



Exploitation et pollution des milieux naturels



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon 1



Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Capsule 1

L'eau #1



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Objectifs :

Connaître la répartition de l'eau sur Terre.

Comprendre le cycle de l'eau.

Appréhender l'impact du réchauffement climatique sur le cycle de l'eau.


1

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

L'eau sur Terre

L'océan est le premier réservoir d'eau sur Terre.
 L'eau douce représente **moins de 2%** de l'eau totale.

Les stocks d'eau sur Terre (en milliers de km³)

SOURCE : IPCC 2021



L'eau totale sur Terre, de 1 380 000 milliers de km³, se répartit entre :

Océans, mers, lacs salés (97%)

Eau souterraine salée (<2%)

Eau douce (<2%)

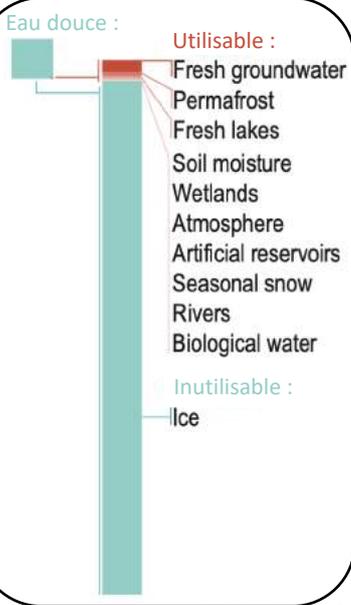
Eau douce :

Utilisable :

- Fresh groundwater
- Permafrost
- Fresh lakes
- Soil moisture
- Wetlands
- Atmosphere
- Artificial reservoirs
- Seasonal snow
- Rivers
- Biological water

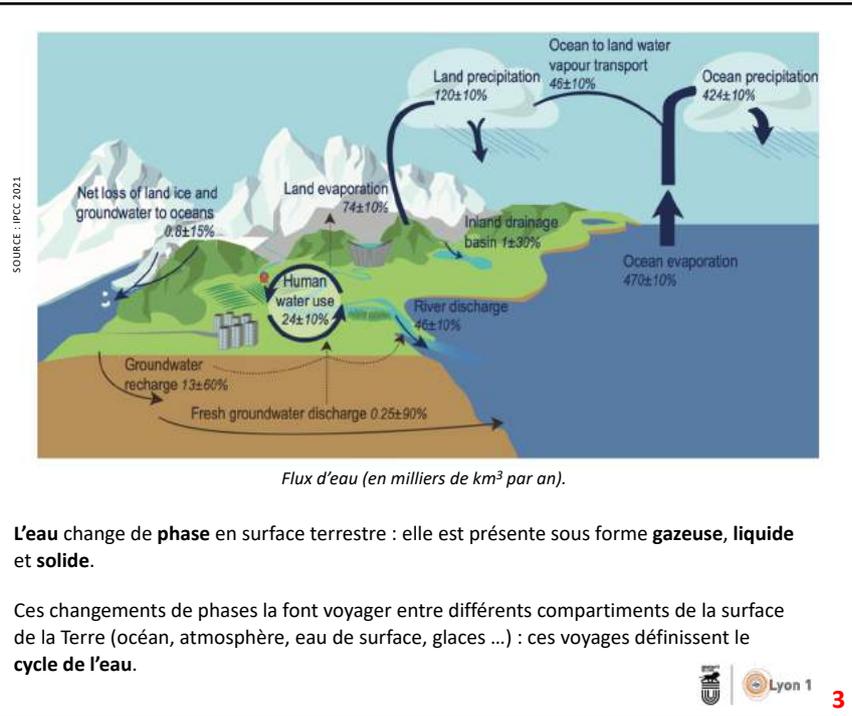
Inutilisable :

- Ice

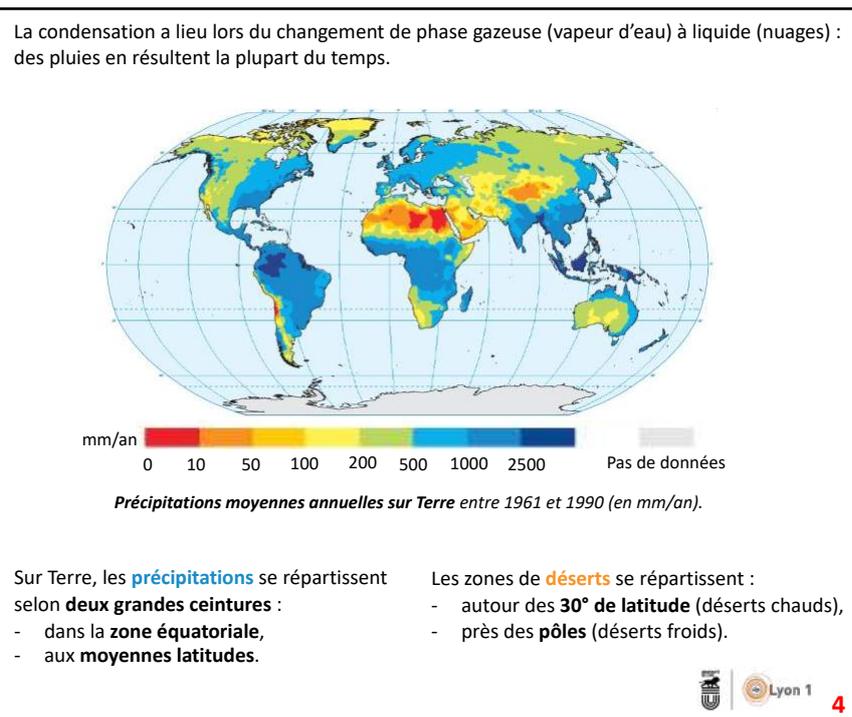


1

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Lorsque l'eau s'infiltré dans le sous-sol, des nappes d'eau souterraines (ou aquifères) se créent.
À quelle vitesse les aquifères sur Terre se réapprovisionnent-ils naturellement en eau ?

GROUNDWATER RECHARGE RATE

SOURCE: FEDER ENGSTROM & KATE BRAUMAN, INSTITUTE ON THE ENVIRONMENT'S GLOBAL LANDSCAPE INITIATIVE

Vitesse de recharge des nappes d'eau souterraines dans le monde en 2008.

La vitesse à laquelle la pluie, la neige et l'eau de surface sont capables de réapprovisionner l'eau souterraine (« vitesse de recharge ») varie énormément d'une zone à l'autre, selon la géologie et le climat.

Les zones à forte vitesse de recharge et les zones à faible vitesse correspondent aux ceintures de précipitation et à celles de déserts sur Terre, respectivement.

5

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Le cycle de l'eau face au changement climatique

Qu'observe-t-on sur les dernières décennies ?

Avec le réchauffement global de +1°C :
 - la **quantité de pluie totale sur Terre a augmenté**
 - mais cela ne veut pas dire qu'il y a plus de pluies partout : certaines régions deviennent plus sèches !

Color: Significant, Non-significant, No data

Plus de pluie ← Severity (σ / 10 years) → Moins de pluie

Evolution de « l'index de précipitation standardisé » (« SPI ») sur le globe entre 1951 et 2016.

La France métropolitaine est à l'intersection d'une zone plus arrosée (Europe du nord) et d'une zone plus sèche (bassin méditerranéen).

6

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Surface (%)

Pourcentage de la surface touchée
 Moyenne glissante sur 11 ans

1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001 2003 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017

Pourcentage de surface touchée par la sécheresse dans le sol annuellement en France métropolitaine de 1959 à 2014 (barre) et moyenne glissante sur 11 ans (courbe rouge).

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses en France est nette depuis la fin des années 1980.

SOURCE : Météo France

UN Lyon 1 7

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Europe sol moisture anomalies (1979-2020)

Reference Period: 1981-2010

Anomalies (%)

ERAS/C3S

1980 1984 1988 1992 1996 2000 2004 2008 2012 2016 2020

Pourcentage d'anomalie annuelle d'humidité dans le sol en Europe de 1979 à 2019, relativement à la moyenne de la période 1981-2010.

Depuis les années 1980, l'Europe connaît une baisse de l'humidité des sols.

Or l'humidité du sol est un **facteur clé** pour la **croissance de la végétation** (moins le sol est humide, moins la végétation peut croître) mais également pour le **départ des feux** (un sol sec combiné à une végétation sèche propagent mieux les feux).

SOURCE : ERA5, C3S/ECMWF.
<https://climate.copernicus.eu/eszf/2020/sol-moisture>

8

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Juin 2022 : Une sécheresse historique frappe le nord de l'Italie, dans la plaine du Pô.



Le **fleuve Pô** a un niveau de **-10 m** par rapport à son niveau habituel mi-Juin à Ferrare ; en certains endroits, il a presque disparu.
Son débit est **< 200 m³/s** alors qu'il était **> 320 m³/s** en 2006, lors de la dernière sécheresse.

L'eau manque dans les **nappes phréatiques** et les **lacs alpins** sont en situation de **stress hydrique**.

Cette sécheresse **pourrait réduire la production de blé et de maïs de la région de 30%**.

L'état d'urgence a été décrété par le gouvernement italien dans le nord de l'Italie, et 36,5 millions d'euros ont été alloués aux régions du nord.

La cause : un **Hiver moins enneigé** (la fonte des neiges alimente les fleuves alpins et leurs nappes phréatiques à la fin du Printemps et en Été) **et un Printemps sec et doux = moins d'eau**
→ Dans la droite lignée du réchauffement climatique actuel.

Cette sécheresse historique souligne la difficulté du pays à mettre en place une **politique de gestion des ressources hydriques** ... pourtant **incontournable avec le changement climatique.** **9**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Et en France, en 2022 ?



Proche de la plaine du Pô, en région PACA (Provence Alpes Côte d'Azur) en France, une même sécheresse est observée pour les mêmes causes au lac de Serre-Ponçon ...



10

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau



Mi-juin 2022, le lac de Serre Ponçon est de **-8 m** par rapport à son niveau habituel.
Ce niveau pourrait atteindre **-15 m** fin Juillet et **-20 m** fin Août s'il n'y a pas d'orage cet été.

Cela nuit gravement au tourisme nautique estival de la région (9 plages, 15 bases nautiques, 12 ports).

→ Il est primordial de développer une **politique d'économie et de gestion de la ressource en eau** face au **réchauffement du climat**.

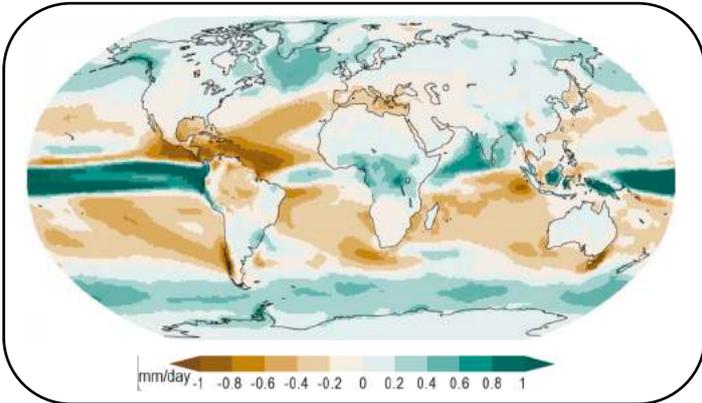
Une autre conséquence de cette sécheresse en région PACA : le **risque de départ d'incendies**. Certains massifs ont été interdits d'accès au public.



Lac de Serre Ponçon (région Provence Alpes Côte d'Azur, France) en Juin 2022. **11**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Quelles sont les prévisions futures ?



SOURCE : IPCC 2021

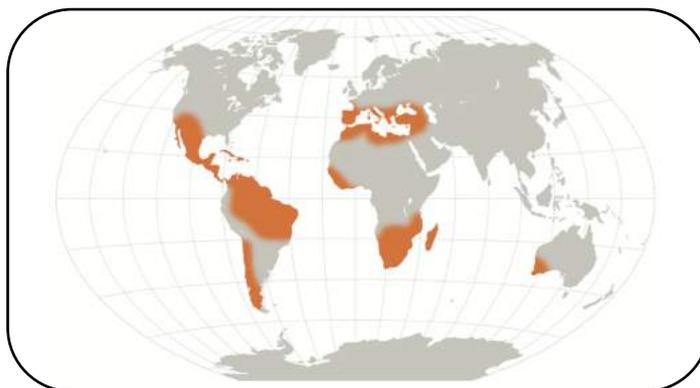
Évolution future de l'écart annuel entre les précipitations et l'évaporation (P – E) (mm/jr) pour un scénario de réchauffement de 3°C par rapport à 1850-1900.

En vert : la surface perd moins d'eau (par évaporation) qu'elle n'en gagne (par précipitation) chaque année.
En marron : la surface perd plus d'eau (par évaporation) qu'elle n'en gagne (par précipitation) chaque année, d'où une augmentation de la sécheresse.

De grandes régions se dessinent où il y aura plus d'évaporation que de précipitation, soit une augmentation de la sécheresse. **12**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

2) L'eau



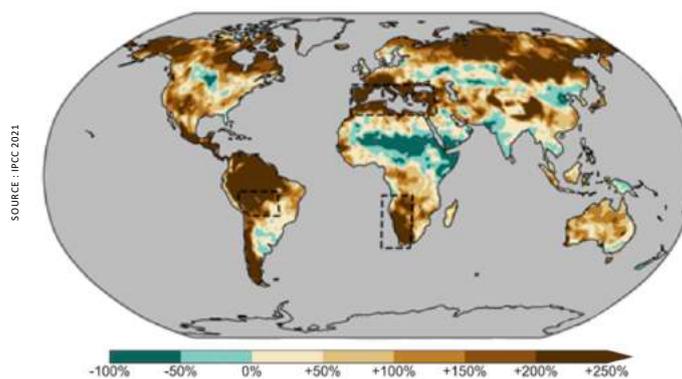
Carte schématique des régions où les sécheresses vont augmenter suite au réchauffement climatique (en marron). Ce schéma est similaire quel que soit le scénario d'émissions ; toutefois, l'ampleur du changement augmente lorsque les émissions sont plus élevées.

Des zones sur la planète seront sujettes à une augmentation des sécheresses : le Sud-Est de l'Amérique du nord, l'Amérique centrale, le bassin amazonien, l'Est de l'Amérique du sud, l'Afrique australe, le bassin méditerranéen (dont l'Espagne, le sud de la France, l'Italie, ...), le Sud-Est de l'Australie.

Dans ces zones, l'humidité du sol diminuera.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1

2) L'eau



Évolution de la probabilité d'une sécheresse agricole extrême sur une seule année (humidité du sol) (%) pour un réchauffement global de 4°C. La sécheresse extrême est définie comme correspondant aux 10 % d'années les plus sèches entre 1995 et 2014.

Dans le domaine agricole, les sécheresses extrêmes endommagent fortement les cultures.

Pour un réchauffement de 4°C, les zones particulièrement affectées par des sécheresses agricoles extrêmes sont en grande partie semblables à celles de la carte précédente.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

L'évolution future du cycle de l'eau peut également être appréhendée à travers de l'évolution du ruissellement et du débit des fleuves, par exemple pour un réchauffement futur de 4°C.

SOURCE : IPCC 2021

Basin	Projected Annual Runoff Change (%)
Mac Kenzie	95%
Yukon	90%
Saskatchewan	90%
Colorado	90%
Rio Grande	90%
Parana	95%
Niger	90%
Zaire	90%
Nil	66%
Tigre Euphrate	66%
Amu Darya	66%
Helmand	66%
Gange Brahmapoutre	90%
Murray Darling	95%

Model agreement - GWL 4°C

Pourcentage du **changement projeté du ruissellement annuel moyen (%)** dans certains bassins fluviaux pour un réchauffement global de 4°C.

Le ruissellement **augmentera** dans la zone équatoriale africaine (bassins du Nil, Zaire, Niger) et en l'Asie de l'est et centrale, ainsi qu'aux hautes latitudes.
 Il **diminuera** dans les bassins du Danube et du Rhin en Europe, du Tigre et de l'Euphrate, de l'Amazone, et du Colorado.

15

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Résumé :

Avec le réchauffement du climat, une gestion adaptée de l'eau dans certaines zones sur Terre est incontournable.

Suite au réchauffement futur du climat, certaines régions seront affectées par plus de sécheresse, ce qui pourra diminuer la production agricole, et d'autres par plus de précipitations.

16

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Référence bibliographique

IPCC (2021) Climate change 2021 : The Physical Science Basis. Working Group I
Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate
Change. Cambridge University Press.



Lyon 1

Chloé Maréchal
LGL-TPE – Université Lyon1

Capsule 2

L'eau #2



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Objectifs :

- Saisir de quelle manière l'homme exploite l'eau sur Terre.
- Comprendre quels sont les impacts des activités humaines sur la ressource en eau.

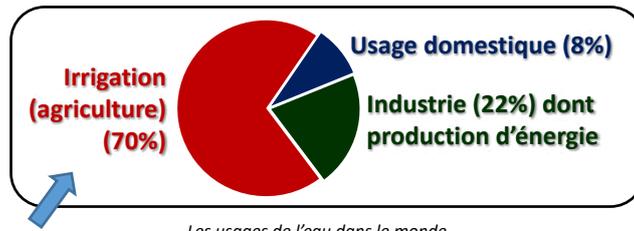
 **1**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Une ressource sous tension

« Sur les 2,1 milliards de personnes qui n'ont pas accès à l'eau gérée en toute sécurité, plus de 844 millions ne bénéficient même pas d'un service élémentaire d'approvisionnement en eau potable. » (UNICEF, 2017)

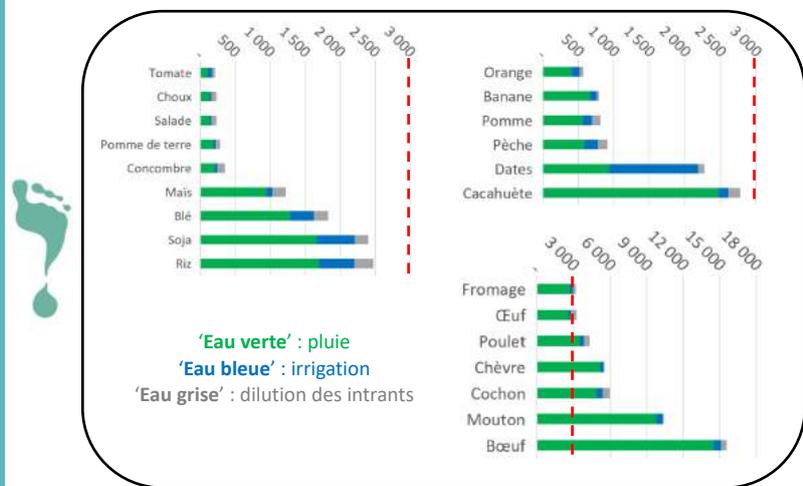
Quels sont les usages de l'eau ?



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Quels sont les besoins en irrigation pour les différentes cultures et les différents élevages ?

L'« empreinte eau » de notre nourriture est la quantité d'eau directe et indirecte (en litres) nécessaire à la production d'1 kg d'aliment.

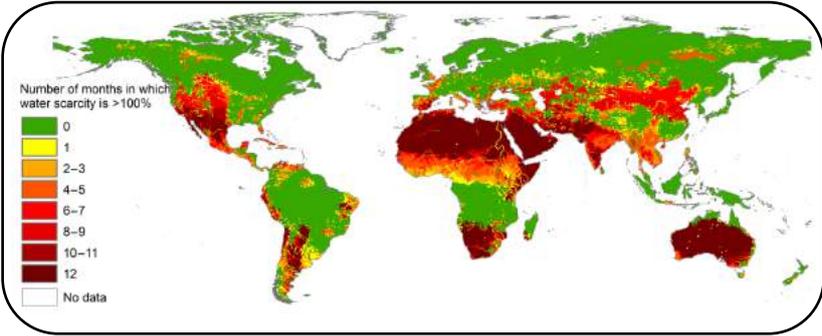


La production de viande, notamment de mouton et plus encore de bœuf, nécessite la plus grande consommation d'eau par kilogramme de produit.

SOURCE : <https://www.waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/products-a-livestock/>

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Comment l'irrigation est-elle pratiquée à travers le monde par rapport à la disponibilité en eau ?



MEKONNEN & HOEFSTRA 2016

Nombre de mois par an (N) où le besoin en eau bleue (irrigation) est supérieur à la quantité d'eau bleue disponible, entre 1996 et 2005.

En **marron** : zones où, tout au long de l'année, le besoin en eau pour l'irrigation est supérieur à la quantité d'eau disponible, N = 12 mois.
 Actuellement, les **Tropiques** sont dans ce cas.

De nombreuses zones des moyennes latitudes connaissent la même situation sur plus de la moitié de l'année.

Nombre de personnes concernées :
 N = 0 : 2,3 Md. ; N ≥ 2 : 5,3 Md. ; N ≥ 6 : 2,8 Md. ; N ≥ 10 : 1 Md. ; N = 12 : 0,7 Md.

4

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Dans certaines zones, l'eau souterraine est surexploitée ...



Irrigation en carrousel, dans le désert de Wadi Rum en Jordanie (à gauche) et au-dessus de l'aquifère de l'Ogallala aux USA (à droite).

Dans les **latitudes de climat aride**, l'irrigation par pompage des nappes d'eau souterraines met en péril les réserves en eau car celles-ci ne sont plus rechargées. Ce sont en effet des « **nappes fossiles** », créées à des moments où les basses latitudes étaient bien arrosées il y a au moins plusieurs milliers d'années.

Dans les **moyennes latitudes**, l'irrigation par pompage de certaines nappes d'eau souterraines met également en péril les réserves en eau car celles-ci sont beaucoup **trop exploitées par rapport à leur capacité de recharge**. Le grand aquifère de l'Ogallala aux USA, par exemple, a vu sa limite supérieure s'abaisser de 30 m par endroit en quelques décennies. A Mexico, la nappe s'est abaissée de plusieurs mètres en 50 ans, déstabilisant de nombreux bâtiments.

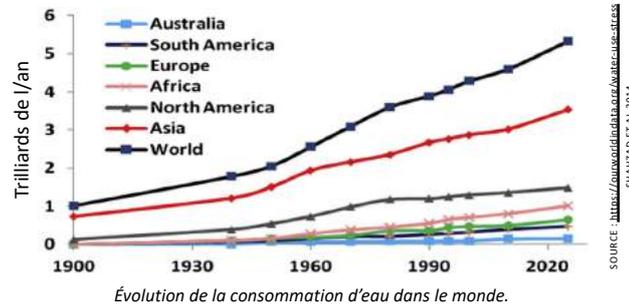
L'eau du sous-sol est un bien commun. Or elle est exploitée de façon gratuite par des particuliers à des fins économiques ... aux détriments des autres. Est-ce juste ?

5

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Comment évolue la consommation d'eau ?

Actuellement, la **consommation globale d'eau dans le monde** est $> \approx 5\,000\,000\,000\,000\,000$ l/an (5×10^{15} = 5 trilliards de litres par an).

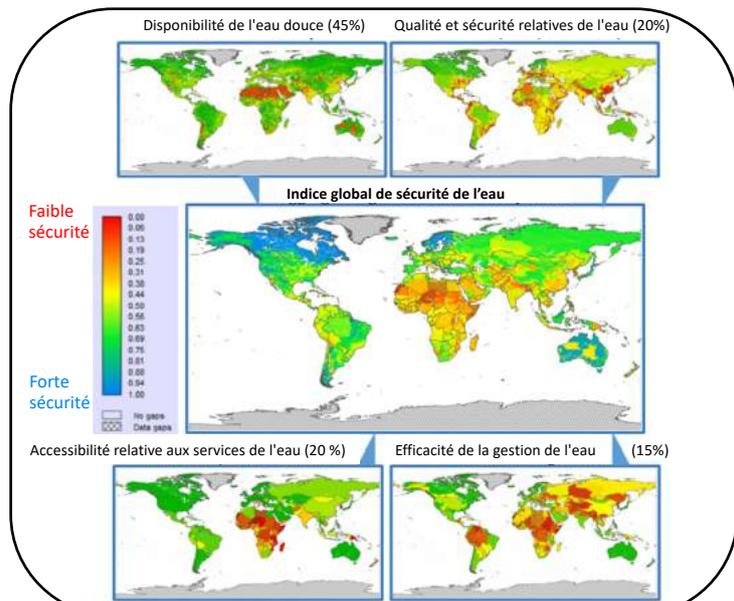


Elle a **quintuplée en un siècle** ($\times 5$), entre 1900 et 2000.

« Les Nations Unies estiment que la **demande en eau augmentera de 50% d'ici 2030** (par rapport à 2016) en raison, notamment, de **l'accroissement de la population mondiale**, de la **hausse des besoins de l'agriculture et de l'industrie**, de la **consommation énergétique**, etc. »
 (Le Monde, 28/05/2022)

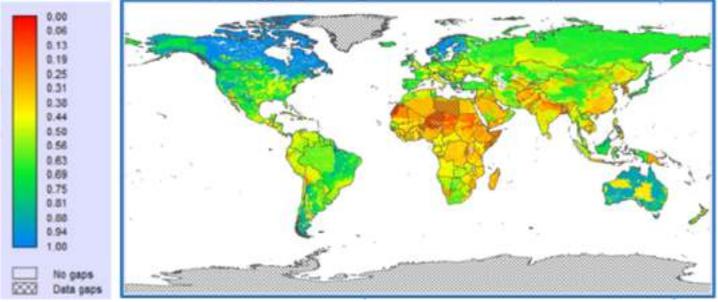
Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Existe-t-il un indice de sécurité de l'eau ?



Indice global de sécurité de l'eau (GWSI) actuel et ses composantes.
 Les valeurs faibles (rouge) indiquent les niveaux les plus bas de sécurité de l'eau.

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau



Indice global de sécurité de l'eau (GWSI) actuel et ses composantes.
 Les valeurs faibles (rouge) indiquent les niveaux les plus bas de sécurité de l'eau.

L'indice global de sécurité de l'eau est faible principalement en Afrique nord tropicale, et dans certaines zones tropicales asiatiques.

Le réchauffement climatique peut impacter l'indice global de sécurité de l'eau, cependant une large part de la faible sécurité provient d'une forte vulnérabilité socio-économique et de la gouvernance (politique de gestion de l'eau ...).



Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

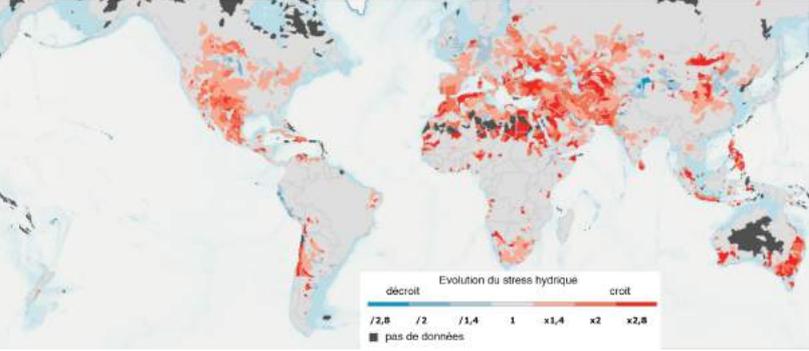
Comment évoluera l'indice global de sécurité de l'eau dans le futur ?



Facteurs par lesquels le changement climatique ou les mesures d'atténuation ou d'adaptation pourraient influencer la sécurité de l'eau.



Peut-on prévoir l'évolution future du stress hydrique en fonction du réchauffement global ?



Évolution du stress hydrique entre le début du 21^{ème} siècle et 2040 dans le cadre du scénario RCP8.5 (+5°C).
Rouge : augmentation du stress hydrique ; bleu: diminution.

Le stress hydrique correspond au rapport entre la quantité d'eau utilisée par l'homme et la quantité d'eau moyenne disponible (en %).

Les régions principalement impactées par **l'augmentation du stress hydrique** seront réparties majoritairement aux **Tropiques** et aux **moyennes latitudes**.

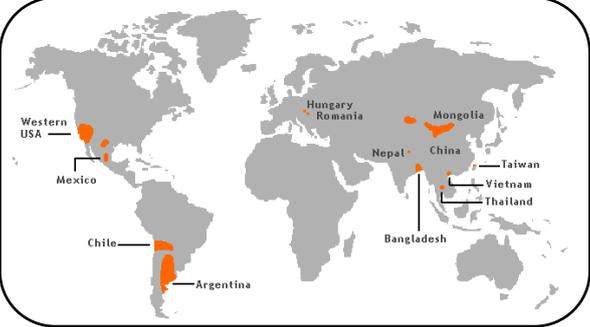


10

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Les pollutions de l'eau

Les pollutions naturelles



Zones de contamination des eaux souterraines par l'arsenic.

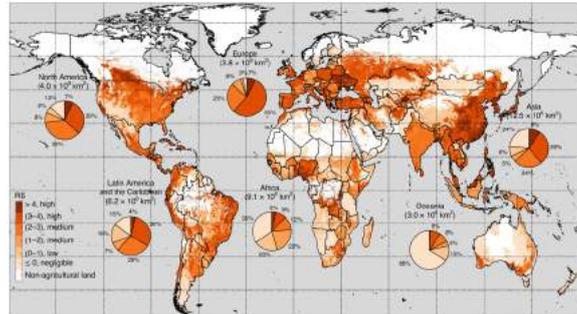
Parmi les pollutions naturelles, celle à l'arsenic (le roi des poisons) fait beaucoup de victimes dans le monde. Elle est due à une haute concentration (> 10 µg/l) de cet élément dans l'eau, l'arsenic provenant des roches qui entourent les masses d'eau souterraines.

En 2007, 137 millions de personnes dans 70 pays étaient affectées par un empoisonnement à l'arsenic dans l'eau potable. Le Bangladesh souffre fortement de cette situation : avant les années 70, le pays avait le plus grand taux de mortalité infantile au monde pour cette raison. Cette pollution pose problème car il est techniquement difficile d'extraire l'arsenic de l'eau. **11**

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
 2) L'eau

Les pollutions humaines : à travers l'agriculture

(1) Les **pesticides** sont des substances chimiques utilisées pour lutter contre des organismes considérés comme nuisibles pour les **cultures**. Ils rassemblent les insecticides, les fongicides, les herbicides et les parasitocides. Ils sont largement utilisés dans l'agriculture intensive et se retrouvent dans les **cours d'eau** et les **nappes d'eau souterraines**.



SOURCE : TANG ET AL 2021

Zones de **risques de contamination par les pesticides** (RS : Risk Score ou index de risque). Les diagrammes circulaires représentent la fraction des terres agricoles classées sous différents RS dans chaque région, et les valeurs entre parenthèses indiquent les terres agricoles totales dans cette région.

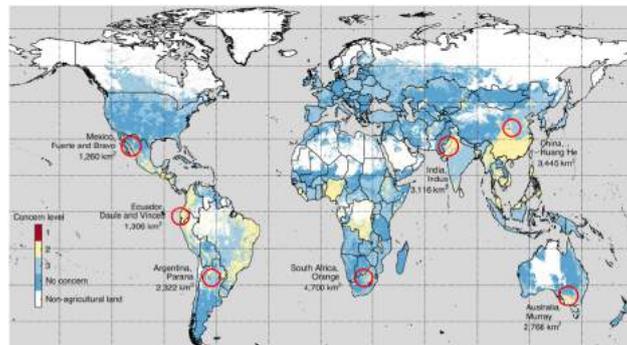
Les pesticides sont des **polluants environnementaux omniprésents**, ayant des **effets néfastes** sur la **qualité de l'eau**, la **biodiversité** et la **santé humaine**.

64 % des terres agricoles mondiales (24,5 millions de km²) sont exposées à un risque de **pollution par les pesticides**, et **31 % à un risque élevé** (dont la partie nord de la **France**).

12

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
 2) L'eau

Parmi les zones à haut risque de pollution en pesticide, environ **34 % se trouvent dans des régions à forte biodiversité**, **5 % dans des zones de pénurie d'eau**.



SOURCE : TANG ET AL 2021

Régions préoccupantes affectées par un risque de pollution par les pesticides, un risque de pénurie d'eau et par une biodiversité élevée (niveau 1, entourées par un cercle rouge, avec le pays, le nom du bassin versant et la superficie des terres touchées).

Les bassins versants **d'Afrique du Sud, de Chine, d'Inde, d'Australie et d'Argentine** sont des **régions très préoccupantes** parce qu'elles présentent un risque élevé de pollution par les pesticides, sont riches en biodiversité et souffrent de pénurie d'eau.



Lyon 1

13

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

(2) Les **engrais** sont des substances apportant des compléments d'éléments nutritifs aux plantes, de façon à améliorer leur croissance et à **augmenter le rendement des cultures**. Les éléments nutritifs sont l'azote (N, nitrates), le phosphore (P, phosphates), le potassium (K).



Zones à forte teneur en nitrates dans les eaux souterraines.

Les **nitrates** constituent la **cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eau souterraine** du globe.

Cette **pollution a débuté à la fin des années 1950** et n'a fait qu'**augmenter depuis**.

La **France métropolitaine** est **particulièrement impactée**, notamment les régions de *Bretagne*, de *Champagne Ardenne*, du *Centre* et de *Poitou-Charente*.

14

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau



En Bretagne, épandage d'engrais dans un champ.



« Marée d'algues vertes » sur les côtes bretonnes.

La **pollution des eaux par les nitrates** présente un **double risque** :

- ingérés **en trop grande quantité**, les nitrates ont des **effets toxiques sur la santé humaine**,
- les nitrates contribuent, avec les phosphates, à provoquer des phénomènes d'**eutrophisation des milieux aquatiques** : une croissance des algues et une diminution de l'oxygène dissous provoquées par un excès de nutriments.

Depuis les années 1960, les côtes bretonnes sont envahies périodiquement par des « **marées d'algues vertes** » (*Ulva armoricana*) suite à l'eutrophisation.

Or, lors de leur putréfaction, les algues vertes accumulées sur les plages rejettent d'importantes émanations de **sulfure d'hydrogène (H₂S)**, un gaz **extrêmement toxique**.

En 2016 et 2019, un joggeur et un ostréiculteur sont morts dans des vasières bretonne envahies d'algues vertes. Cela pose la question de la toxicité des marées vertes qui continuent de souiller les littoraux bretons, à cause de l'agriculture intensive.

Notre **modèle agricole**, mis en place dans la seconde moitié du XX^e siècle, est **en cause**.

15

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Face à la pénurie d'eau ou aux pollutions, la désalinisation ?

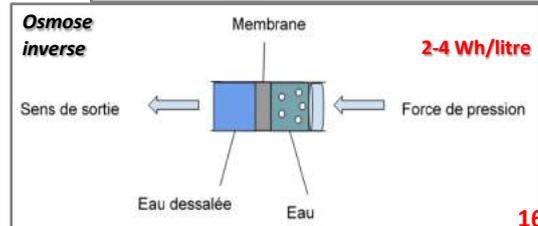
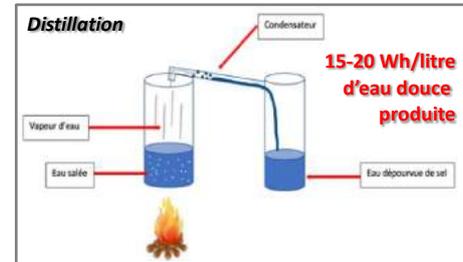
Il existe beaucoup d'eau sur Terre ... dans la mer !

Le dessalement peut-il palier aux problèmes de ressource en eau ?



Usine de dessalement en Arabie saoudite.

Deux techniques principales :



16

Chloé Maréchal LGL-TPE – Université Lyon 1
2) L'eau

Trois problèmes majeurs :

- **Coût** : environ 1€ par m³ (production)
- **Pollution** : 2,5 litres d'eau de mer = 1 litre d'eau douce + 1,5 litre de saumure chaude hyper-salée
→ destruction des écosystèmes marins côtiers (~90% de la biodiversité marine)
- **Énergie** : entre 2 et 20 Wh par litre d'eau douce, uniquement pour la production ...

Dans le monde aujourd'hui :

- **18 500 unités de désalinisation** en fonctionnement (dont la moitié en Afrique du Nord et au Moyen Orient)
- **35.10¹² L d'eau douce** désalinisée produits en un an = **0,7% de la consommation totale**
- **55.10¹² L de saumures** chaudes hyper-salées renvoyées dans les océans
- **76 millions de Tonnes de CO₂** générés pour produire l'énergie de production nécessaire

Au vue de la **demande globale en eau** et de l'**énergie nécessaire** pour dessaler l'eau de mer, principalement, la **désalinisation** ne rendra **pas notre consommation d'eau durable** ... et, en tout état de cause, elle **ne pourra pas subvenir aux besoins de l'agriculture**.

17

Résumé :

La consommation en eau ne cesse d'augmenter au cours du temps.

Le changement climatique global et surtout l'exploitation non durable de la ressource en eau par l'homme (surexploitation et pollutions) nécessite :

- une **gestion** de cette ressource basée sur la **sobriété**,
- un **changement de modèle agricole** et un changement de **modèle de consommation**,
- la création de droits environnementaux reconnaissant l'eau comme un bien commun universel.

Références bibliographiques

IPCC (2022) Climate change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science advance*, Science Advance, 2 : e1500323.

Tang, F., Lenzen, M., McBratney, A. & Maggi, F. (2021) Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature Geoscience*, 14, 206-210.