à personne. La puissance publique est garante de son bon usage.

La régulation des services eau d'alimentation et assainissement

Deux types principaux de régulation:

- le **mode anglo-saxon** (UK, USA), avec licence d'opérer attribuée à chaque opérateur, un régulateur technique et un régulateur économique (révision des prix et des investissements tous les 5 ans)
- le **mode français**, où les services d'eau d'alimentation et d'assainissement sont organisés par les collectivités locales ou, de plus en plus, leurs groupements (communautés de communes ou d'agglomération, métropoles, etc.). Il existe au total près de 28000 services d'eau et d'assainissement. L'exploitation de ces services se fait, soit en régie (gestion directe par les collectivités locales), soit en délégation à des opérateurs privés ou des sociétés d'économie mixte: l'attribution des contrats est très encadrée (durée des contrats limitée, mise en concurrence), et leur exécution est soumise à des contrôles très stricts : au rapport annuel sur le fonctionnement du service, applicable à tous, s'ajoute un rapport du délégataire, avec les comptes de la délégation. Rôle des agences de l'eau et principe pollueur-payeur.

Les principes économiques de gestion de l'eau en France

- **L'eau paie l'eau:** s'applique aux usages eau d'alimentation domestique (y compris le prix de l'assainissement) et industriels, à l'exception de l'agriculture. Les recettes (environ 10 milliards €) équilibrent les charges d'exploitation (6 milliards) et l'autofinancement (4 milliards)
- **Pollueur-payeur:** redevances perçues par les agences de l'eau sur les industriels et sur les ménages principalement (1,8 milliards € redistribués aux collectivités locales et industriels pour financer les investissements)
- Intégration des **redevances pollution** des agences et du prix de l'assainissement dans la facture d'eau des ménages (en moyenne 4,5 €/m³)

Assainissement et épuration des eaux usées

- Après usage, l'eau usée doit normalement être collectée par un réseau d'égout et acheminée vers une usine d'épuration, avant d'être rejetée après traitement dans le milieu naturel. L'ensemble s'appelle le **service d'assainissement**.
- En pratique, la **situation varie beaucoup selon les pays**, en fonction de leur niveau de développement et de leur préoccupation sanitaire et environnementale. Il ne faut pas oublier que, jusqu'au 19^{ème} siècle, les eaux usées de Paris et de Londres étaient rejetées respectivement dans la Seine et la Tamise, avec des conséquences épidémiologiques considérables (cholera).
- Au sein de l'UE une directive de 1991 a rendu obligatoire l'épuration des eaux usées urbaines (villes de plus de 2 000 habitants). La révision de cette directive est en cours: elle étendra l'obligation aux villes de 1 000 habitants et vise la neutralité carbone des usines.
- En sous-produit de l'épuration: des boues, qui peuvent être épandues avec précaution en agriculture ou valorisées comme combustible, ainsi que les calories récupérables sur les effluents finaux.
- Aujourd'hui en France la part dans la **facture de la collecte** et du traitement des eaux usées a **rattrapé et dépasse même** souvent celle de l'eau potable.

Nouvelles ressources: dessalement et réutilisation des eaux usées

- Le **dessalement de l'eau de mer** est une technique largement employée au Moyen Orient et dans les pays industrialisés: coûteuse en énergie, malgré les progrès récents, et potentiellement polluante par les rejets de saumure. En outre, par définition, cette ressource n'est accessible qu'aux villes situées en bord de mer.
- Le **recyclage des eaux usées** et leur réutilisation, après traitement complémentaire en aval de l'épuration, constituent une voie beaucoup plus satisfaisante et prometteuse. Selon le niveau de l'affinage, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation, l'arrosage urbain, l'industrie, ou même l'alimentation humaine (Singapour, Windhoek en Namibie). Les normes sont en train de changer grâce aux progrès des traitements, mais les barrières psychologiques sont importantes dès qu'on envisage la réutilisation pour production d'eau d'alimentation. Le plan France Eau 2030 a fixé des objectifs ambitieux en matière de réutilisation industrielle et agricole.

L'eau industrielle

- En moyenne **15% des prélèvements dans le monde**, hors refroidissement des usines électriques (retour de vapeur dans l'atmosphère).
- En France, environ 2,5 Milliards de m³/an. Tendance à la diminution au cours des 3 dernières décennies: effet de la désindustrialisation et d'un effort sensible de recyclage des eaux chez les industriels (incitation forte des agences de l'eau). Application du principe pollueur-payeur.
- Diminution sensible de la pollution chimique rejetée, même s'il reste des zones à problèmes: mines désaffectées en Lorraine, sites industriels dits orphelins (sans propriétaire aujourd'hui).

La filière eau française: importance économique

- Le contrat stratégique de la filière eau de 2019
- **5000 entreprises**: gestion des services d'eau, ingénierie du traitement, construction et maintenance des ouvrages, équipementiers, etc.
- Total des **emplois: 124 000**, dont 56 000 dans les services d'eau
- Chiffre d'affaires: **21 milliards €**, dont 13 en France, et 8,4 milliards réalisés par les entreprises françaises à l'international
- Des entreprises leaders internationaux : Veolia, Suez, Pont à Mousson (Saint Gobain), etc.
- Priorités: investir pour rajeunir les réseaux, accélérer la digitalisation avec l'IA, prendre en compte les nouveaux polluants, faire face au dérèglement climatique

5 Le dérèglement climatique et ses effets

Les masses d'eau, actrices essentielles de la régulation du climat, et victimes de son dérèglement

Les océans menacés en tant que régulateurs du climat

- Les océans absorbent une part importante des émissions de gaz à effet de serre et de la chaleur du globe.
- Cette absorption a pour conséquence l'élévation de la température et l'acidification des océans, avec leurs nombreux effets sur la biodiversité (coraux, espèces menacées).
- L'élévation du niveau des océans, effet de la dilatation des masses d'eau et de la fonte des glaciers, s'accélère: 2,9 mm par an au cours de la décennie 2003-2012, 4,5 au cours de la décennie suivante, et chiffres 2023 inquiétants.
- Conséquences très lourdes pour plus de 600 millions de personnes dans le monde menacées de déplacement d'ici la fin du siècle, et pour les 60 millions de personnes qui vivent de la pêche et de l'aquaculture.
- Négociations multilatérales en cours pour protéger les océans: décarbonation du transport maritime, lutte contre la pollution plastique, interdiction ou limitation de l'exploitation minière sous-marine, etc.

Les ressources en eau douce, victimes des dérèglements climatiques

- Réserves d'eau douce:
 - fonte des glaciers,
 - aridification des terres,
 - surexploitation des nappes souterraines, des lacs et cours d'eau,
 - élévation des températures de l'eau (problème pour le refroidissement des centrales nucléaires)
- Accroissement des écarts entre localisation des ressources et des populations
- Accentuation des phénomènes extrêmes de précipitations, ruissellement et inondations
- En France, le plan France Eau 2030 du gouvernement lancé en 2022, les secteurs critiques (Pyrénées Orientales)

6 La crise mondiale de l'eau, aujourd'hui et demain

- **Crise quantitative:** diminution des quantités disponibles dans les régions habitées et stress hydrique
- **Crise qualitative:** les pollutions à grande échelle industrielles et urbaines, les nouveaux polluants
- Le contexte économique et politique: **coût prohibitif du transport** de l'eau sur grande distance
- Les **rivalités** pour l'exploitation des ressources aux échelles locale, nationale et internationale
- **Les guerres de l'eau sont-elles inévitables?** Les infrastructures de l'eau, cibles dans les conflits armés

6.2 La crise quantitative et qualitative

- Aujourd'hui **1,7 milliard** de personnes en situation de stress hydrique, nombre doublé d'ici 2035? Et 2,2 milliards sans accès à un service minimum décent
- Les prélèvements augmentent alors que les ressources nettes disponibles diminuent
- A l'échelle de la planète, 42% des eaux usées urbaines sont rejetées dans la nature sans épuration préalable. Ce n'est pas le cas au sein de l'UE.
- Même l'Europe, et la France notamment, n'échappent pas à la crise quantitative en été dans certaines régions.

6.3 Le contexte économique et politique: des rivalités jusqu'aux conflits

- La répartition des ressources disponibles est de plus en plus éloignée de celle des besoins des populations
- Les rivalités ne cessent de se développer: exemples au Moyen Orient, en Asie, etc. : surexploitation des nappes au Moyen Orient, en Afrique du Nord, bassin du Mékong et rivalités Chine-Vietnam, Egypte-Ethiopie pour le Nil, etc
- Les infrastructures transformées en cibles dans les conflits armés: barrage détruit en Ukraine.
- A contrario, le rêve non réalisé de Shimon Peres : la liaison Mer Rouge-Mer Morte, en cadeau de réconciliation entre Israël et un Etat Palestinien

6.4 Crise de l'eau et géopolitique

Si les crises climatiques et écologiques du 21ème siècle ne vont pas affecter sensiblement la quantité globale d'eau douce sur notre planète et dans son atmosphère, elles ont déjà commencé d'en perturber profondément la **répartition dans le temps et dans l'espace**.

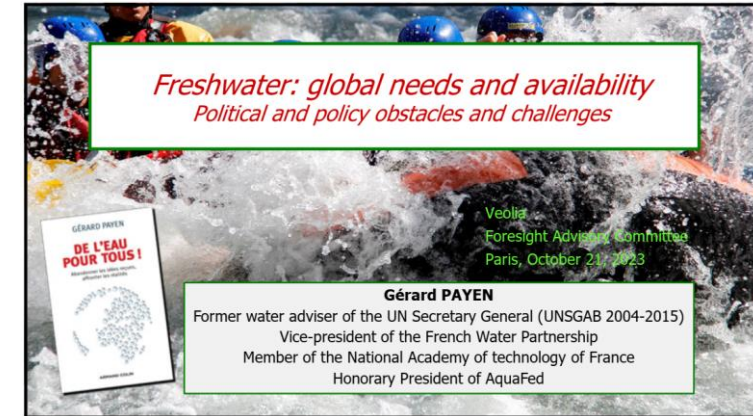
Déjà très inégalement réparties, les précipitations se réduisent encore dans des zones très peuplées et de plus en plus arides, la diminution rapide des glaciers affecte de plus en plus les régions qu'ils alimentent, notamment en Asie, alors que la violence croissante des phénomènes extrêmes rend une partie des précipitations indisponibles aux périodes sèches et les transforme en menaces pour les populations et l'environnement à d'autres moments.

Chaque été, en France, nous observons un peu plus ces transformations, et les années 2022 et 2023 ont été particulièrement marquantes en France et en Europe à cet égard.

Annexe 4: exposé Franck Galland à l'Institut Veolia 2022

6.1 Crise de l'eau et stress hydrique

- Référence: **Gérard Payen**, ancien conseiller du **Secrétaire Général des Nations Unies pour l'eau**, membre de l'**Académie des Technologies**: les slides de son exposé fait en octobre 2023 à l'Institut Veolia sont à disposition.
- En sont extraites:
 - Définition du stress hydrique: (slide 12 de Gérard Payen)
 - Etat comparé des situations de stress hydrique dans le monde (slide 13 de Gérard Payen)



Access to drinking water: a social divide

Satisfactory access

< 5,8 milliards de personnes



Unsatisfactory access

Au moins 2,200 million people
(-6% fm 2015 to 2022)

maybe 3,000 millio,

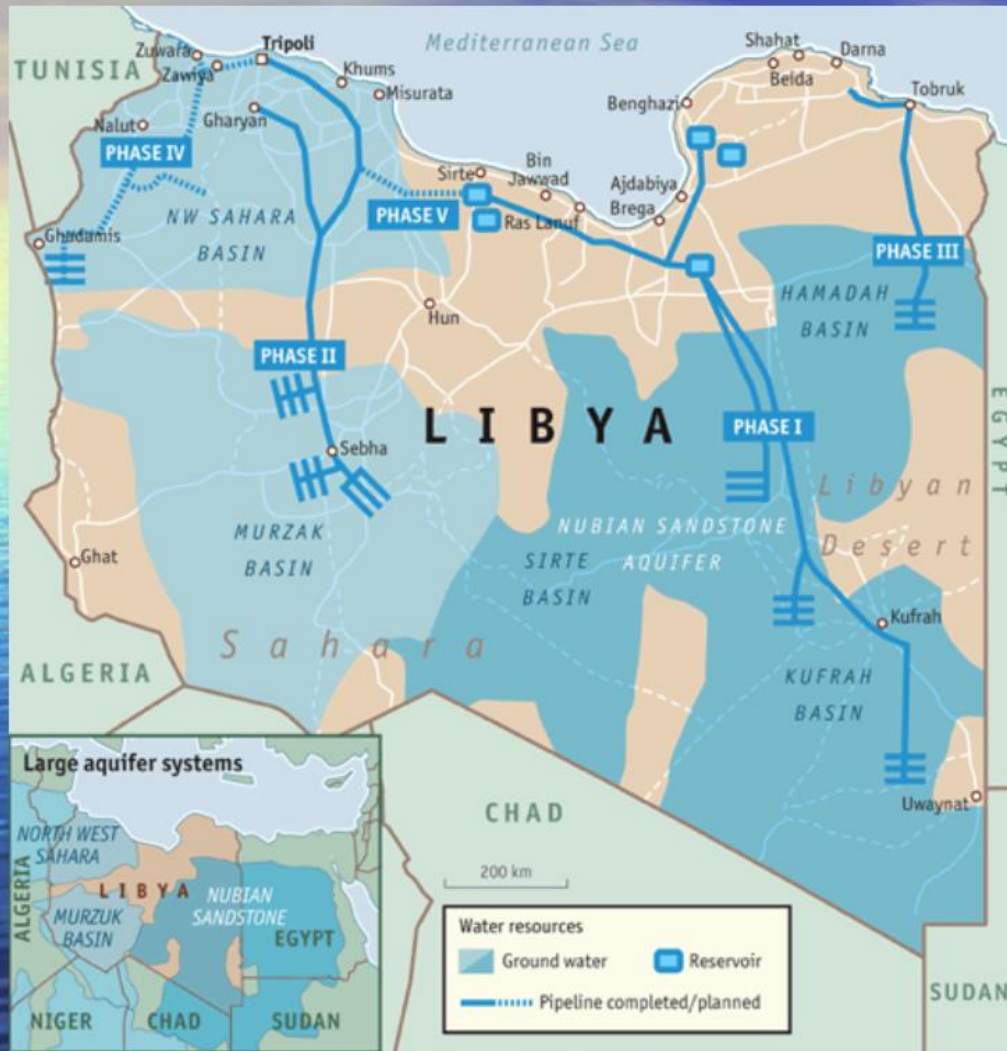


1,500 million people have no access to
sanitary toilets that preserve their dignity
(basic sanitation, a Human Right)



Decrease of 24%
between 2015
and 2022

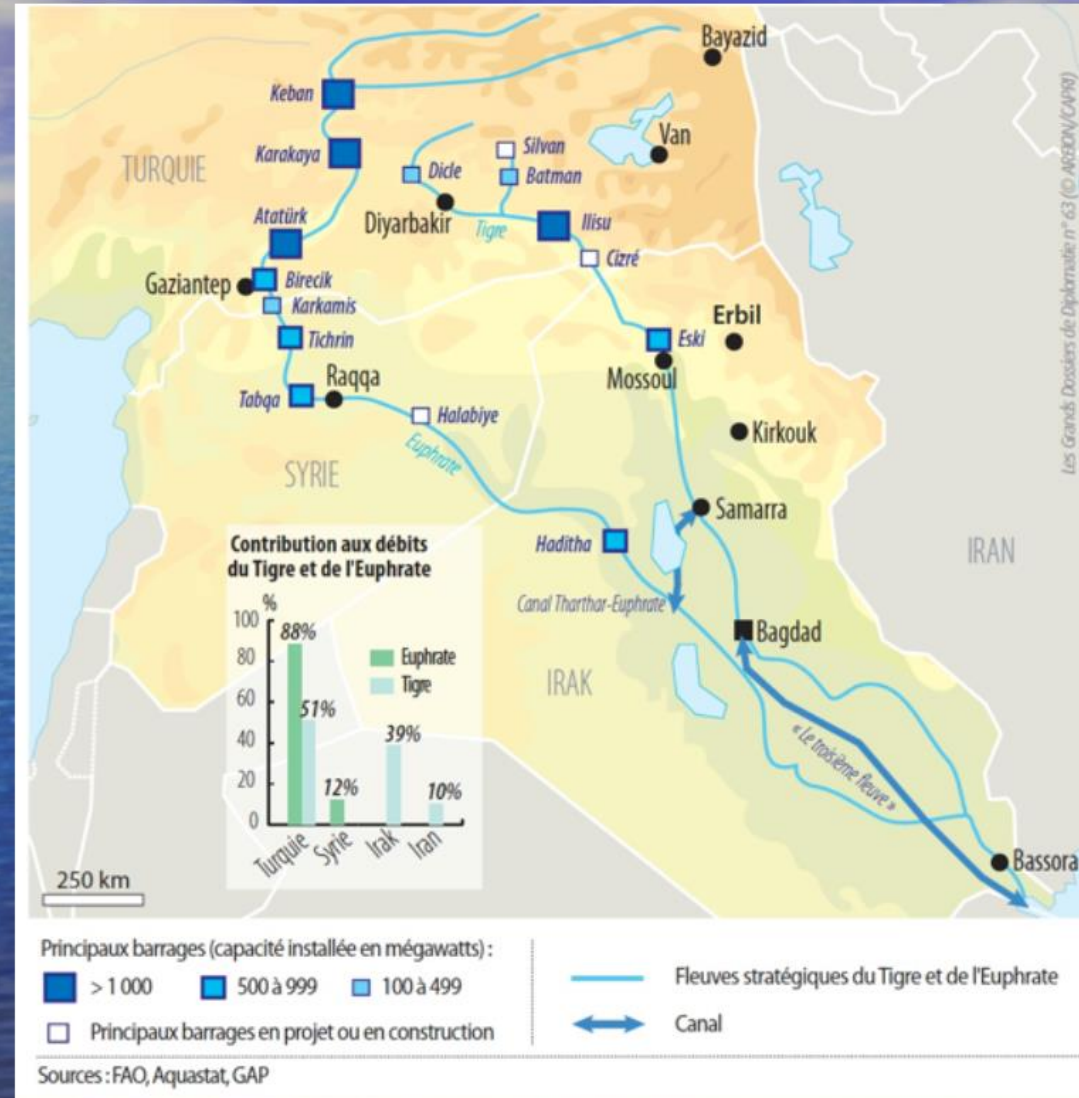
Water supply of Libya



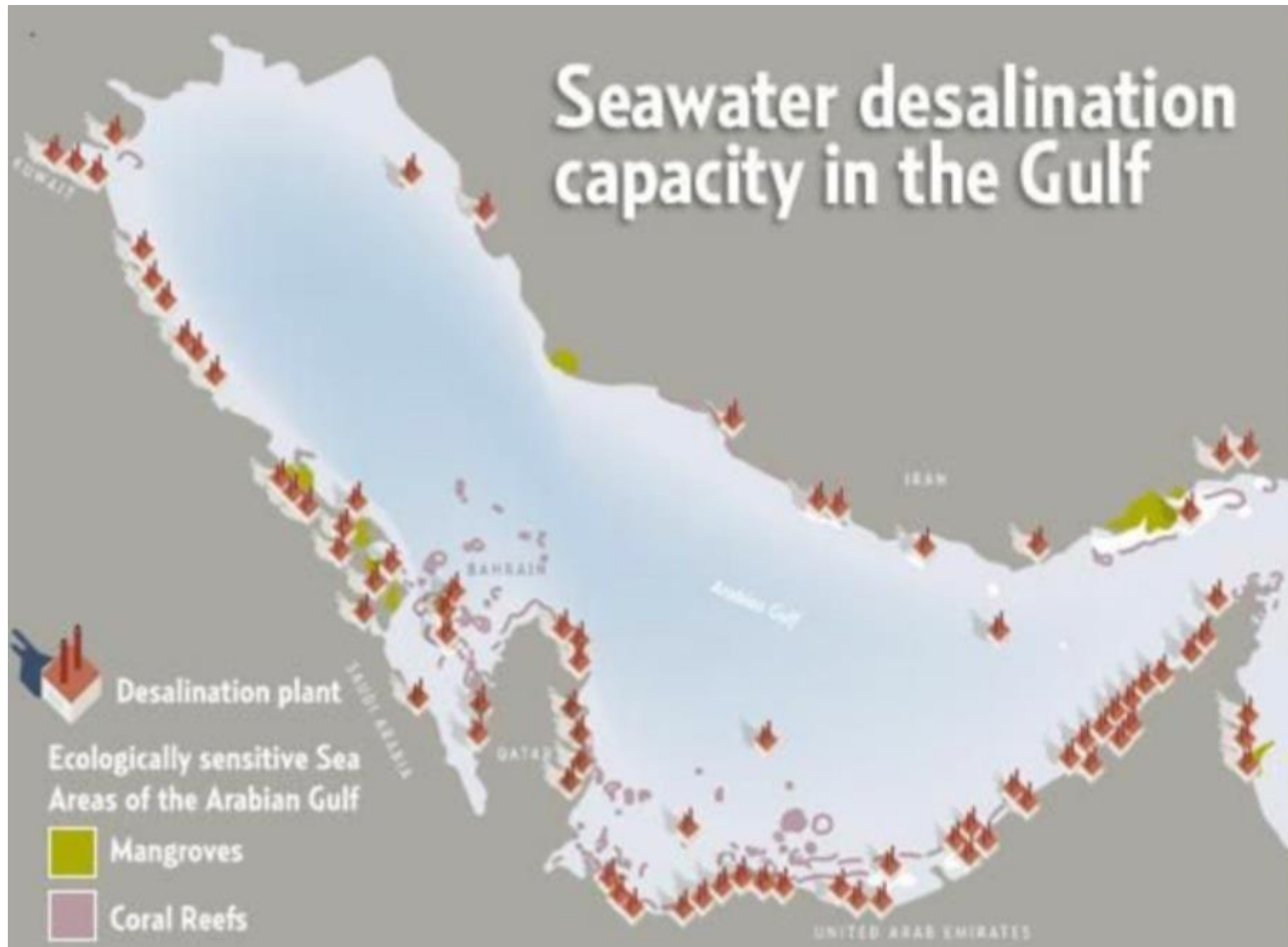
The war for water in the Nile basin



Dams on the Tigris and the Euphrates



Seawater desalination capacity in the Gulf



7 L'amélioration de la gouvernance de l'eau, premier remède à ces périls

- **Remède éthique et politique:** traiter l'eau comme un **bien commun**. Les organismes de coopération à l'échelle des bassins (agences de l'eau en France, organismes inter-Etats pour le Rhin ou le Danube, Coopération en Afrique occidentale), dialogue entre les divers types d'usagers (agricoles, industriels, urbains)
- **Remèdes techniques:** la préservation des ressources naturelles en eau, les outils pour éviter les gaspillages, le recyclage, la réutilisation des eaux usées.
- **Remèdes juridiques:** les atteintes à l'eau (pollution, gaspillage, surexploitation) sont susceptibles de recours, comme les atteintes à l'environnement, devant les juridictions nationales, régionales (Cour Européenne) ou internationales (Cour de Justice Internationale).
- **Remèdes diplomatiques:** une convention des Nations Unies sur l'eau, comparable à celles sur le climat, la biodiversité et la désertification, n'est pas prête de naître, mais à tout le moins il existe maintenant une réunion annuelle organisée par les Nations unies. Les coopérations entre Etats sont indispensables pour éviter des catastrophes. Les atteintes volontaires à l'eau, crimes de guerre?

Conclusion: le test de complexité selon ChatGPT

L'industrie de l'eau est caractérisée par une grande complexité en raison de la diversité des aspects impliqués dans le cycle de l'eau, ainsi que des défis rencontrés dans la gestion et l'utilisation durable de cette ressource vitale. Voici quelques-unes des principales sources de complexité de cette industrie

- 1. Cycle de l'eau complet** : L'industrie de l'eau englobe l'ensemble du cycle de l'eau, comprenant la collecte, le traitement, la distribution, l'utilisation, la collecte des eaux usées, le traitement des eaux usées et le retour des eaux traitées dans l'environnement. Chaque étape de ce cycle présente des défis techniques, environnementaux, économiques et réglementaires uniques.
- 2. Interdépendance des systèmes** : Les systèmes d'eau sont interdépendants et connectés les uns aux autres. Par exemple, la qualité de l'eau dans un bassin versant peut affecter la qualité de l'eau dans les sources d'eau potable, et les utilisateurs d'eau en amont peuvent avoir un impact sur les utilisateurs en aval. Cette interconnexion rend la gestion de l'eau complexe et nécessite une coordination entre différentes parties prenantes.
- 3. Diversité des acteurs** : L'industrie de l'eau implique une diversité d'acteurs, notamment les gouvernements, les autorités locales, les entreprises privées, les ONG, les communautés locales et les consommateurs individuels. Chacun de ces acteurs peut avoir des intérêts et des objectifs différents, ce qui rend la prise de décision et la mise en œuvre des politiques plus complexes.

Conclusion: le test de complexité selon ChatGPT

- 4. Ressources limitées et demande croissante** : La croissance démographique, l'urbanisation rapide, les changements climatiques et la dégradation de l'environnement exercent une pression croissante sur les ressources en eau. La nécessité de répondre à une demande croissante en eau tout en préservant les ressources naturelles et en assurant un approvisionnement en eau sûr et fiable constitue un défi majeur pour l'industrie de l'eau.
- 5. Réglementation et conformité** : L'industrie de l'eau est soumise à une réglementation stricte en matière de qualité de l'eau, de santé publique, d'environnement et de sécurité. Assurer la conformité avec ces réglementations tout en maintenant des services d'eau efficaces et abordables peut être complexe et exigeant.

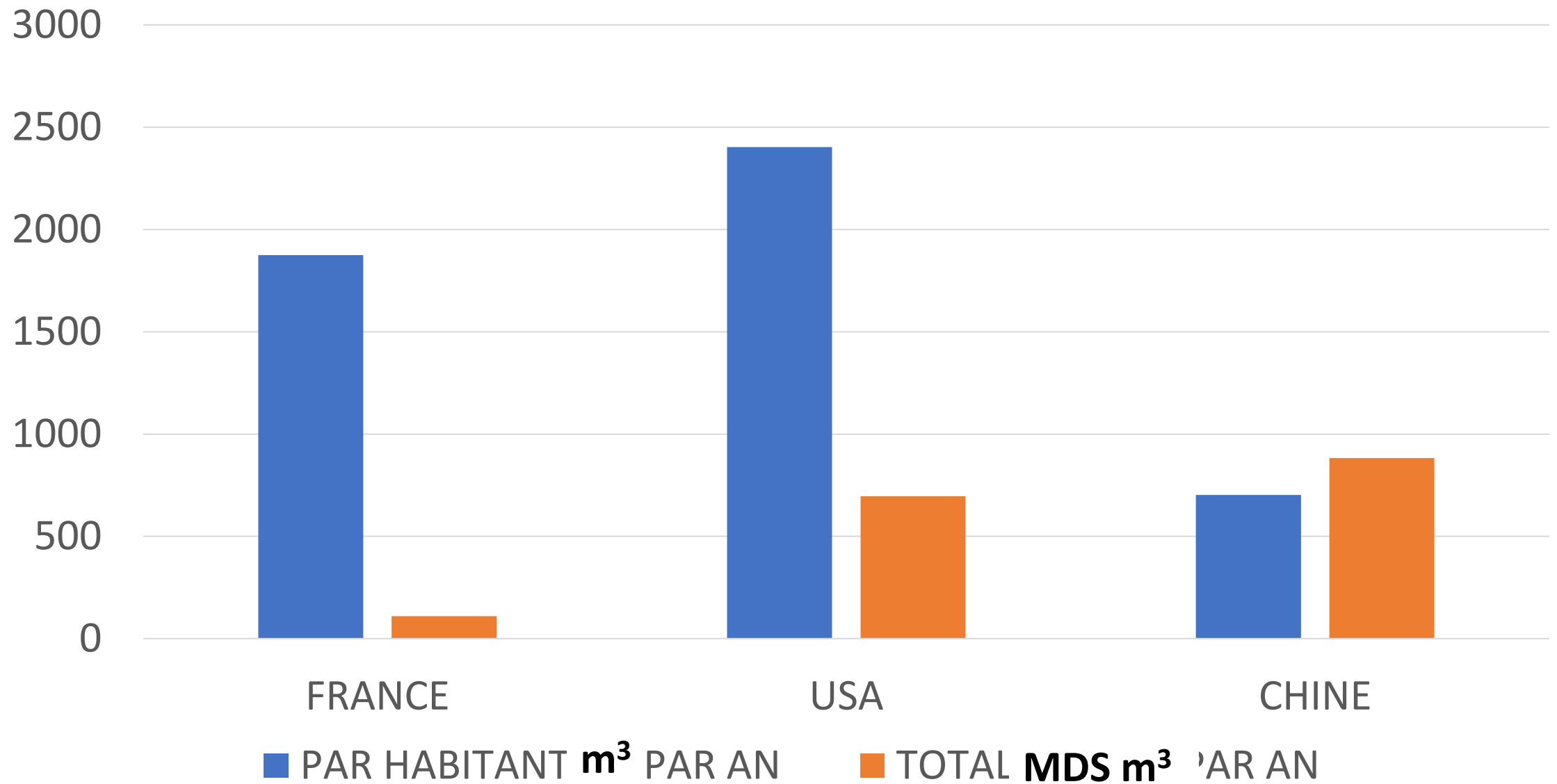
En raison de cette complexité, la gestion de l'eau nécessite une approche holistique et intégrée, impliquant la collaboration entre les différents acteurs, l'adoption de technologies innovantes, la mise en œuvre de politiques efficaces et la sensibilisation du public.

Quelques références

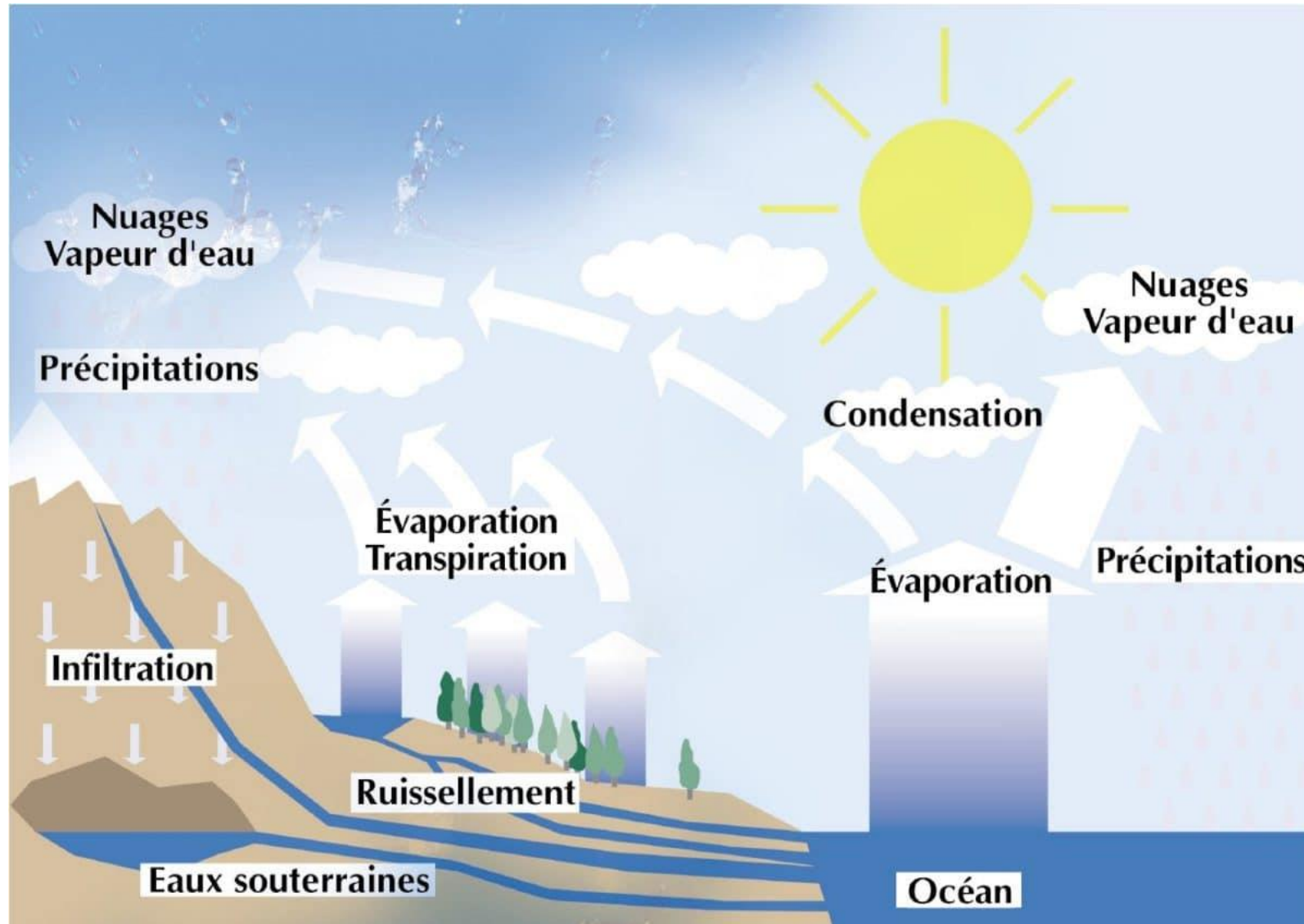
- Etude récente de France Stratégie (avril 2024)
- Exposé complet de Gérard Payen, ancien conseiller du Secrétaire Général des Nations unies pour l'eau, membre de l'Académie des Technologies, à l'Institut Veolia (octobre 2023)
- Exposé de Franck Galland, CEO Environmental Emergency & Security Services, research associate à la Fondation pour le Recherche Stratégique, à l'Institut Veolia (octobre 2022)
- Publications de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques), branche de l'Office Français de la Biodiversité

BACK UP

L'empreinte eau: disparités mondiales

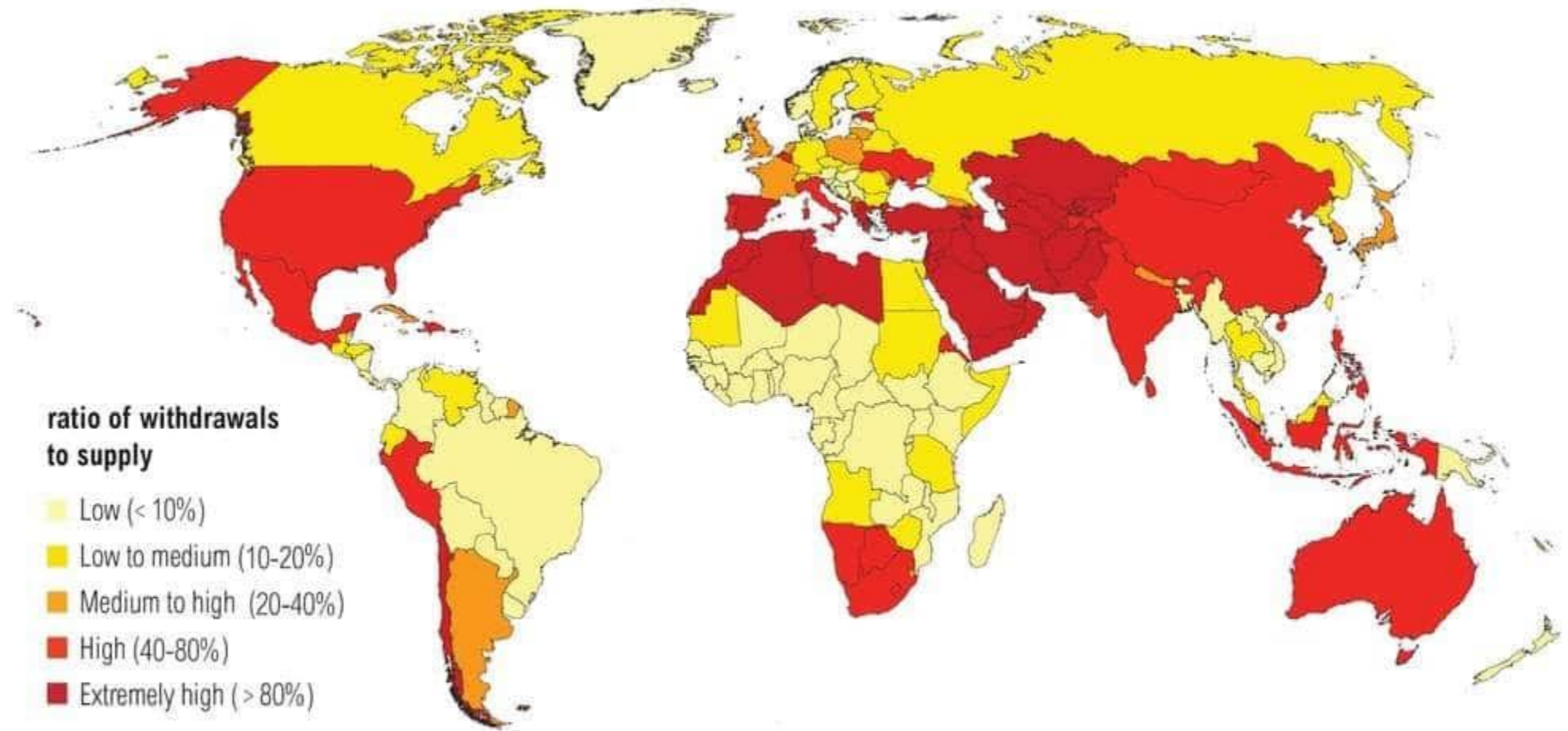


CYCLE NATUREL DE L'EAU



<https://www.cieau.com/>

STRESS HYDRIQUE MONDIAL



L'eau à l'ère de l'économie **circulaire**

La station d'épuration devient une véritable usine de valorisation des eaux usées. Dans l'ère de l'économie circulaire !

