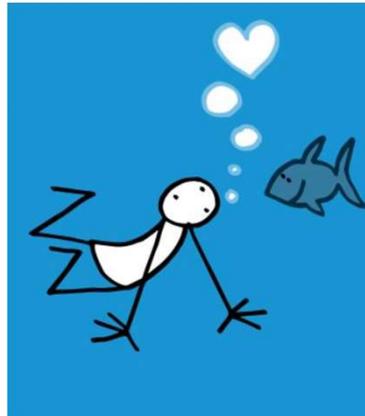


L' « eau planétaire »

- par nature intrinsèquement systémique -



**de la molécule tellurique aux systèmes écologiques
et à la gestion des enjeux agricoles et sociétaux,**

Jacques de Gerlache
AFSCET, Moulin d'Andé, 11 mai 2024

Plan de la présentation

1. Contexte ;
2. L'eau moléculaire ;
3. L'eau, élément catalyseur fondamental de la complexité moléculaire ;
4. Une dimension *phileau*-sophique ;
5. L'état des ressources en eau dans le monde : quelques indices ;
6. Des dilutions d'eau particulières ...
7. La gestion des ressources en eau ;
8. Les pratiques de la gouvernance des systèmes de gestion des ressources en eau ;

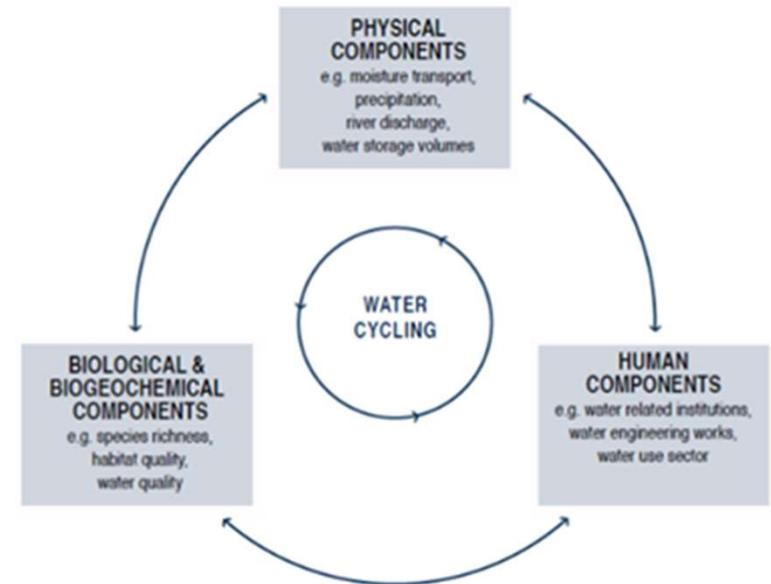


Figure 3 – Water Global System Components (GWSP, 2005, p. 18).

« L'eau, **omniprésente**, absente, source de vie et cause mortelle.

Fluide de toutes les origines, si courant, si commun que sa valeur est passée inaperçue.

Mais il suffit qu'il commence à manquer pour que tout s'écroule.

Quelle autre merveille de la Nature **regroupe autant d'aspects systémiques ?**

Enfin ne pourrait-on voir dans l'existence de l'eau un miracle rationnel, une émergence de l'Univers, un paradigme des systémiques ? »

**Présentation du thème des journées AFSCET 2024 :
"Les systémiques de l'eau ».**

1. Contexte

**: “Comment espérer bien nous porter, nous humains,
si le reste du monde animal va mal,
si les végétaux dépérissent,
si l’environnement se dégrade ?**

**Le vivant est UN, de même que la santé de l’Océan
n’est pas séparable de celle des fleuves.**

**Voilà pourquoi tout fleuve, même le plus modeste,
même la Seine, peut prétendre à l’appellation "*géopolitique*".
Eric Orsenna**

D'une "systémique de l'eau" à celle de la gestion de nos enjeux planétaires

- Fluide de toutes les origines, quelle autre composante de la Nature terrestre regroupe en effet autant d'aspects systémiques que l'eau ?
 - Au point que "notre" **Planète Bleue** aurait pu se nommer **Planète Mer** plutôt que **Planète Terre...**
- Dans ce contexte, examinons les méthodes développées pour en comprendre les organisations *systé(dyna)miques* dans toutes leurs composantes ;
- ce qui pourra inspirer les méthodes devant mieux **intégrer toutes les formes complexes d'organisation de l'eau** ayant émergé sur cette planète :
physico-chimiques, bio-écologiques, philosophiques, socio-économiques et politiques.

La dimension intrinsèquement systémique de l'eau

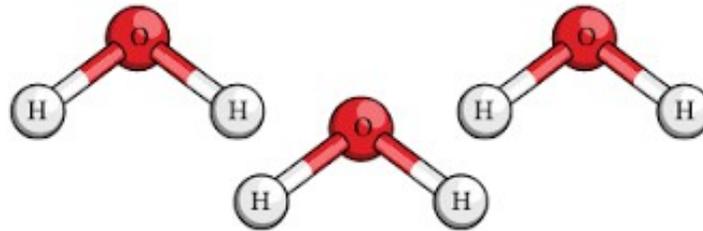
- L'eau est un flux constitutif du métabolisme d'un **systeme qui est impliqué dans les fonctions nécessaires à sa résilience et à sa reproduction** ;
- Les contraintes sur ces systèmes pouvant provoquer des **bifurcations de forme** qui rendent les différents sous-systèmes non équivalents car remplissant différentes fonctions ;
 - ces qualités et réalités devenues différentes rendent impossible la réduction de toutes ces fonctions dans un seul et même modèle de représentation. ;
- comprendre et intégrer ces contraintes et la diversité de ces fonctions dans leurs différentes dimensions nécessite alors l'utilisation parallèle de différents domaines descriptifs **irréductibles les uns aux autres** ;

L'*omniprésence* de l'eau

Comme source et re-(s)source, l'eau est donc **omni-présente, vitale** :

- elle est **mémoire** et **aléa** ;
- elle **conditionne** toutes les activités humaines et leurs environnements;
- elle est à la fois **vectrice d'éléments vitaux** ou de **contaminants**, mais aussi dotée d'une **dimension culturelle** ;
- partie intégrante de relations de *coopération* ou de *négociation*, l'eau est également **source d'enjeux géopolitiques majeurs** et, souvent, de **conflits** (*gérés alors à l'Eau-N.U ...*).

https://www.ird.fr/sites/ird_fr/files/2022-03/Forum%20Mondial%20Eau%20COSAV%202022_1.pdf



2. L'eau moléculaire

**"S'il y a de la magie sur cette planète,
elle est contenue dans l'eau."**

Loren Eiseley

**"Rien n'est plus doux ni plus flexible que l'eau,
et pourtant rien ne peut lui résister."**

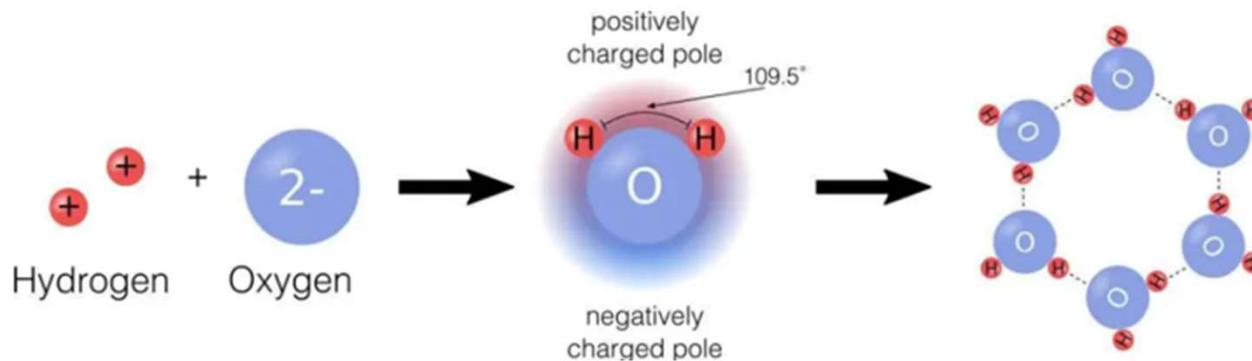
Lao Tseu

Deux propriétés physiques de l'eau ont des implications profondes à grande échelle

- L'eau se caractérise par **plus de 70 propriétés** qui, prises ensemble, diffèrent de celles de la plupart des autres liquides : ***densité, capacité calorifique, point de fusion, ...***
- **La première est la densité maximale de l'eau sous forme liquide à 4 °C** car, à l'état cristallin, les molécules se répartissent dans un réseau moins dens ;
 - avec la conséquence bien connue que la glace flotte sur l'eau et peut donc isoler les eaux de surface, qui peuvent rester non gelées en profondeur, ce qui permet l'hivernage des organismes aquatiques ;
- **La seconde est la forte chaleur de vaporisation de l'eau**, qui entraîne un transport de chaleur latente associé à l'évaporation de l'eau aux basses latitudes et à sa condensation aux latitudes plus élevées.
 - Ce transfert de chaleur latente représente environ 23 % du rayonnement solaire entrant et relie les cycles hydrologiques et énergétiques de la planète ;

D'autres particularités physiques confèrent à l'eau des propriétés spéciales

- une **polarité élevée** ;
- une **constante diélectrique élevée.** ;
- la **capacité à établir des liaisons hydrogène** :



Via ces liaisons hydrogène, le *réseau polymérique des molécules d'eau* est si serré que le point d'ébullition de l'eau passe de 40 °C (*température déduite du point d'ébullition des plus petits alcools*) à 100 °C.

Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society, <https://pdfs.semanticscholar.org/0459/c440bd80d371cb177da8c78086b3f5b32522.pdf>

Trois propriétés *paradoxaes* de la molécule d'eau (1/2)

1. **La fluidité extrême de l'eau liquide** qui s'explique par le fait que la liaison hydrogène par laquelle la molécule établit des ponts avec ses voisines ne dure pas :
 - Chaque *millième de milliardième* de seconde, **la liaison hydrogène se rompt et une autre se reforme** ;
 - les molécules d'eau restent ainsi **reliées ensemble tout en étant très mobiles** ;
2. il faut **beaucoup moins de chaleur pour faire fondre un bloc de glace que ce qui serait théoriquement nécessaire** du fait que les liaisons hydrogène sont énergétiquement très solides ;
 - Pour expliquer ce paradoxe, certains scientifiques avancent que **les liaisons hydrogène, rectilignes à l'état solide, se torderaient à l'état liquide** pour occuper moins d'espace et, sous cette forme tordue, l'eau aurait besoin de moins d'énergie pour fondre, sans que ce ceci soit déjà démontré ;

Trois propriétés *paradoxaes* de la molécule d'eau (2/2)

3. **Une molécule existant sous deux états liquides** : à -44°C , *ultra-pure et en surfusion*, l'eau existe sous deux formes liquides différentes, correspondant à deux états moléculaires distincts :

- un état de haute densité, *où les molécules s'entassent les unes sur les autres* ;
- un autre état plus ordonné ;

« Avec leur densité différente, ces deux liquides ne se mélangent pas. Comme l'huile et le vinaigre dans une vinaigrette, ils cohabitent pour former l'eau » ;

explique Anders Nilsson, professeur de physico-chimie à l'université de Stockholm et coauteur des travaux ;

*« Si ce résultat est validé, cela ferait de l'eau l'un des seuls liquides purs connus à être composé de deux phases distinctes et cela poserait d'autres questions bien plus larges : **est-ce un hasard ou non que ce liquide soit celui qui est à l'origine de la vie ?** »*

(se) demande alors le chimiste suédois ...

La propriété *électrolytique* de la molécule d'eau

- L'eau est un électrolyte faible qui se dissocie en un *ion hydrogène* (H^+) et un *ion hydroxyle* (OH^-).
- Ces ions ont des propriétés catalytiques permettant d'accélérer des réactions chimiques, qui ont alors lieu en quelques secondes au lieu de plusieurs jours.
 - « ***L'eau est le champ d'action de toutes les réactions biochimiques qui définissent la vie.*** » ;
 - « *Toute notre machinerie ne peut fonctionner que dans une solution aqueuse* ».

Bengt Kayser, professeur à l'Institut des sciences du sport, Université de Genève.

La propriété *hydrolytique* de l'eau : centrale dans l'origine de la vie

- Les molécules d'eau ne servent pas seulement de solvant et d'agent de synthèse , elles peuvent aussi **favoriser l'hydrolyse**, ce qui semble être à l'encontre de la formation de molécules organiques essentielles ;
 - la capacité d'hydrolyse est en effet un élément important du métabolisme énergétique de tous les organismes vivants mais, à l'intérieur des cellules, il s'agit d'une réaction contrôlée ;
- Des **moyens biotiques et abiotiques de contrôle- de cette capacité d'hydrolyse** réduisant ainsi l'écart avec les réactions biochimiques et géochimiques de synthèse expliquent comment **l'hydrolyse pourrait avoir joué un rôle constructif** à l'origine des l'auto-organisations moléculaires ;
 - le moyen le plus couramment rencontré évoque l'existence de **cycles qui font alterner des périodes d'hydrolyse (forte activité de l'eau) et des périodes de condensation (absence d'activité de l'eau)**, permettant d'obtenir une polymérisation.

<https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1873-3468.13815>

Des interactions *ago-antagonistes* de l'eau avec les molécules organiques

- D'un côté, **la propriété hydrolytique** de l'eau liquide qui permet des voies de synthèse qui auraient peu de chances de se produire dans un pur solvant organique ;
 - de simples hydrocarbures ne peuvent en effet pas former de liaisons hydrogène avec l'eau,
 - par contre **des molécules organiques intégrant des groupements -OH, -NH, -SH** (« CHONS ») ont une certaine affinité pour l'eau, en particulier ceux qui portent des **groupes ionisables** ;
- D'un autre côté, **la condensation de l'eau via polymérisation**, autre réaction courante qui, non seulement l'élimine, mais favorise alors les réactions de synthèse qui sous-tendent la formation des cellules.

L'hydrolyse : composante de cette propriété *ago-antagoniste* de la molécule d'eau

- Ainsi quand elle est faible, l'activité hydrolytique de l'eau **pourrait favoriser la synthèse de peptides aléatoires** ;
- tandis **que l'élimination hydrolytique** des plus labiles d'entre eux parmi des variants synthétisés au hasard **enrichirait des structures non aléatoires**, ceci éventuellement sans instruction génétique ;
 - ces variants abriteraient **des surfaces structurelles spécifiques**, équivalent à des sites actifs multiples ;
 - ceux-ci pourraient à leur tour favoriser certaines réactions cinétiquement contrôlées par rapport à d'autres, accélérant ainsi **un processus progressif et sélectif d'auto-organisation moléculaire**.

La relation liant eau et atmosphère

- La vapeur d'eau est le principal « *gaz à effet de serre* » de la planète (>60%) ;
 - dans le grand cycle de l'eau, **l'évapotranspiration** représente de l'ordre des deux tiers du volume des échanges ;
- Cela mène à des changements dans la fréquence, l'intensité, l'étendue spatiale, la durée et le timing d'événements extrêmes dans ce que l'on nomme alors ***le climat*** ;
 - Cela a un impact sur la **régularité des débits existants des rivières**, comme ceux qui sont alimentés par la fonte de neiges ;
- Et aujourd'hui **l'équilibre du grand cycle planétaire de l'eau qui prévalait est rompu**, ce qui impacte directement la thermorégulation de notre planète.

3. L'eau, élément catalyseur fondamental de la complexité moléculaire

**« Des milliers de personnes ont vécu sans amour,
pas un seul sans eau. »**

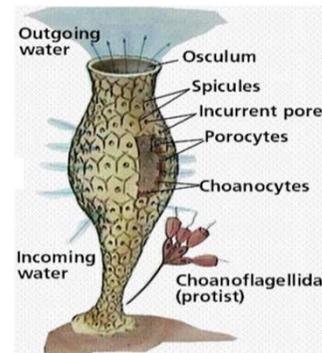
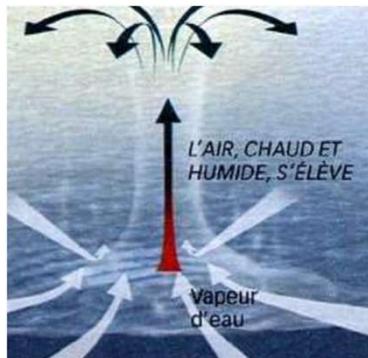
W.H. Auden

« L'eau est le moteur de toute la nature. »

Léonard de Vinci

L' « eau planétaire » - de la molécule tellurique aux
systèmes écologiques - J de Gerlache

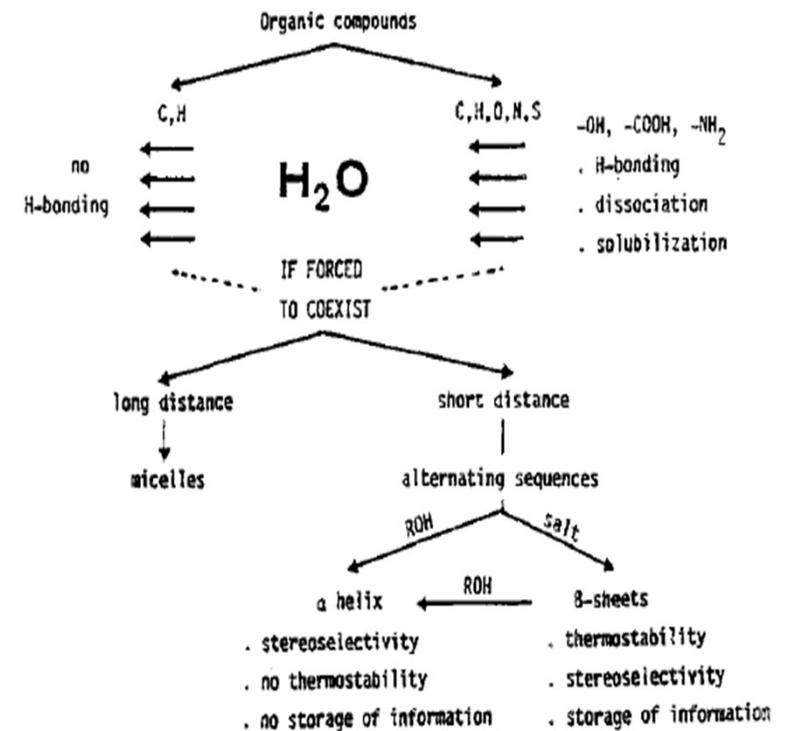
La « raison d'être » de systèmes organisés autour de l'eau



**L'eau ne « sert » pas seulement à la croissance de la plante,
C'est principalement la plante qui « sert » à évaporer l'eau
et la chaleur qu'elle contient !**

La co-existence de l'eau et des molécules organiques

- Lorsqu'elles sont forcées de coexister au sein des mêmes molécules, des **liaisons hydrogène** se forment alors entre molécules d'eau et molécules organiques ;
- Cette dualité génère des topologies intéressantes et peuvent alors être associées à la formation, peut être par l'intermédiaire de la stéréotypie, de **bicouches alternant un intérieur hydrophobe et un extérieur hydrophile** ionisable et doté d'une **réactivité chimique** ;
- Cette interaction complexe contribue à accroître la **stabilité thermique des macromolécules** dans leur environnement aqueux.



Scheme 1. Liquid water drives the conformation of organic molecules.

Le rôle particulier des sels

- **Les sels peuvent également exercer une influence considérable** sur les caractéristiques de l'eau en tant que solvant :
 - Le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le phosphate (PO_4^{-3}) et le chlorure (Cl^-) **contribuent au repliement, à la structure et à la spécificité des protéines et des enzymes** en créant des micro-environnements in situ où certains ions sont plus abondants que dans la masse ;
- Ils peuvent offrir des conditions physicochimiques dynamiques qui **modulent naturellement les structures pour la chimie prébiotique** tout en maintenant le risque d'hydrolyse à un niveau inférieur à celui des environnements purement aqueux ;
- dans des conditions abiotiques, un sel peut aussi avoir des effets intéressants **sur la structure tridimensionnelle des protéines** :
- alors que, dans l'eau pure, des polypeptides homochiraux de leucine-lysine (Leu-Lys) se replient comme des bobines aléatoires, **en présence de sel, ils forment des bicouches de feuilles thermostables et stables à l'hydrolyse** avec les chaînes latérales hydrophiles.

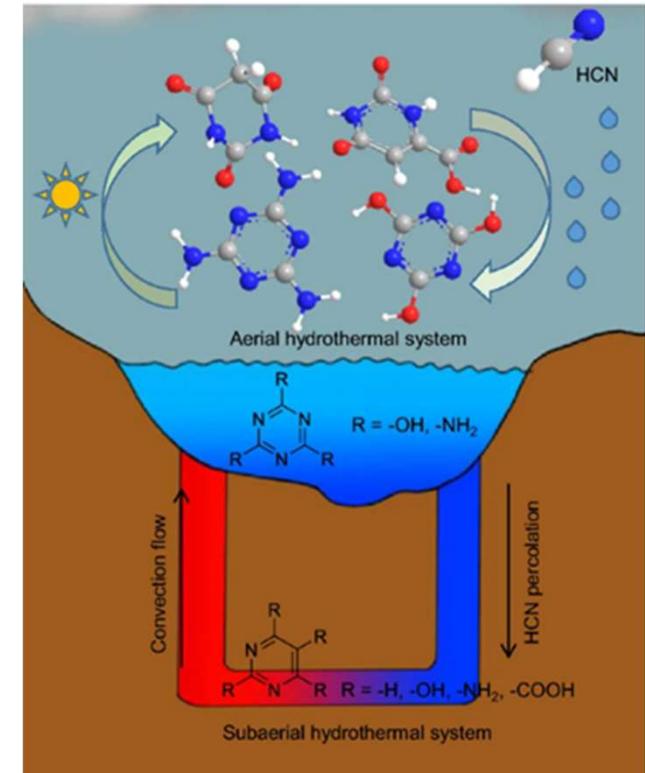
Chimie prébiotique ou abiotique

- En 1952, Miller et Urey ont injecté **de l'ammoniac, du méthane et de la vapeur d'eau** dans un récipient en verre fermé **afin de simuler ce que l'on croyait alors être les conditions de l'atmosphère primitive de la Terre** ;
 - ils ont ensuite fait passer des étincelles électriques à travers le récipient pour simuler la foudre ;
 - des acides aminés, les éléments constitutifs des protéines, se sont rapidement formés ;
- Les scientifiques pensent aujourd'hui que **l'atmosphère primitive de la Terre avait une composition chimique différente** de la recette de Miller et Urey.
- Des résultats récents(1) semblent néanmoins apporter la preuve que **l'eau, formée par les gaz originels de la nébuleuse présolaire, a toujours été présente sur la Terre.** Seulement de 5 % à 30 % auraient pu venir d'ailleurs ;
 - Reste à comprendre comment l'énergie de la collision entre la Terre et la planète Théia, qui a donné naissance à notre Lune il y a 4,5 milliards d'années, ne l'a pas vaporisée.

(1) Jean-Alix Barrat, de l'université de Bretagne-Occidentale, résultats publiés dans « Science Advances »

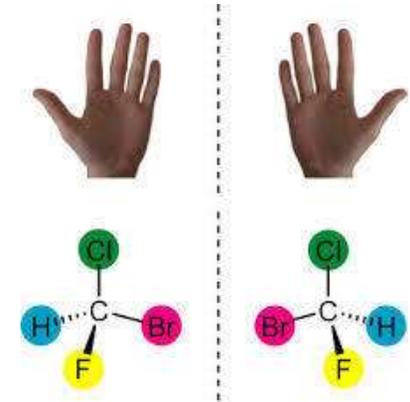
L'émergence des éléments prébiotiques

- les scénarios hydrothermaux alcalins avec un pH relativement constant sont de bons scénarios géologiques pour la génération de bases azotées ou bases nucléotidiques ;
- L'acide barbiturique(8), l'acide orotique(10), la mélamine(11) et l'acide cyanurique(14) pourraient avoir joué **un rôle important dans la formation des premières bases nucléotidiques** dans un scénario d'évolution chimique **vers la génération du monde de l'ARN**.
 - La synthèse prébiotique plausible de ces quatre N-hétérocycles spécifiques utilisant le cyanure comme précurseur prébiotique a été **démontrée dans un environnement hydrothermal géologique concevable et raisonnable**,
 - **ainsi que la production d'autres pyrimidines et triazines**, telles que le 5-amino uracile(5), le 6-amino uracile(6), l'ammeline(12) et l'ammélide(13), qui seront compatibles avec une nucléobase existante dans une paire de bases spécifique de type Watson-Crick.



La chiralité, propriété essentielle des molécules du vivant

- Une autre expérience montrant que **la chiralité des molécules est à l'origine de tous les processus de la vie** :
 - **la chiralité est indispensable** au repliement des protéines et au bon fonctionnement des grandes molécules biologiques, telles que les protéines et les enzymes
 - en outre, sans cette configuration chirale, **elles ne pourraient pas former de structures reproductibles** ;
- cette très forte “asymétrie” pourrait avoir des origines “extraterrestres” :
 - des grains de poussières et de glace – *produits en laboratoire et similaires aux glaces interstellaires ont été* soumis à un rayonnement ultra-violet dans des conditions reproduisant celles de l'espace interstellaire ;
 - cela a produit un résidu organique qui **contenait un excès énantiomérique significatif d'un acide aminé chiral, l'alanine.**



4. Une dimension phil-*eau*-sophique ...

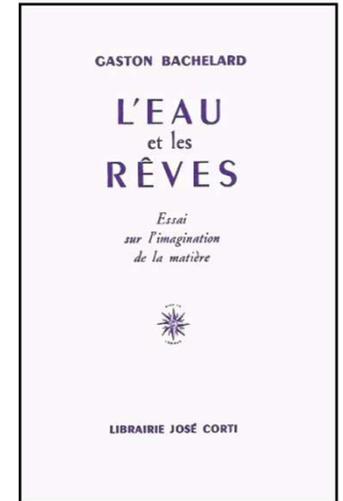
« Tout coule, rien ne demeure.
Vous ne pouvez pas entrer deux fois dans le même fleuve,
car les eaux coulent continuellement. »

Rien n'est permanent sauf le changement. »

Héraclite

La présence constante de l'eau dans les schémas de l'imaginaire humain

- **Symbole de pureté**, l'eau intervient comme élément primordial chez le présocratique Thalès ;
- ce symbole est aussi souvent exprimé par le biais du **Déluge** ;
 - Le Déluge qui est présent dans de nombreuses cosmogonies ;
 - il rappelle à l'homme sa faiblesse face aux puissances célestes et permet le renouvellement du monde grâce aux meilleurs des humains et à Noé et son arche;
- mais il y a aussi :
 - *le roi Manu, sauvé par Vishnu et transformé en poisson ;*
 - *Deucalion et Pyrrha sauvés par Prométhée ;*
 - *dans le Conte de Cupidon et Psyché ou l'eau concourt à situer les principaux personnages : elle campe, avec la mer, un monde féminin archaïque en face de la terre ;*
 - *Gaston Bachelard et son **Essai sur l'imagination de la matière- L'eau et les rêves**.*



La philosophie de l'eau comme une philosophie de la vie

- Tove Jansson soumet alors quatre aspects du thème de l'eau à l'analyse :
 - l'eau en tant **qu'élément de changement perpétuel** ;
 - l'océan en tant **qu'élément séduisant, mais aussi dangereux** ;
 - la mer en tant **qu'invitation à l'aventure** et à la découverte ;
 - la mer comme **source génératrice d'éléments créatifs et féminins** de l'imagination.

Géraldine Mosna-Savoie & Marianne Chassort

<https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-journal-de-la-philo/philosophie-de-l-eau-5563409>

Qu'est-ce que l'eau ?

- Comment **sa modalité de présence nous met face à notre propre présence**, comme vivant humain, qui est aussi, comme tous les vivants, une « *créature de la soif* » ;
 - **cette question interroge notre disposition**, à nous qui nous étonnons d'être vivants, sur la Terre, à **envisager le sens d'une appartenance** ;
 - il ne s'agit pas de se demander si l'eau nous appartient, mais **en quel sens nous nourrissons avec elle des appartenances** ;
- Si la crise environnementale nous mobilise tant autour de l'idée de stress hydrique, de guerre de l'eau, de gaspillage, c'est parce **qu'elle est également une crise de la modernité dans sa façon de symboliser l'eau** :

La précarité de la nature est simultanément une crise de la culture ;

- Sauver ou préserver une ressource naturelle **questionne donc les réserves symboliques d'une culture** dans sa capacité à redéfinir quel type de monde elle veut construire dans l'articulation avec le milieu environnant :

si l'eau est constituée par le social, elle est aussi constituante des relations sociales

Jean-Philippe PIERRON doyen de la faculté de philosophie directeur de la chaire industrielle "Rationalités, usages et imaginaires de l'eau"
Université Jean Moulin Lyon 3 –

La dimension philosophique de l'eau (1/2)

- **Ivan Illich**, dans un texte intitulé « *H₂O : les eaux de l'oubli* » (1988), critique la réduction de l'eau à sa formule brute :

. « **Elle est plus que ça, nous dit-il, elle déborde.** »

- **C'est le problème philosophique de l'eau** : celui d'un informe qui creuse pourtant son sillon, qui file entre les doigts mais qui a pourtant une épaisseur et n'échappe pas comme l'air s'envole, l'eau est à la fois pesante et légère, présente et absente :

C'est la question que pose **Gottfried Leibniz** dans ses *Nouveaux essais sur l'entendement* (1704) :

Prenez par exemple la mer constituée de milliers de vagues : entendez-vous chacune de ces vagues, chacune des gouttes qui la composent ? »

- indiquant par-là **la profondeur inaccessible de l'eau**, ce qui nous fait perdre pied avec elle, même quand on essaie seulement de la toucher.

Géraldine Mosna-Savoye & Marianne Chassort

<https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-journal-de-la-philo/philosophie-de-l-eau-5563409>

La dimension philosophique de l'eau (2/2)

- **Pour Emanuel Kant**, la présence de l'eau, son abondance, son accès, sa qualité, sont ainsi **autant de données mathématiques** qui dessinent une géographie morale de l'eau.

Et cette eau fait partie « *de ce monde, de ce théâtre sur lequel nous entreprenons nos expériences* », *expériences intimes, scientifiques ou politiques.*

- **Pour Héraclite**, l'eau était un élément de **transformation perpétuelle du monde**. La continuité et le changement représentent les deux côtés du même processus de devenir :

« On ne peut pas entrer une seconde fois dans le même fleuve, car c'est une autre eau qui vient à vous ; elle se dissipe et s'amasse de nouveau ; elle recherche et abandonne, elle s'approche et s'éloigne. Nous descendons et nous ne descendons pas dans ce fleuve, nous y sommes et nous n'y sommes pas. »

Géraldine Mosna-Savoie & Marianne Chassort

<https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-journal-de-la-philo/philosophie-de-l-eau-5563409>

Pour Georg Hegel, la mer est une vision d'infini,
quelque chose que l'homme occidental doit conquérir

- ***La mer, donne d'une façon générale naissance à un type de vie spécial.***

*L'élément indéterminé nous donne l'idée de l'illimité et de l'infini,
et l'homme, en se sentant au milieu de cet infini,
en tire courage pour dépasser le limité.*

*La mer elle-même est ce qui n'a pas de bornes et ne tolère pas,
comme la terre ferme, les pacifiques délimitations en cités.*

La terre, la plaine fluviale, fixe l'homme au sol.

Sa liberté est ainsi restreinte par un immense ensemble de liens.

Mais la mer le conduit au-delà de cette limitation.

*La mer éveille le courage, elle invite l'homme à la conquête,
au brigandage, mais aussi au gain et à l'acquisition.*

Georg W. F. Hegel, *La raison dans l'histoire*,

L'eau, de l'alchimie à la chimie

- **« Toute la force de la chimie moderne, en rupture avec l'alchimie, est précisément de dire que l'eau prétendument simple est un composé atomique : l'eau pose une question non de métaphysique, mais de physique.**
 - *Telle est l'eau dont on pense avoir tout dit et épuiser la question en étant parvenu à la décomposition de l'élémentaire par élucidation de sa composition : H₂O.*
- **Cette eau qui s'épèle dans une langue universelle et rationnelle est l'eau de tous, connaissable, manipulable et maîtrisable à merci.**
- **Mais elle n'est l'eau de personne. L'eau du mystère des eaux était celle de l'oratoire ; l'eau H₂O est énigme de laboratoire. »**

Jean-Philippe Pierron

« Trop souvent encore, les sciences sociales et les sciences de l'environnement ne dialoguent pas »

- **« La recherche doit également remédier à ses propres faiblesses »** souligne Jeanne Riaux, anthropologue de l'UMR G-EAU en poste au Sénégal qui regrette cette absence de dialogue ;
- Pour renouer ce dialogue entre disciplines, la chercheuse a mis en place au Sénégal et en Mauritanie le projet structurant de formation (PSF) Interdisciplinarités au Sud ;
- **« À travers des séminaires, des ateliers et des moments de réflexion collective, les chercheurs, toutes disciplines confondues, se questionnent sur leurs engagements et les moyens de les réaliser.**
- **En portant un regard différent sur leurs travaux, ils se posent de nouvelles questions de recherche pertinentes qui passent bien souvent par l'interdisciplinarité. »**
- Mais l'anthropologue veut aller plus loin :
- **« Il faut dépasser les frontières du monde académique pour aller vers la société. La dichotomie entre les savoirs locaux et les connaissances scientifiques n'est pas pertinente.**

<https://lemag.ird.fr/fr/gestion-de-leau-un-enjeu-de-developpement-durable>

Sortir des ornières de la pensée



« Il faut apprendre à naviguer dans un **océan** d'incertitudes à travers des **archipels** de certitude. »

Edgar Morin, (Les 7 savoirs de l'Education



L'eau, un des 4 éléments essentiels à notre survie physique, mais aussi à notre vie psychique⁽¹⁾.

- « Symbole de la mobilité ou de ce qui ne change pas, je pense à Héraclite, berceau maternel, source vive, purificatrice et régénératrice, flot apaisant ou tempête rugissante... »
- c'est bien sûr **Bachelard** qui avait su en parler dans *L'eau et les rêves* et dans ses *Causeries* :
'Notre amour pour l'eau est peut-être le plus ambivalent des amours »
 - Il décrit l'eau comme une matière élémentaire à partir de laquelle notre imagination fait émerger des rêves, des poèmes, des métaphores, et des œuvres d'art.
- l'eau occupe bien cette place intime, **sensuelle et poétique**, dans laquelle peuvent s'enraciner les préoccupations écologiques et politiques, mais elle est irréductible à celles-ci, tout comme elle est irréductible à son approche scientifique.

(1) Géraldine Mosna-Savoie & Marianne Chassort <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/le-journal-de-la-philo/philosophie-de-l-eau-5563409> et Séminaire organisé par la **Chaire industrielle "Rationalités, usages et imaginaires de l'eau"**. Université Jean Moulin Lyon 3 / Lyonnaise des Eaux autour de l'ouvrage de Jamie Linton : **"What is Water?"**

L'atelier *Phil'eau* : sensibiliser les jeunes aux valeurs de l'eau

- Impliquer les jeunes générations sur le thème de l'eau via une série d'ateliers dans plusieurs écoles sénégalaises avec le soutien de la représentation de l'IRD à Dakar, du *Réseau des clubs scientifiques du Sénégal* et des *Instituts Français* de Saint Louis et de Dakar.
- Le but du concept pédagogique *Phil'eau* est de « ***penser le monde à travers l'eau*** » ;
- L'aventure *Phil'eau* devrait bientôt se poursuivre en Mauritanie mais aussi au-delà ;.
- Une mallette pédagogique est en cours de finition pour partager un matériel clé-en-main avec les pédagogues qui souhaitent aborder ce thème avec leurs élèves.

La question d'une « *mémoire de l'eau* »

Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE

NATURE VOL. 333 30 JUNE 1988

E. Dayenas, F. Beauvais, J. Amara*, M. Oberbaum*, B. Robinzon t, A. Miadonna t, A. Tedeschit, B. Pomeranz§, P. Fortner§, P. Belon, J. Sainte-Laudy, B. Poitevin & J. Benveniste||

INSERM U 200, Université Paris-Sud, 32 rue des Carnets, 92140 Clamart, France

* Ruth Ben Ari Institute of Clinical Immunology, Kaplan Hospital, Rehovot 76100, Israel

t Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, PO Box 12, The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot 76100, Israel

t Department of Internal Medicine, Infectious Diseases and Immunopathology, University of Milano, Ospedale Maggiore Policlinico, Milano, Italy

§ Departments of Zoology and Physiology,* Ramsay Wright Zoological Laboratories, University of Toronto, 25 Harbord Street, Toronto, Ontario M5S 1A1, Canada

To whom correspondence should be addressed.

Lorsque les basophiles polymorphonucléaires humains, *un type de globules blancs dont la surface contient des anticorps de type immunoglobuline E (IgE)*, sont exposés à des anticorps anti-IgE, ils libèrent de l'histamine de leurs granules intracellulaires et modifient leurs propriétés de coloration.

Ce dernier phénomène peut être mis en évidence à des dilutions d'anti-IgE allant de de 1×10^{12} à 1×10^{120} . Dans cet intervalle, on observe des pics successifs de dégranulation de 40 à 60 % des basophiles, malgré l'absence calculée de toute molécule anti-IgE aux dilutions les plus élevées.

Comme les dilutions doivent être accompagnées d'une agitation vigoureuse pour que les effets soient observés, la transmission de l'information biologique pourrait être liée à l'organisation moléculaire de l'eau.

Human basophil degranulation is not triggered by very dilute antiserum against human IgE

- [S. J. Hirst](#), [N. A. Hayes](#), [J. Burridge](#), [F. L. Pearce](#) & [J. C. Foreman](#)
- [Nature](#) **volume 366**, pages 525–527 (1993)
- Nous avons tenté de reproduire les résultats de Benveniste et de ses collaborateurs, qui ont rapporté en 1988 que la dégranulation des leucocytes basophiles humains est déclenchée par un antiserum très dilué (10⁻²-10⁻¹²⁰) contre l'IgE.
- Ces résultats étaient contraires à la théorie scientifique conventionnelle et n'ont pas été expliqués de manière satisfaisante.
- En suivant d'aussi près que possible les méthodes de l'étude originale, nous n'avons trouvé aucune preuve d'un changement périodique ou polynomial de la dégranulation en fonction de la dilution de l'anti-IgE.
- Nos résultats contiennent une source de variation dont nous ne pouvons rendre compte, mais aucun aspect des données n'est cohérent avec les affirmations publiées précédemment.

Histamine dilutions modulate basophil activation

P. Belon¹, J. Cumps², M. Ennis³, P.F. Mannaioni⁴, M. Roberfroid⁵, J. Sainte-Laudy⁶, F.A.C. Wiegant⁷

Inflamm. res. **53** (2004) 181–188 1023-3830/04/050181-08

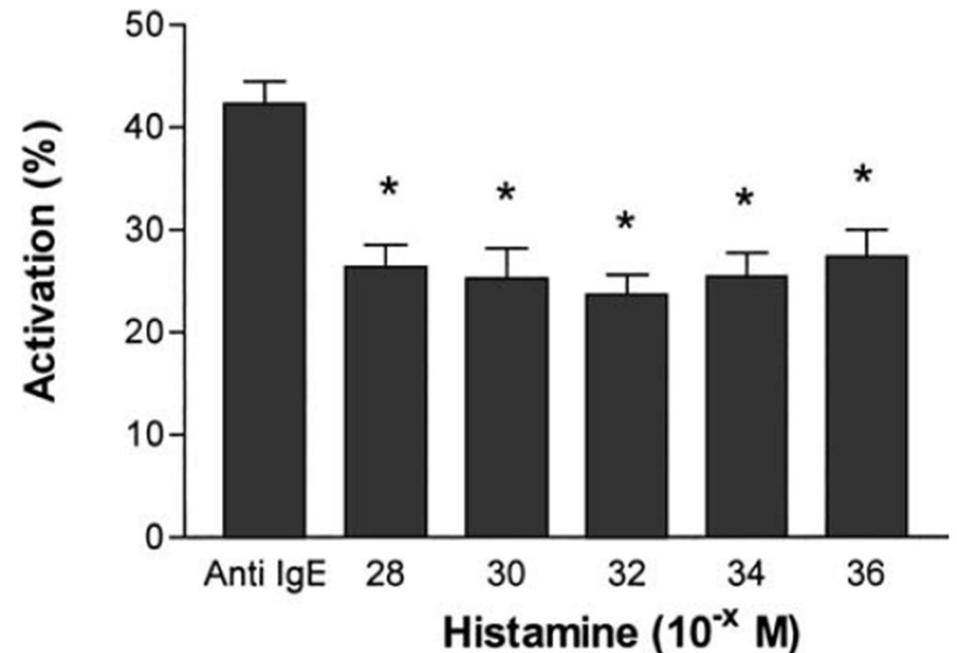
- Boiron, 20 rue de la Libération, 69110 Sainte-Foy-Les-Lyon, France
 - UCL 7369, 73 avenue Emmanuel Mounier, 1220 Brussels, Belgium
 - Department of Clinical Biochemistry, Institute of Clinical Science, The Queen's University of Belfast, Grosvenor Road, Belfast BT12 6BJ, UK,
 - Department of Pharmacology, Pieraccini 6, 50139 Florence, Italy
 - Laboratoire de biotoxicologie, UCL 7369, 73 avenue Emmanuel Mounier, 1220 Brussels, Belgium
 - Laboratoire d'Immunologie et d'Allergologie, 5 boulevard Montparnasse, 75006 Paris, France
 - University of Utrecht, Department of Molecular Cell Biology, PO Box 80.056, 3508 TB Utrecht, The Netherlands
- Received 11 December 2002; returned for revision 29 January 2003; accepted by A. Falus 12 November 2003

Etude sur la modulation de l'activation des basophiles par les dilutions d'histamine

- **Objectif** : Le but de cette étude était d'étudier l'action des dilutions d'histamine sur l'activation des basophiles
- **Contexte** : Afin de démontrer que de hautes dilutions d'histamine sont capables d'inhiber l'activation des basophiles de manière reproductible, plusieurs techniques ont été utilisées dans différents laboratoires de recherche.
- **Méthodes** : L'activation des basophiles a été évaluée par coloration au bleu alcian, mesure de la libération d'histamine et de l'expression du CD63.
 - L'étude 1 a utilisé une approche multicentrique en aveugle dans 4 centres.
 - L'étude 2, liée à la confirmation de l'étude multicentrique par cytométrie de flux, a été réalisée indépendamment dans 3 laboratoires.
 - L'étude 3 a examiné la libération d'histamine histamine (un laboratoire) et l'activité des antagonistes des récepteurs H2 et des analogues structuraux (deux laboratoires).

Pourcentage d'activation des basophiles après incubation avec des anti-IgE en l'absence ou en présence d'histamine

- La figure montre clairement que les très hautes dilutions d'histamine inhibent l'activation des basophiles (CD63) sans relation dose-réponse.
- Les données sont issues de 29 expériences réalisées en double dans 4 laboratoires indépendants en Europe ;
- Le *test de Kruskal-Wallis* a révélé des différences significatives par rapport à la libération de contrôle ($p < 0,0001$).
- Une analyse ultérieure avec le *test de comparaison multiple de Dunn* a révélé que tous les échantillons contenant des dilutions d'histamine étaient significativement différents du groupe contrôle induit par l'anti-IgE (* = $p < 0,001$).



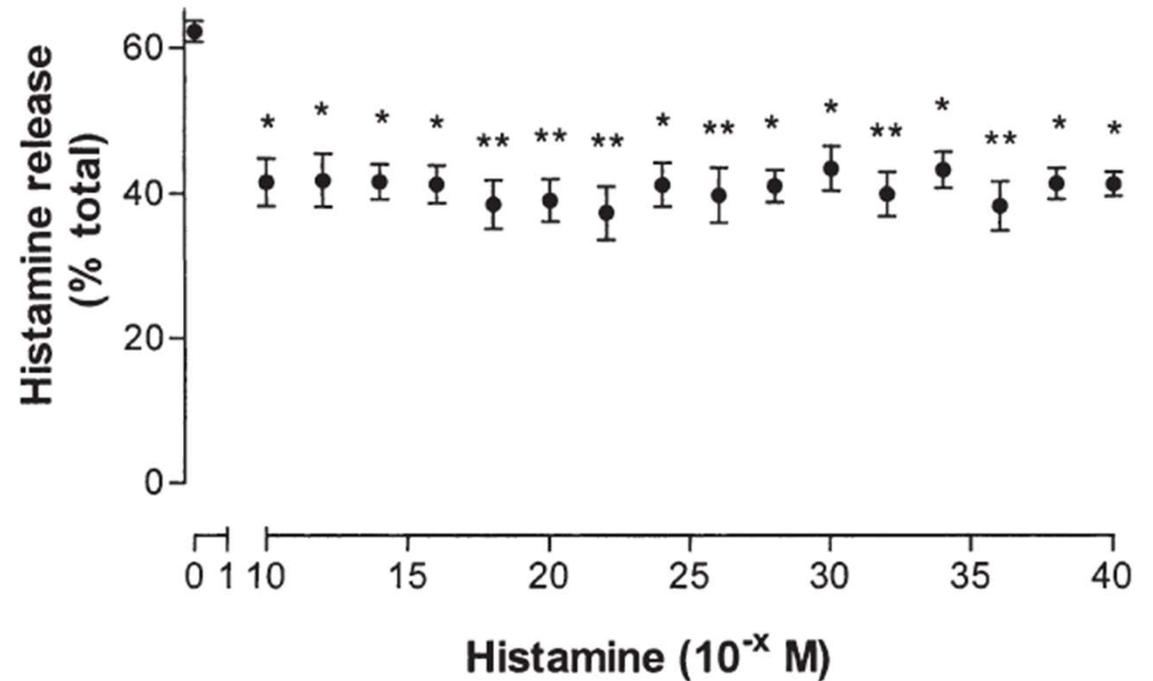
Évalué par cytométrie en flux, les concentrations molaires théoriques sont indiquées. Les anti-IgE se réfèrent aux études réalisées en l'absence de dilutions d'histamine.

Résultats

- De fortes dilutions d'histamine (10^{-30} - 10^{-38} M) influencent l'activation des basophiles humains, comme mesuré par le bleu alcian.
- le degré d'inhibition dépend du niveau initial de la stimulation induite par les anti-IgE.
- Les effets inhibiteurs les plus importants étant observés à des niveaux de stimulation plus faibles.
- cette étude multicentrique a été **confirmée dans trois laboratoires** par l'utilisation de la cytométrie de flux et **dans un laboratoire** par la mesure de la libération de l'histamine.

La libération immunologique de l'histamine

- La figure montre clairement que les hautes dilutions d'histamine inhibent la libération immunologique de l'histamine mais sans relation dose-effet.

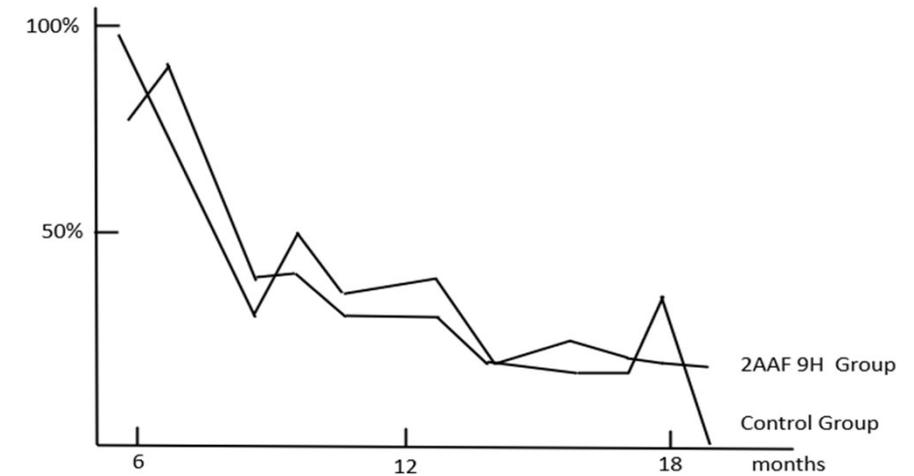
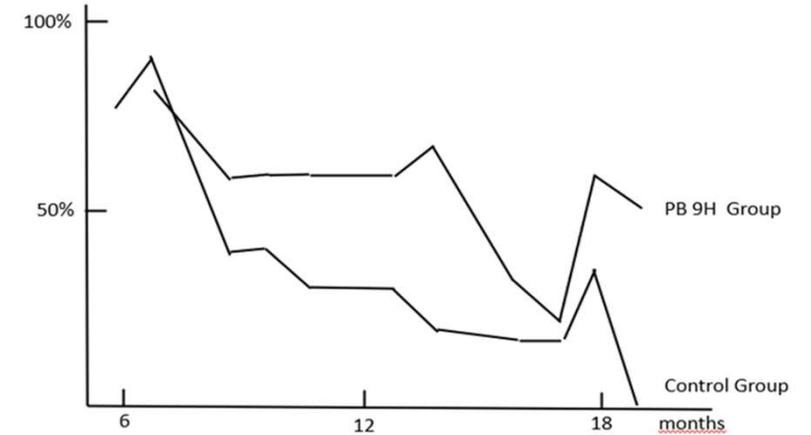
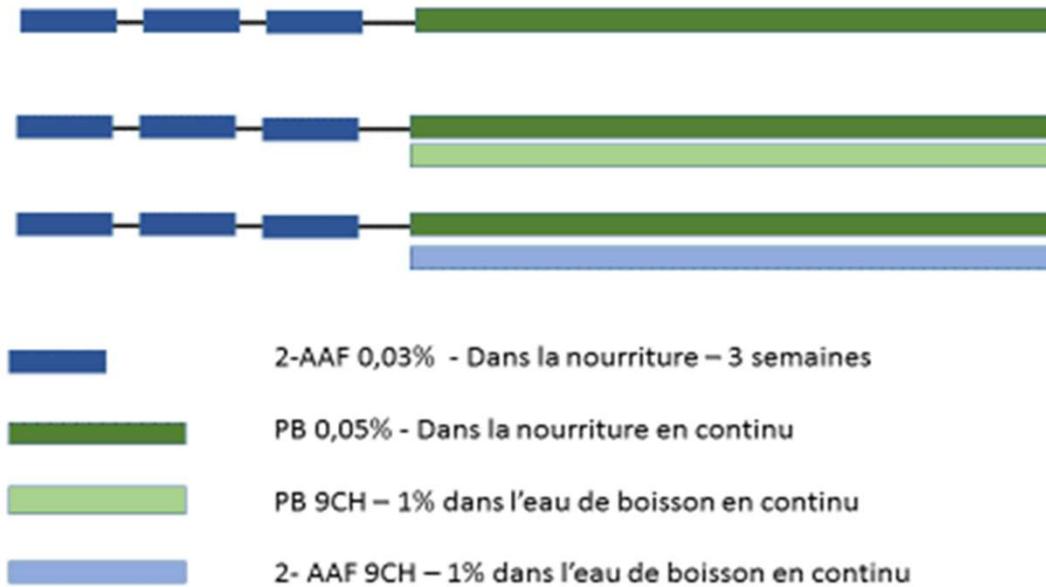


L'action de hautes dilutions sur un processus de cancérogénèse expérimentale chez le rat

- Les expériences rapportées ont été réalisées au début des années 1980 dans le cadre d'une vaste série d'expériences analysant le processus de cancérogénèse chimique chez les rats, dont les résultats ont été publiés dans divers articles, dont plusieurs dans la revue *Carcinogenesis*.
 - A été étudiée en particulier la phase dite de « promotion » de l'hépatocarcinogénèse induite par divers agents et facteurs.
 - L'un des protocoles expérimentaux utilisés est celui initialement proposé par Peraino et al qui a démontré l'effet « promoteur » du phénobarbital sur les lésions initiées dans le foie de rat par une dose subcarcinogène d'un carcinogène.
- L'objectif spécifique des expériences rapportées ici était de tester et d'analyser avec ce modèle le potentiel et **l'influence possible de solutions aqueuses très diluées** de phénobarbital sur la phase de promotion ;
 - Ceci de manière totalement indépendante de toute relation possible avec une dimension thérapeutique, quelle qu'elle soit.

Résultats de l'expérimentation

760 rats males soumis au protocole suivant :



Evolution du pourcentage d'animaux sans lésions hépatiques au cours du processus.

Comparaison des lésions hépatiques

Table 1 :Main hepatic lesions observed in each group

GROUP	Control	PB 9 CD	2AAF 9 CD
<i>Number of rats per group</i>	228	252	247
Number of surviving rats	10	11	11
% animals with no macroscopic hepatic lesions	35	51*	38
% alteration at hepatocellular level	48	30**	42
% benign lesions	27	20	28
% malignant lesions	21	10***	15

* statistically different from control group $p < 0.03$

** statistically different from control group $p < 0.013$

*** statistically different from control group $p < 0.006$

Le contexte paradigmatique de cette expérimentation

- Malgré l'expérience du laboratoire et les nombreuses publications de résultats expérimentaux plus classiques obtenus à partir de protocoles de cancérogénèse similaires, **il a été impossible de soumettre les résultats à une publication.**
- **Elle aurait jeté le discrédit sur l'ensemble des travaux produits par le laboratoire.**
 - Il a en effet été constaté lors de communications informelles avec d'autres groupes de recherche actifs dans ce domaine que la mention de ce type d'expérimentation remettait immédiatement en cause,
 - non seulement les résultats observés, mais les protocoles expérimentaux eux-mêmes et même les chercheurs.
- Peut-être qu'aujourd'hui une attention plus objective et plus ouverte peut être accordée à ces résultats.

5. L'état des ressources en eau dans le monde



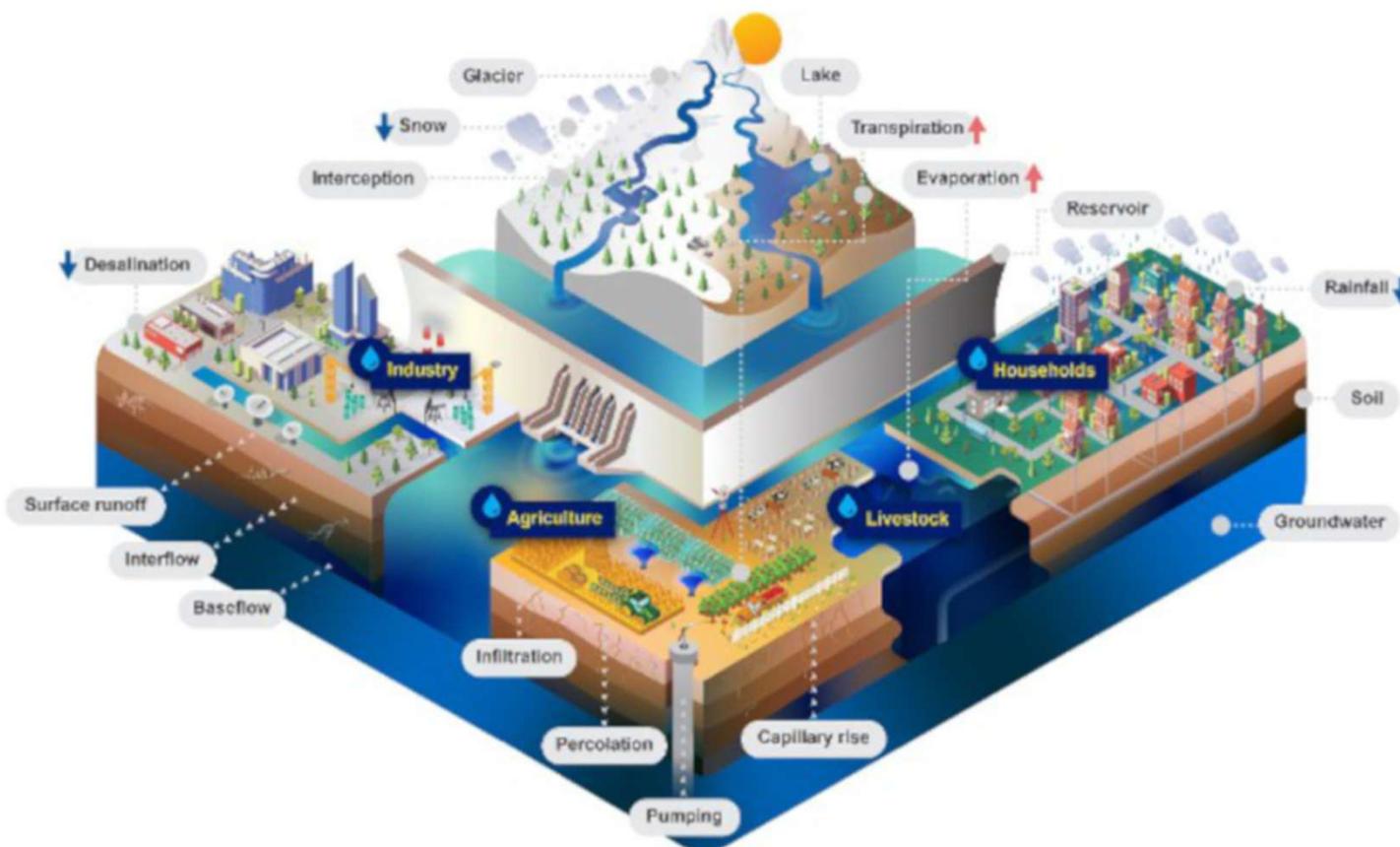
quelques indices

**« L'humanité vampirique a "brisé le cycle de l'eau",
mettant en danger des milliards de personnes
à travers la planète. »**

Antonio Guterres, secrétaire général des Nations Unies

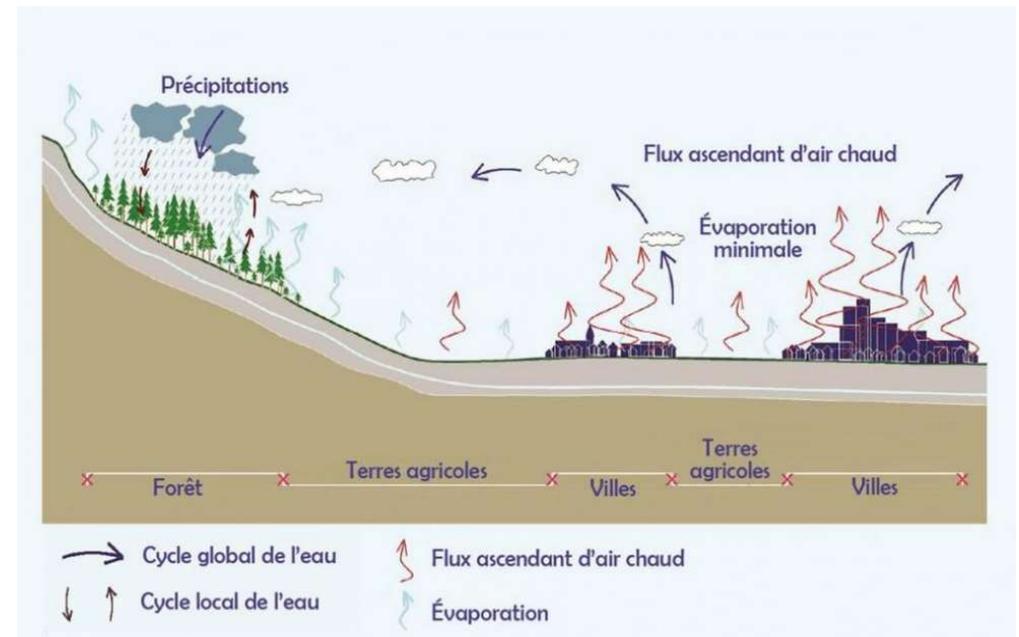
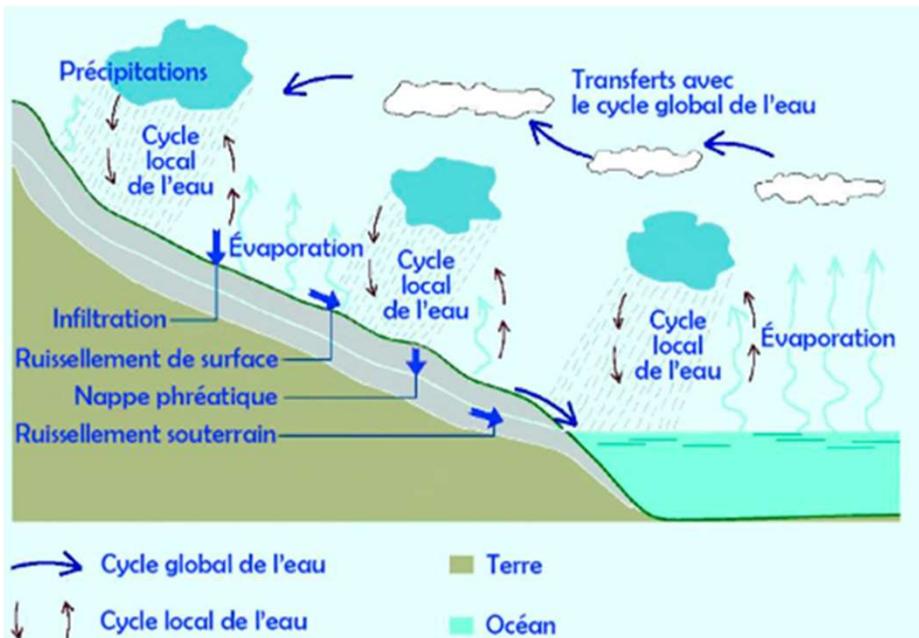
L' « eau planétaire » - de la molécule tellurique aux première conférence de l'ONU sur l'eau,
systèmes écologiques - J de Gerlache

Le système aquatique : globalement irréductible ...



<https://www.iybssd2022.org/fr/la-modelisation-globale-des-ressources-en-eau-devient-plus-accessible/>

Le cycle global de l'eau sur la planète



- Entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère, **l'eau est extrêmement mobile**, ce qui lui permet de naviguer entre l'atmosphère et les réservoirs terrestres (*océans, nappes souterraines, rivières, lacs ou encore glaciers*).
- Sa mobilité est assurée par son **changement d'état** : gazeux, solide ou liquide,

<https://m.uneseuleplanete.org/Cycle-de-l-039-eau-et-Climat-les-interrelations>

Les océans, poumons de la Terre

- Lorsqu'on parle de « *poumon de la Terre* », l'océan est bien plus important que l'Amazonie pour l'oxygénation de notre atmosphère ;
 - **90% de l'habitat naturel de la terre est situé dans les océans** sans compter toutes les espèces qui dépendent de l'océans (*des oiseaux par exemple*).
 - si l'on exclut les insectes, **l'océan abrite la majorité des espèces vivantes** sur terre ;
- En fait, **les océans à eux seuls apportent 50% de l'oxygène que nous respirons.**
 - Le phytoplancton y produit de l'oxygène grâce à la photosynthèse et à la consommation du carbone organique présent dans l'eau.
 - Sans le phytoplancton, la terre serait invivable, tout simplement

Les principales interventions humaines et leurs effets sur le métabolisme de l'eau de la planète

Les principales interventions :

- l'exploitation des aquifères ;
- l'épuisement des réservoirs d'eau de surface (*lacs, mers intérieures, etc.*) ;
- la désertification due à la production agricole ;
- le drainage des marais ;
- l'érosion des sols ;
- le déboisement ;
- la construction de barrages.

Les effets de ces interventions :

- la distorsion du ruissellement de surface ;
- entraînant une réduction de la superficie des plaines inondables ;
- ce qui affecte ses schémas migratoires, et l'augmentation du temps nécessaire pour s'écouler de l'endroit où il pleut jusqu'à la côte ;
- ce qui entraîne une évaporation plus importante et réduit la vitesse de transport des sédiments ;
- ce qui perturbe la chaîne alimentaire dans les écosystèmes côtiers.

Douze des principaux problèmes “*systemiques*” diagnostiqués dans le système hydrique mondial

1. la perte de biodiversité ;
2. le réchauffement climatique ;
3. l'érosion ;
4. l'eutrophisation ;
5. la contamination des nappes phréatiques ;
6. l'extraction excessive des aquifères ;
7. le blocage des sédiments sur les barrages ;
8. l'introduction d'espèces exotiques ;
9. la réduction des relations entre les écosystèmes côtiers et continentaux (*liée à la diminution du débit des rivières*) ;
10. les micropolluants ;
11. la pollution par l'azote ;
12. la salinisation

(GWSP, 2005).

Impact des bouleversements climatiques sur les ressources en eau

- L'évolution ou changement climatique, qui est aujourd'hui une réalité incontestable, se répercute fortement sur les ressources en eau.
- Actuellement, 3,6 milliards de personnes se retrouvent confrontées au moins un mois par an à un accès insuffisant à l'eau; d'ici à 2050, **leur nombre devrait dépasser les 5 milliards.**
- Les impacts et les conséquences de ce changement sur le cycle de l'eau concernent essentiellement :
 - la recrudescence des périodes de sécheresse et de fortes précipitations
 - la modification de la moyenne et de la répartition géographique des précipitations .
 - la modification de l'évapotranspiration .



EAU ET CLIMAT - Livre bleu COP22, 2016

Quatre indices de l'évolution des ressources aquatiques

Le cycle hydrologique s'emballe sous l'effet du changement climatique et des activités humaines :

1. **Débit des cours d'eau et débit des réservoirs** : Plus de 50 % des bassins versants et des réservoirs du monde ont présenté **des écarts par rapport aux conditions normales**, dont une majorité étaient plus secs que d'habitude, ce qui correspond étroitement aux données de 2021, qui ont également montré des conditions majoritairement sèches ou normales.
2. **Humidité des sols et évapotranspiration** : Tout au long de l'année 2022, **des anomalies dans l'humidité du sol et l'évapo-transpiration** ont fait écho aux écarts dans les conditions de débit des cours d'eau ;
 - par exemple, l'Europe a connu une augmentation de l'évapotranspiration et une diminution de l'humidité du sol pendant l'été, sous l'effet de la sécheresse.

Rapport 2022 sur l'état des ressources en eau dans le monde

https://library.wmo.int/viewer/68473/download?file=1333_en.pdf&type=pdf&navigator=1

Quatre indices de l'évolution des ressources aquatiques

3. - Sécheresses :

- graves, elles touchent des régions telles que *les États-Unis, la Corne de l'Afrique, l'Europe, le Moyen-Orient et le bassin de La Plata*.
- La sécheresse en Europe a posé des problèmes dans des fleuves comme le Danube et le Rhin et a **perturbé la production d'électricité nucléaire en France** en raison du manque d'eau de refroidissement.
- Ces régions ont également connu **une diminution des apports dans les réservoirs** et une baisse de l'humidité du sol et des niveaux d'évapotranspiration.

4. Cryosphère :

- dans les Alpes, en 2022, la couverture neigeuse est restée ***nettement inférieure à la moyenne sur 30 ans***, ce qui a affecté le **débit des principaux cours d'eau européens** ;
- Dans les Andes, l'enneigement hivernal a diminué, atteignant son niveau le plus bas en 2021 et se rétablissant quelque peu en 2022, ce qui a ***des répercussions sur l'approvisionnement en eau*** du Chili et de l'Argentine ;
- Les observations ont révélé :
 - *En Géorgie, en particulier le Shkhara, un doublement des taux de fonte au cours des dernières années* des glaciers ;
 - *dans le Chateau d'eau asiatique, avec une modification des écoulements fluviaux dans les bassins de l'Indus, de l'Amu Darya, du Yangtze et du fleuve Jaune,*

Etat des des bassins hydrographiques mondiaux

- En 2022, **plus de 50 % des bassins hydrographiques mondiaux ont connu des écarts** par rapport aux conditions normales d'écoulement des cours d'eau. des cours d'eau.
- en 2021 et 2022, **un plus grand nombre de rivières ont connu des conditions sèches ou normales** :
 - La plupart de ces zones étaient **plus sèches que la normale**,
 - tandis qu'un plus **petit pourcentage de bassins affichait des conditions supérieures à la normale** ou très supérieures à la normale.

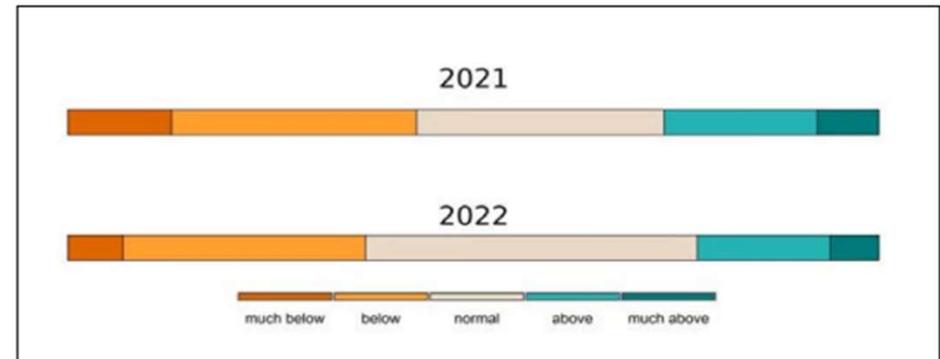


Figure 20. The distribution of the area under different river discharge conditions for the years 2021 and 2022. The results for the year 2021 were recalculated according to the method used for the year 2022 (Box 1).

- Les apports d'eau dans une sélection de grands réservoirs étudiés en 2022 ont suivi la tendance du débit général - **plus de 60 % des réservoirs ont connu des apports d'eau inférieurs ou supérieurs à la normale.**

Humidité des sols : entre excès et déficiences

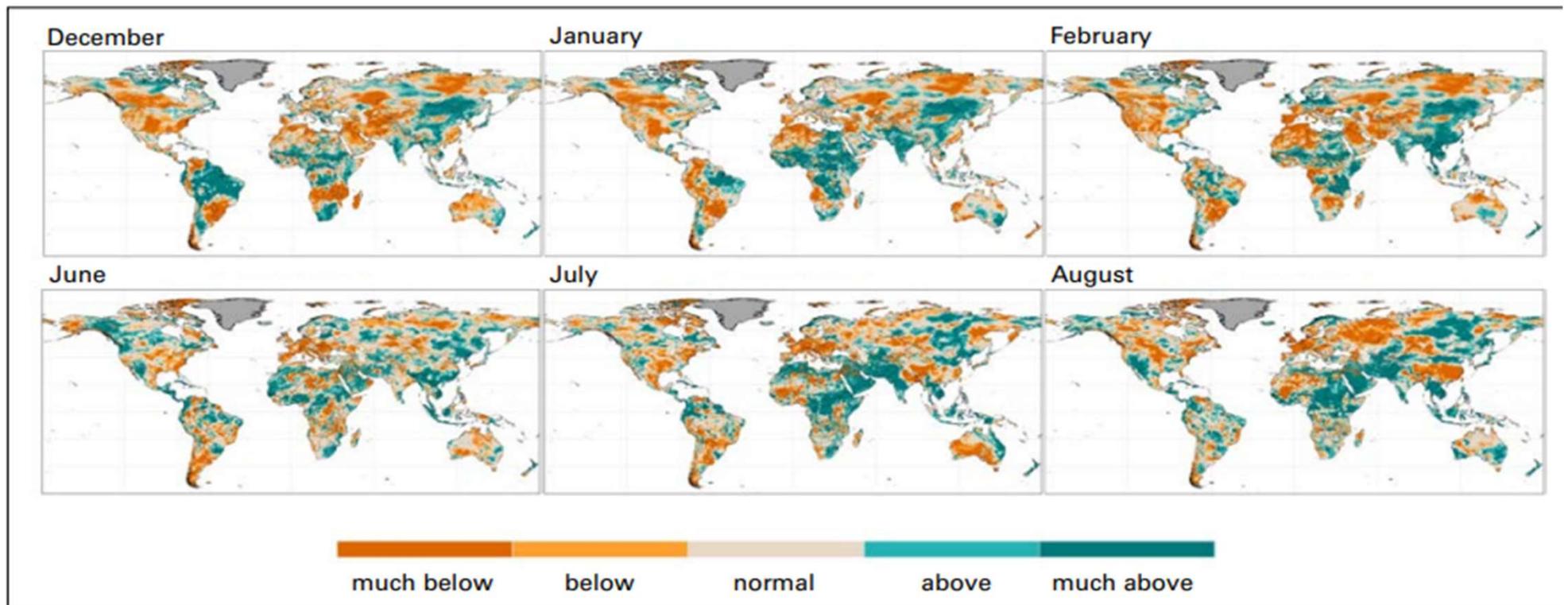


Figure 7. Monthly anomaly in surface soil moisture in 2022 (Dec. 2021–Feb. 2022 and Jun.–Aug. 2022) as ranked with respect to the historical period 2003–2020. The mask over Greenland from Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) has been applied.

https://library.wmo.int/viewer/68473/download?file=1333_en.pdf&type=pdf&navigator=1

Les eaux souterraines

- Leur capacité à fournir divers services dépend de leurs **caractéristiques géographiques** ainsi que de l'influence dynamique qu'exercent **les processus naturels et humains** sur celles-ci ;
- Ces services comprennent :
 - la **capacité tampon des aquifères** à réguler les régimes quantitatifs et qualitatifs des systèmes d'eaux ;
 - le **soutien dont bénéficient les écosystèmes qui en dépendent** et les autres éléments environnementaux qui y sont liés ;
 - **l'approvisionnement** à des fins **d'utilisation humaine** ;
 - **les services culturels** en lien avec les loisirs, les traditions, les religions ou des valeurs spirituelles et qui y sont indirectement associés ;
- Les eaux souterraines offrent aussi **de nombreux autres avantages plus spécifiques** :
 - *tels que l'accroissement de la production d'énergie géothermique, l'amélioration du stockage en vue d'assurer une meilleure sécurité de l'eau et l'adaptation aux effets du changement climatique.*

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380723>

L'importance des eaux souterraines

- Présentes partout sur Terre même si leur répartition y est inégale, **les eaux souterraines — qui constituent près de 99 % de toutes les réserves en eau douce liquide de la planète —** peuvent apporter aux sociétés d'énormes avantages sociaux, économiques et environnementaux, notamment en matière d'adaptation au changement climatique ;
 - **les eaux souterraines** fournissent déjà **la moitié de la quantité d'eau prélevée pour un usage domestique** par la population mondiale et environ 25 % de toute l'eau prélevée à des fins d'irrigation, **alimentant ainsi 38 % des terres irriguées dans le monde** ;
 - dans la plupart des pays du monde, **seules les eaux souterraines peuvent permettre, de façon concrète et abordable, de fournir un accès de base à l'eau** aux populations rurales non desservies ;
- Pourtant, malgré son importance capitale, **cette ressource naturelle reste mal comprise et par conséquent sous-évaluée, mal gérée, voire gaspillée** ;
-

EAUX SOUTERRAINES
Rendre visible l'invisible



Le « *château d'eau* » asiatique, troisième pôle de la Planète

- Après les régions arctique et antarctique, ce troisième pôle (AWT) constitue le plus important et le plus vulnérable des châteaux d'eau du monde ;
 - Il englobe le plateau tibétain, l'Himalaya, le Karakorum, l'Hindou Kouch, les Pamirs et les monts Tien Shan, est considéré comme le château d'eau de l'Asie. Kush, les Pamirs et les monts Tien Shan ;
- Il est par ailleurs le plus grand réservoir de glace et de neige de la planète ;
 - Il assure un approvisionnement fiable en eau à près de 2 milliards de personnes.
- Mais la fonte des glaciers s'accélère dans la région : entre 2000 et 2018, la masse totale des glaciers de l'AWT a diminué d'environ 4,3 %.

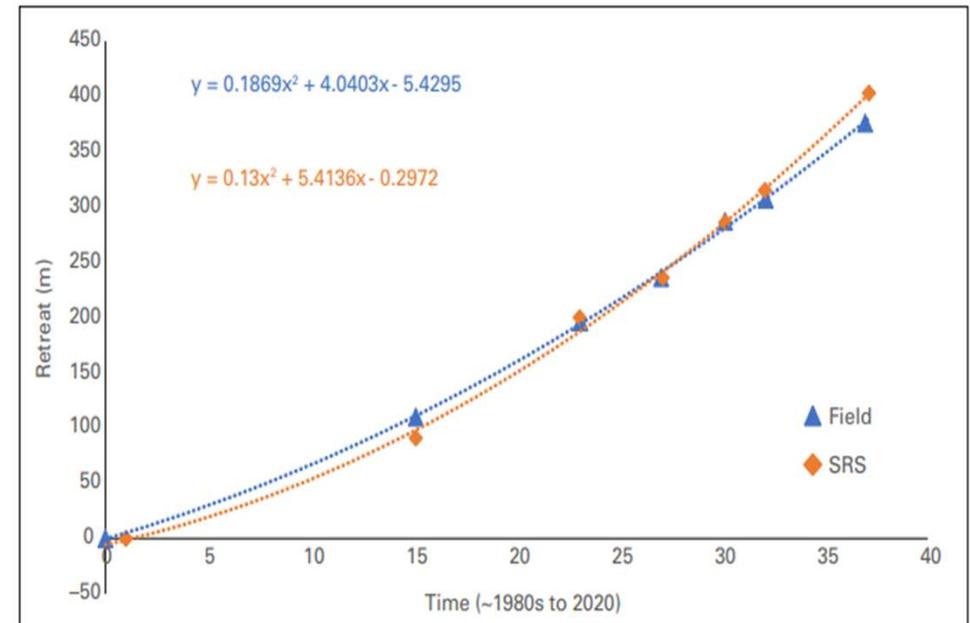


Figure 16. Graph of the retreat of the Shkhara glacier. The blue curve is based on ground observations, and the orange curve is based on satellite remote sensing (SRS) data.



6. La gestion de ces ressources en eau

"Tout ce dont nous avons besoin pour vivre une vie décente est directement lié à l'eau : notre santé, la nourriture, les habitats, l'économie, les infrastructures et le climat."

Willem-Alexander, roi des Pays-Bas,

L'eau : aussi inégalement disponible que le pétrole !

- La distribution géographique de l'eau sur la planète est des plus inégales.
 - aujourd'hui, **9 pays se partagent 60 % des ressources naturelles** renouvelables d'eau douce (1) ;
- un **tiers de l'humanité** vit dans une situation de stress hydrique :
 - c'est-à-dire avec moins de 1 700 m³ d'eau douce disponible par habitant et par an, quand la moyenne mondiale est plutôt autour de 5 000 à 6 000 m³ ;
 - L'ONU prévoit que, d'ici à 2025, près de **1,8 milliard de personnes** vivront dans des zones touchées par des pénuries d'eau ;
 - selon AQUASTAT le taux de dépendance en eau vis-à-vis de l'extérieur dépasse les 95 % en Égypte contre 8 % aux États-Unis ;
- **ces chiffres s'aggraveront dans le futur** pour des pays comme *l'Égypte, Malte, la Libye, la Jordanie, Chypre ou encore le Yémen et les Émirats du Golfe* qui disposent de ressources en eau extrêmement faibles, voire quasi nulles.

(1) Brésil, Russie, Indonésie, Chine, Canada, États-Unis, Colombie, Pérou et Inde.

L'« eau planétaire » - de la molécule tellurique aux systèmes écologiques - J de Gerlache

Les principales activités consommatrice d'eau

Ce sont :

- **L'agriculture** (environ 45 % du total) ;
 - **le refroidissement des centrales électriques** (30 %) ;
 - **l'eau potable** (20 %) ;
 - **les usages industriels** (5 %)
- La **consommation d'eau s'est multipliée par six** au cours du siècle dernier ;
 - , soit **deux fois plus vite que le taux de croissance démographique.**
 - Cette croissance **dépend du développement de chaque pays**, de leur population et de la ressource elle-même ;
 - USA : 300 litres par jour et par habitant ;
 - Europe : 100 à 200 litres par jour et par habitant ;
 - Pays du tiers-Monde : quelques litres à une dizaine de litres par jour et par habitant ;
 - Globalement, les plus consommateurs d'eau l'utilisent davantage pour l'irrigation et l'industrie.

Les interactions entre eau douce, littoral & océan

- **Comprendre quels sont les mécanismes qui pilotent les interactions entre océan et eau douce**, les observer et les modéliser pour les surveiller et comprendre leur évolution ;
- prendre en compte **leurs modes de gestion (*existants et envisagés*) à différentes échelles spatio-temporelles**, participe à une meilleure connaissance des problématiques liées aux ressources en eau et à leur qualité ;
- Ce travail, fondé sur **une approche interdisciplinaire et trans-sectorielle**, est indispensable pour développer des solutions durables de gestion, de mitigation et d'adaptation.



- Ceci à travers **un dialogue entre les scientifiques et les différents acteurs de la sphère politique et de la société civile.**

Les quantités exploitables des ressources en eau

- La dépendance intensive des sociétés humaines à l'égard de l'eau a **entraîné des modifications majeures des masses d'eau**, des cours d'eau et des terres adjacentes :
- Au niveau mondial, **le taux d'épuisement des réserves d'eaux souterraines est considérable** :
 - on estime qu'au début de ce siècle, il se situe entre 100 et 200 km³/an (*soit environ 15 à 25 % des extractions totales d'eaux souterraines*).
 - Par exemple, on estime que **plus de 400 000 km² de zones humides ont disparu aux États-Unis continentaux** entre le début de la colonisation européenne au début des années 1600 et le milieu des années 1980.

il y aurait cependant encore **beaucoup plus d'eau douce renouvelable qu'il n'en faudrait pour répondre aux besoins humains**

. cela via les précipitations tombant sur la terre en moyenne annuelle mondiale.

La complexité de la gestion des océans

- De nombreux accords internationaux définissent déjà des règles à respecter sur l'océan : navigation, pêche, exploitation des ressources ;
 - cela donne lieu à un mille-feuille réglementaire incroyable ;
- et malgré toutes ces règles internationales, aujourd'hui seuls :
 - 12% des océans sont protégés juridiquement ;
 - 1% sont classés réserve naturelles ;
- ce *droit des océans* est progressivement devenu une **problématique fondamentale** du droit international ;

<https://theconversation.com/non-locean-nest-pas-le-grand-oublie-des-discussions-internationales-54123>

Quelle vision de l'eau : bien privé ou bien public ?

- En tout cas, **un droit fondamental à chaque être humain** : ,
 - . Ce qui implique la gratuité d'un accès minimal à l'eau et la mise en œuvre d'une solidarité pour y parvenir ;
- ce concept est défendu par tous les opposants à la marchandisation de l'eau dont toutes les conséquences potentielles ne sont pas toutes connues ;
 - *de facto*, les avantages décrits par la théorie économique en faveur de la marchandisation du *capital nature* sont **influencés par les normes culturelles et les institutions locales**, ce qui, dans les faits, limite les marchés ;
- de plus, on observe des **problèmes d'équité** dans la définition de prix pratiqués par les opérateurs privés :
 - problème de tarifs trop élevés **en situation monopolistique**;
 - difficulté de définition des prix adéquats **en contexte de fortes inégalités économiques** ;
 - **multiplicité des usages, des acteurs et de leurs interactions** ;
 - **impossibilité de les gérer** en cas de crises économiques ou politiques.

<https://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2006-3-page-39.htm>

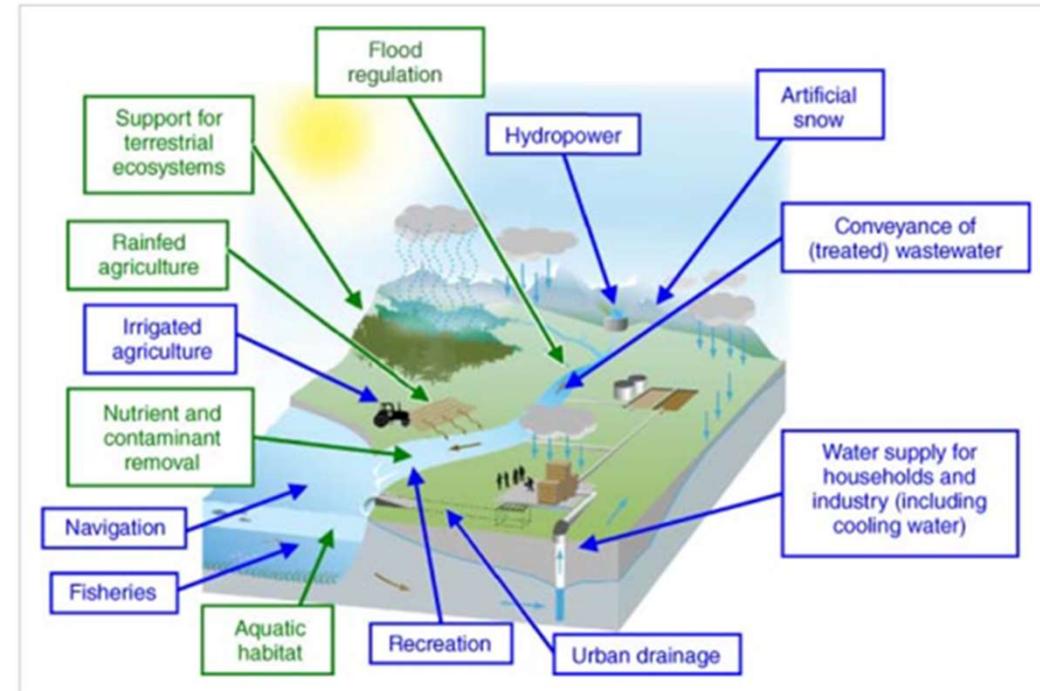
L' « eau planétaire » - de la molécule tellurique aux systèmes écologiques - J de Gerlache

L'eau est-elle un bien public mondial ?

- La définition de l'eau comme bien public mondial fait l'objet de nombreux débats : si on s'en tient à la définition minimale, pour qualifier un bien de bien public global, les coûts et bénéfices doivent en être universels.
 - Or, l'eau est une ressource plutôt localisée, au mieux régionale, dont la présence varie dans l'espace et le temps selon les saisons, le climat et la température, dont les modes d'usages et d'accès sont relatifs aux cultures concernées.
- Plusieurs arguments sont avancés pour défendre l'idée d'externalités planétaires et de risques associés de même échelle, que sous-tend la notion de bien publics mondial ;
 - l'eau fait partie de l'environnement mondial, même si aucune convention internationale unifiée sur l'eau n'existe à ce jour ;
- de plus, ces conventions sont dépourvues de moyens juridiques pour contraindre les pays membres à respecter les décisions adoptées.
 - Il n'existe pas de consensus juridique international pour savoir qui a autorité pour prendre des décisions et édicter des règles sur l'usage des écosystèmes et des ressources naturelles non marchandes.

Deux niveaux particuliers dans la complexité de la gestion des ressources en eau

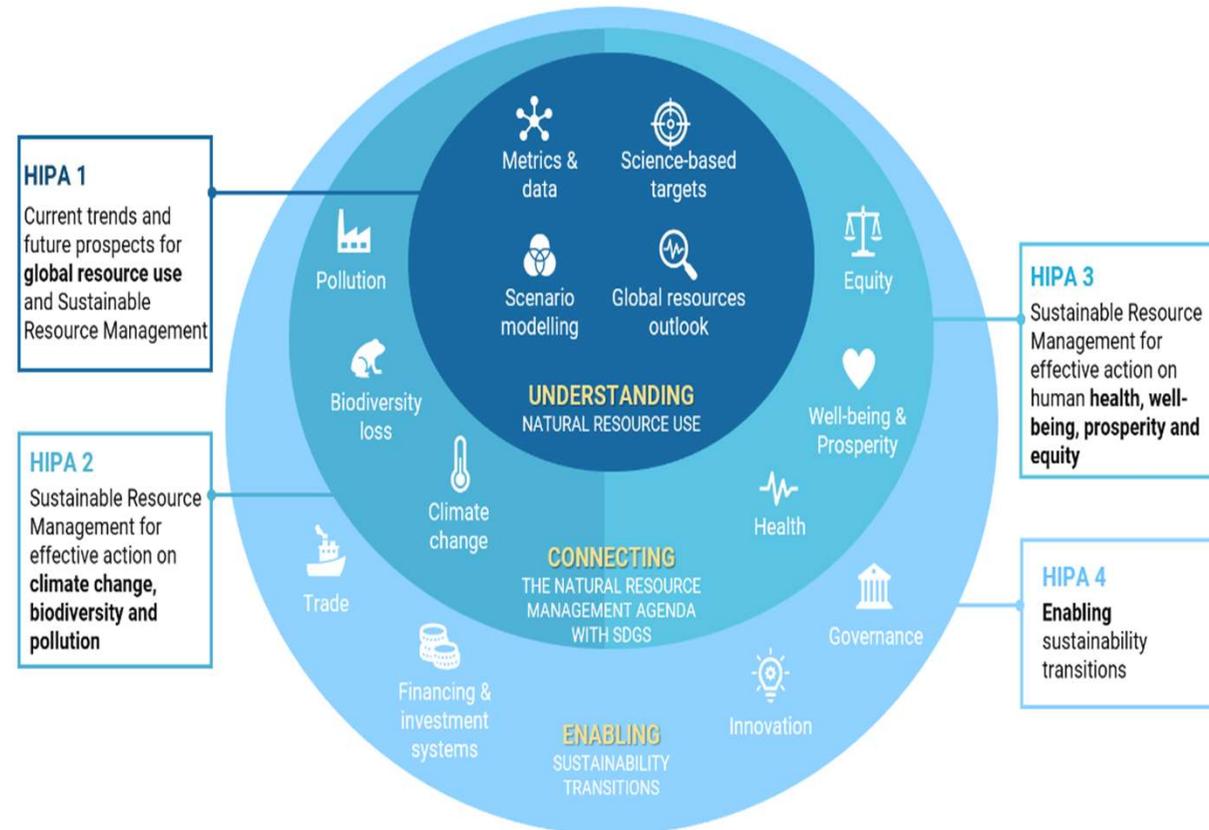
- Il y a **deux niveaux particuliers** dans la gestion de l'exploitation sociétale des ressources en eau : **institutionnelle et individuelle** ;
- cette gestion globale dépend encore d'**institutions inadaptées pour agir sur des systèmes physiques qui sont trop vastes** pour être gérés par le comportement de quelques individus qui, agrégés, auraient seuls le pouvoir d'affecter la situation des ressources en eau.



Utilisations humaines directes (bleu) et services écosystémiques indirects (vert) fournis par l'environnement aquatique.

Une vision intégrative de la gestion planétaire

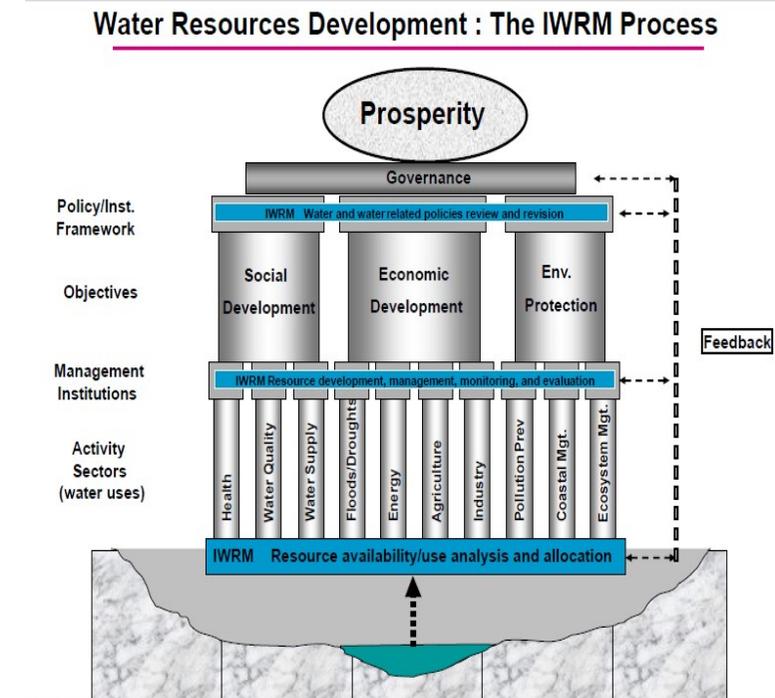
- (i) contribuer à **améliorer** la **compréhension** de l'utilisation des ressources naturelles ;
- (ii) **connecter** cette compréhension aux connaissances d'autres organismes scientifiques sur les ODD pertinents des Nations Unies et les objectifs des accords multilatéraux sur l'environnement existants ;
- (iii) fournir des options pour **permettre la transition** vers une gestion durable des ressources naturelles.



<https://www.resourcepanel.org/fr/rapports/travaux-%C3%A0-venir>

Une approche intégrative appliquée à la gestion de *l'or bleu*

- Si seuls les facteurs biophysiques sont pris en compte, le comportement des parties prenantes peut empêcher les politiques d'atteindre leurs objectifs de gestion des ressources ;
 - cela du fait que les politiques de gestion et de contrôle comme les instruments de marché présentent des limites ;
- La gestion de *l'or bleu* n'est donc possible **que par une analyse intégrant les schémas biophysiques des écosystèmes et les visions, besoins et attentes des parties prenantes** ;
- **Pour évaluer les compromis indispensables** entre facteurs biophysiques et socio-économiques et **leurs rétroactions, ils doivent préalablement être évalués analytiquement** à différentes échelles d'espace et de temps ;
 - **ce qui permet ensuite de traiter systématiquement** toute cette complexité dans une telle analyse intégrée.



La *Gestion intégrée* de ces ressources exploitables

- Trop souvent **confrontée au pragmatisme des réalités de terrain** à l'échelle de grands bassins fluviaux, une ***Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)*** en devient l'élément le plus pertinent ;
- Celle-ci étant alors réalisée **opérationnellement** en référence à l'intégration de ses composantes environnementales, sociales, économiques et spatiales indissociable d'une **bonne gouvernance** ;
- et notamment :
 - l'intégration de **toutes les ressources** (*l'eau sous toutes ses formes, les milieux aquatiques et les services écosystémiques rendus*) ;
 - l'intégration **des savoirs et des expertises** ;
 - l'intégration **sociale** (intégration des besoins, des fonctions et l'harmonisation des usages) ;
 - l'intégration **des acteurs** (*la participation, l'intégration des politiques*) ;
 - l'intégration **économique** ;
 - l'intégration **spatiale** (*le bassin versant*).

<https://www.oieau.org/thematiques/gestion-integree-des-ressources-en-eau-gire>

Développer un nouveau modèle hydrologique de ressources en eau à grande échelle

- **L'enjeu** : des stratégies et des politiques fondées sur la science pour que l'évolution de l'offre en eau réponde à la demande sans cesse croissante sans compromettre les environnements aquatiques sensibles dont elle est issue .
- **un cadre de modélisation** des processus hydrologiques et socio-économiques **plus large pour répondre à des questions interdisciplinaires** :
 - En source ouverte, il **soutiendra les études de différents acteurs** et des communautés scientifiques ;
 - Comme le cadre de modélisation est général, **il peut également être adapté pour aborder de nouvelles questions** de recherche interdisciplinaires et ouvre la porte pour explorer les liens entre les aspects liés à l'énergie, à la terre et à l'eau ;
- la principale nouveauté du modèle : **il combine les bonnes pratiques existantes** dans diverses communautés scientifiques au-delà de l'hydrologie elle-même, plutôt que de fournir des concepts entièrement nouveaux pour la modélisation;
 - Il est adaptable aux besoins de différents utilisateurs ayant des niveaux de compétence variables en matière de programmation. Cela soutiendra les travaux de différents groupes de parties prenantes et communautés scientifiques au-delà de l'hydrologie.

<https://www.iybssd2022.org/fr/la-modelisation-globale-des-ressources-en-eau-devient-plus-accessible/>

L' « eau planétaire » - de la molécule tellurique aux systèmes écologiques - J de Gerlache



7. Les pratiques de gouvernance dans la gestion des systèmes de ressources en eau

« Il y a contradiction indépassable entre la souveraineté absolue des Etats et la nécessité d'une gouvernance mondiale pour les problèmes planétaires vitaux. »

L' « eau planétaire » - de la molécule tellurique aux systèmes écologiques - J de Gerlache

Edgāp Morin .

Synthèse à propos de la gestion socio-politique des ressources en eau

- même si l'accessibilité, la distribution et l'assainissement des ressources en eau apparaissent d'abord comme des problèmes locaux, **la reconnaissance de l'eau comme bien public mondial offre une perspective internationale** que les Etats et les grandes organisations internationales doivent prendre en compte.
- Les Nations Unies paraissent être l'institution la mieux adaptée pour poursuivre les réflexions engagées lors des divers grands rendez-vous internationaux consacrés à ces problèmes.
- C'est pourquoi, **suivant en cela l'exemple de la biodiversité, des changements climatiques et de la désertification**, qui font l'objet de conventions internationales, il semble que le moment est venu de mettre en place un processus analogue
- Il permettrait d'offrir **le cadre juridique international nécessaire à une gouvernance responsable de l'eau**, guidée par un souci éthique, en particulier au regard des populations les plus pauvres et les plus démunies par rapport à cette ressource.

Les limites des systèmes existants de gestion des ressources en eaux

- il existe **de nombreux systèmes de gestion des ressources en eau** mis en place par les usagers depuis plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, **reposant sur une gestion communautaire des ressources** :
 - ces systèmes sont **particulièrement vivants dans la péninsule indienne**, tout comme dans de nombreux pays d'Amérique latine ;
- toutefois, il faut **rester vigilant sur le caractère fortement idéalisé des modes de gestion communautaire** tels qu'ils sont présentés dans les travaux du courant de la propriété commune (Ostrom, 1990) ;
- le caractère démocratique et légitime des décisions, l'idée d'un équilibre du pouvoir ou d'une équité dans la distribution, sont **autant de leurres qui invitent à adopter une démarche plus prudente et pragmatique.**

Le cas de la gestion des eaux souterraines

- Dans de nombreux pays, **les activités financées par des fonds publics dans divers secteurs contribuent à l'épuisement ou à la pollution des eaux souterraines :**
 - à titre d'exemple, les subventions dans le secteur de l'énergie qui conduisent à la surexploitation des eaux souterraines en réduisant les frais d'électricité ou les subventions agricoles qui encouragent les cultures à forte demande en eau peuvent devenir des incitations perverses ;
- l'instauration d'outils de gestion des eaux souterraines nécessite d'abord **la mise en place de ces structures juridiques et institutionnelles** qui encadrent leur utilisation et leur application ;
- la gestion de la recharge des aquifères (MAR) constitue **une de ces approches intégrées qui permet l'alimentation des aquifères en complément des barrages de surface** et offre une alternative rentable, réduisant l'évaporation et les impacts environnementaux ;
 - la façon la plus durable et la plus rentable de gérer la qualité des eaux souterraines consistera à **assurer leur protection adéquate afin d'éviter leur contamination.**
 - Cela peut passer par une cartographie de la vulnérabilité, l'établissement de zones de protection et la planification de l'utilisation des terres ;

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380723>

Une coopération internationale efficace de la gestion des ressources en eaux

- Pour mettre en œuvre une coopération internationale efficace, les Etats doivent être en mesure d'aider à **identifier les projets d'infrastructures hydrauliques acceptables** :
 - à la fois techniquement et socialement adaptés, ce qui passe par des études de la demande, mais aussi écologiquement viables ;
- Ces projets doivent **s'inscrire dans le temps** et comprendre des investissements en formation et transferts de connaissances destinés à **rendre autonomes les cadres des pays concernés** dans la gestion de l'eau au quotidien ;
- Les Etats doivent **aussi faciliter le choix de prix adaptés aux réalités socio-économiques** de leur pays, par exemple en établissant des fonds de subventions vers les usagers défavorisés.

Les perspectives et la stratégie de l'OMM en matière d'hydrologie



- L'OMM a un plan d'action et une stratégie qui s'appuient sur huit ambitions à long terme :
 1. les crues ne prennent personne au dépourvu ;
 2. les populations sont préparées à faire face à la sécheresse ;
 3. les données hydrologiques, climatologiques et météorologiques contribuent aux objectifs de sécurité alimentaire ;
 4. des données de qualité viennent appuyer les recherches scientifiques ;
 5. la science constitue une base solide pour l'hydrologie opérationnelle ;
 6. une connaissance approfondie des ressources en eau du monde dans lequel nous évoluons ;
 7. les informations hydrologiques contribuent au développement durable ;
 8. La qualité de l'eau est connue.

<https://wmo.int/fr/site/journee-meteorologique-mondiale-2024/priorites/adaptation-aux-changements-climatiques/gestion-des-ressources-en-eau>

L' « eau planétaire » - de la molécule tellurique aux systèmes écologiques - J de Gerlache

Une gouvernance de la gestion des ressources en eaux

- L'arrivée de la notion de gouvernance dans le vocabulaire socio-politique et économique contemporain aura au moins eu **le mérite de susciter de nombreux débats**, visant à :
 - dépasser les **modes d'administration trop hiérarchiques et centralisés** ;
 - ou à **faire confiance aveuglément aux mécanismes de régulation marchande** pour des ressources qui se prêtent difficilement à toute catégorisation ;
- **la gouvernance des ressources en eau** dans les pays en développement (PED) constitue sans nul doute **un enjeu politique, économique et social majeur** que les gouvernements et les institutions internationales identifient comme **prioritaire sur l'agenda politique du 21^{ème} siècle** ;
- dans la mesure où les ressources en eau peuvent être considérées comme un bien public mondial, **interroger les modalités de la gouvernance des politiques de l'eau dans les PED appelle donc une perspective plus globale.**

Mondes en développement 2006/3 (n° 135), pages 39 à 62

Les principales questions liées à la gouvernance de la gestion des ressources en eau

- Le passage d'une échelle de gestion à une autre et la philosophie sous-jacente à la notion de bien public (1) suggèrent **un ensemble de questions posées à la gouvernance** envisagée globalement :
 - Quels seront **les types d'accords entre les différents acteurs** (fournisseurs / usagers / financements) aux différentes échelles ?
 - Quelle sera **la participation des populations locales**, notamment les plus démunies à l'adoption et au maintien de pratiques définies à l'échelon mondial qui les concernent pourtant prioritairement ?
 - Devront-elles **participer au financement** de tels biens ?
- dans le cas d'une gouvernance globale, **la séparation sera plus tranchée** entre ceux qui formulent et édictent les règles internationales et ceux qui les appliquent aux échelons inférieurs,
 - avec le risque d'une déconnexion plus importante entre le monde décisionnel, et celui de leurs conséquences ;
- on ignore à cette échelle **quelle sera la part du passager clandestin**, de quels moyens de contrôle, voire de sanction, pourrait disposer une souveraineté internationale ?

L'« eau planétaire » - de la molécule tellurique aux
systèmes de distribution - [http://www.lesciencesdel'eau.fr](#)

(1) Requier-Desjardins et Caron, 2005, Le développement des biens publics dans les pays occidentaux

Un élément (re)modèle profondément la gouvernance de l'irrigation dans les *pays en développement*

- La diffusion à très grande échelle de la **pompe à eau individuelle**.
- Cette mutation technique peut avoir des conséquences sociales importantes, **puisqu'elle modifie la solidarité territoriale** qu'imposaient assez naturellement les réseaux de surface (canaux) ou enterrés (tuyaux).
 - **Les eaux souterraines sont souvent considérées comme une ressource privée**, c'est-à-dire une ressource étroitement liée à la propriété foncière et qui, dans certaines juridictions, constitue une propriété privée ;
 - il est alors **difficile de légiférer à leur égard** comme de mettre en place une gouvernance et une gestion descendantes ;
 - Néanmoins, au vu du rôle des eaux souterraines en tant que bien commun, **les gouvernements doivent assumer pleinement la responsabilité qui leur incombe** comme gardiens de cette ressource.
- La mutation conduit à remodeler les systèmes anciens, et **de nouvelles solidarités sont à inventer** pour faire prendre conscience à chacun du caractère interdépendant des actions de prélèvement dans le milieu.
- Ces solidarités, curieusement, pourraient **trouver un écho** à une échelle beaucoup plus vaste : **l'échelle globale**.

Modèle de gouvernance de projet



Pour une gouvernance transnationale ou internationale de la gestion des ressources en eau

- Plusieurs auteurs défendent l'idée **d'un risque de guerre civile mondiale de l'eau**, basée sur des scénarios prospectifs incertains par définition, mais fondés sur des hypothèses réalistes :
 - l'eau et l'accès à l'eau seraient, à cet égard, **les symboles des inégalités économiques croissantes, vecteur de déstabilisation** dans les pays industrialisés et dans les PED ;
 - elle alimenterait **une fracture sociale** entre les plus pauvres et les autres au niveau mondial, qui conduirait à cette forme de guerre civile internationale,
- **la fonction de l'Etat reste donc importante**, de ce fait, dans le statut de l'eau entre un bien public et un bien privé ;
- s'impose alors **une gouvernance globale transnationale ou internationale** caractérisée par des contrats différenciés entre acteurs :
 - **plus qu'une simple gouvernance supranationale d'un méta-pouvoir** qui définirait les conditions des usages de l'eau et de sa fourniture aux pays.



Bilan de la situation sur la gouvernance des eaux

- Il en ressort une **vision de l'eau**, ni bien privé, ni bien public, mais comme **ressource commune** un **droit fondamental** à chaque être humain :
- Les travaux sur la gouvernance de l'eau revendiquent la recherche **d'une plus grande égalité dans l'accès** à la ressource conjointement à la définition d'usages durables :
 - Ils soulignent **la prise de conscience nécessaire des** réalités singulières de terrain permettant le maintien d'une paix sociale ;
 - Ceci en **explicitant les déterminants contextuels, politiques et culturels**, souvent inégalitaires, parfois même religieux de l'accès à l'eau.

Beaucoup reste à faire dans notre monde en instabilité croissante

Face à cette complexité de cet élément aquatique
réellement et irréductiblement fondamental

Merci de votre patience et attention !