

Le **cycle**
continental
de l'**eau**
et la **ressource**
mondiale
associée :
évolution
récente et
projections
futures

D'après la conférence de Bertrand Decharme, directeur de recherche au CNRS¹, détaché au Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), le centre de recherche de Météo France. Il présente un travail effectué par Maya Costantini dans le cadre de sa thèse en collaboration avec Jeanne Colin, chercheuse à Météo France.

1. CNRS : Centre national de la recherche scientifique.

Introduction

Ce chapitre traite de la ressource en eau de la planète Terre, c'est-à-dire de la totalité du stock d'eau continentale exploitable par l'être humain (*Figure 1*).

1 L'eau sur Terre

97 % de l'eau sur Terre est salée et donc difficilement exploitable par l'être humain. 3 % seulement de l'eau est douce, dont 70 % sont concentrés dans les glaciers arctiques ou groenlandais, donc difficilement exploitables aussi. Seul 1 % de cette eau douce est contenu dans les rivières, les lacs, les sols superficiels, les marécages. La majeure partie, 29 %, est contenue dans les aquifères, c'est-à-dire les structures géologiques perméables qui contiennent les nappes d'eau souterraines auxquelles on accède par des puits. La ressource en eau, ce sont donc simplement ces 30 % d'eau douce, soit moins de 1 %

de l'eau totale présente sur Terre. Ce n'est pas beaucoup! (*Figure 2*)

2 Le cycle hydrologique

La ressource en eau est régie par le cycle hydrologique global selon lequel, sous l'effet du Soleil principalement, l'océan va se réchauffer. Cela va créer un apport de vapeur d'eau dans l'atmosphère, et cette eau va retomber en précipitations sur les continents : les précipitations sont donc l'apport principal de notre ressource en eau (*Figure 3, image de gauche*). Ces précipitations vont engendrer un ruissellement de surface qui alimente les rivières, les lacs..., et l'infiltration qui nourrit le sol (*Figure 3, image de droite*).

Simultanément à ces apports se produit une perte d'eau (*Figure 4, image de gauche*) par écoulement vers les océans et une autre par évapotranspiration (*Figure 4, image de droite*).



Figure 1

Ensemble du stock continental d'eau douce exploitable par l'être humain.

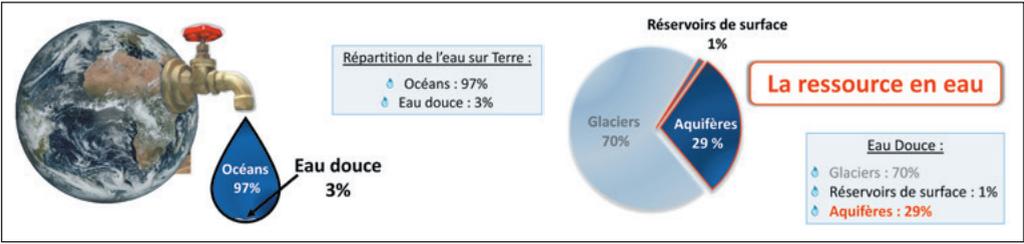


Figure 2

Répartition de l'eau sur Terre et de sa part exploitable par l'homme.

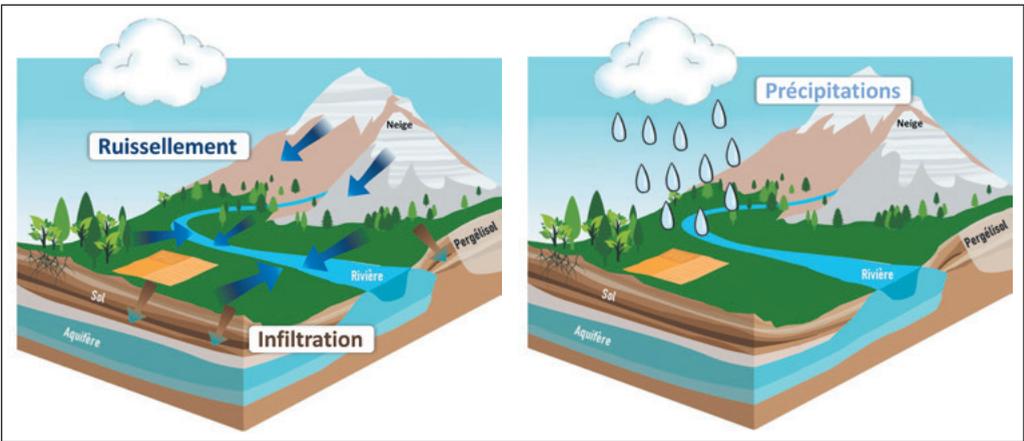


Figure 3

Le cycle hydrologique continental et ses apports principaux.

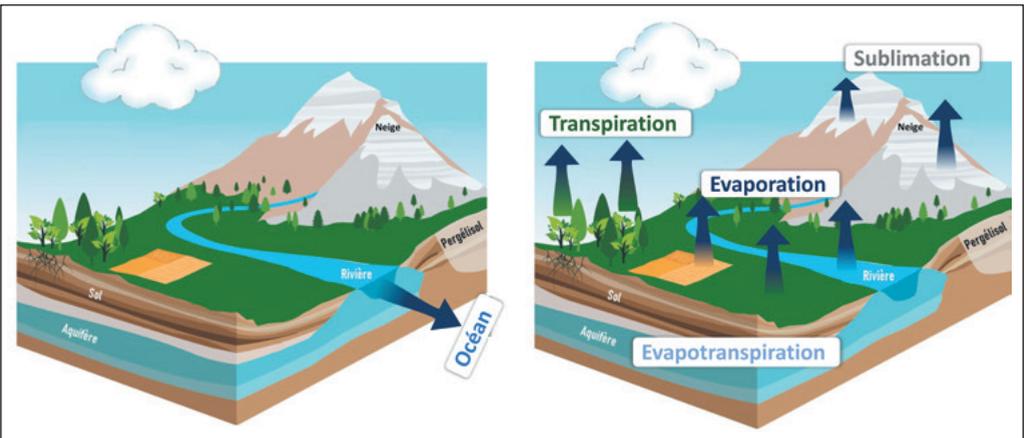


Figure 4

Le cycle hydrologique et ses pertes principales.

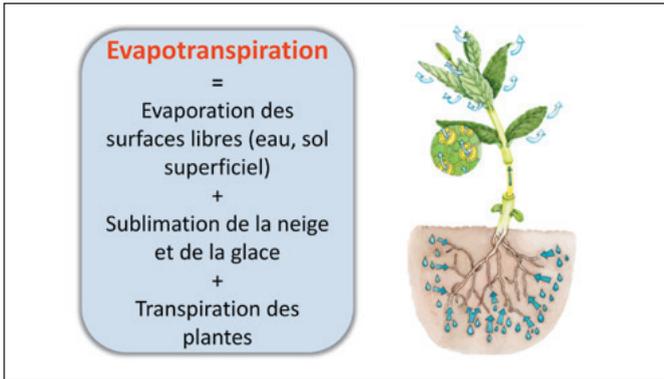


Figure 5

Schéma de l'évapotranspiration.
Focus à droite sur la partie réalisée par les plantes.

Cette dernière contribution consiste en l'évaporation des lacs, des rivières, des sols, ou en la sublimation² de la neige et de la glace, ou encore en la transpiration des plantes qui puisent de l'eau dans le sol pour pouvoir survivre (Figure 5). Cette transpiration

2. Sublimation : passage (d'un corps) de l'état solide à l'état gazeux sans passage par l'état liquide.

des plantes représente 70 % de l'évapotranspiration globale.

La faible quantité d'eau qui s'est infiltrée dans les sols peut pénétrer encore plus profondément, rechargeant ainsi les nappes aquifères (Figure 6, image de gauche) dont une toute petite partie va s'évaporer en échangeant par capillarité avec les sols ou grâce à certaines plantes qui ont des racines profondes capables de puiser l'eau dans ces aquifères (Figure 6, image de droite). Enfin, les aquifères échangent de l'eau avec les rivières avec qui ils sont à l'équilibre. En période humide, la rivière peut contribuer à la recharge des aquifères, alors qu'en période sèche ce sont les aquifères qui nourrissent les rivières, ce qui permet d'assurer les débits d'étiages.

3 Le changement climatique

Le cycle hydrologique naturel est fortement perturbé par les

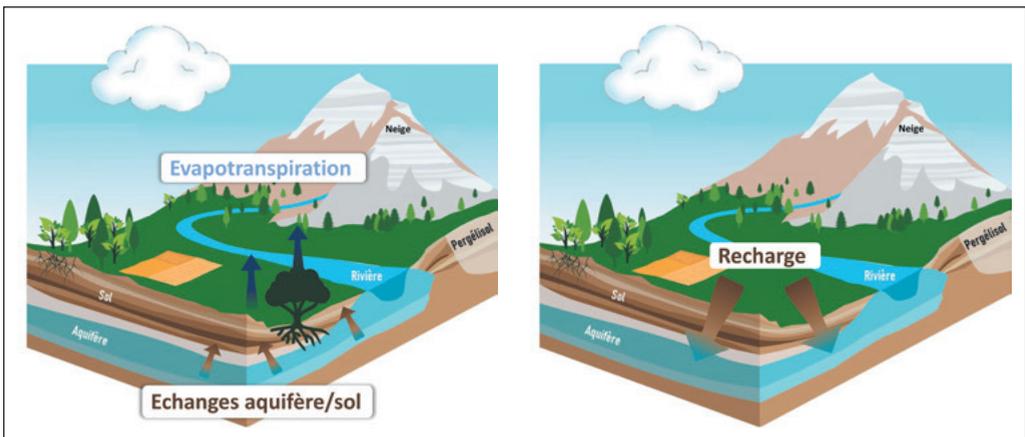


Figure 6

Le cycle hydrologique et la recharge en eau.

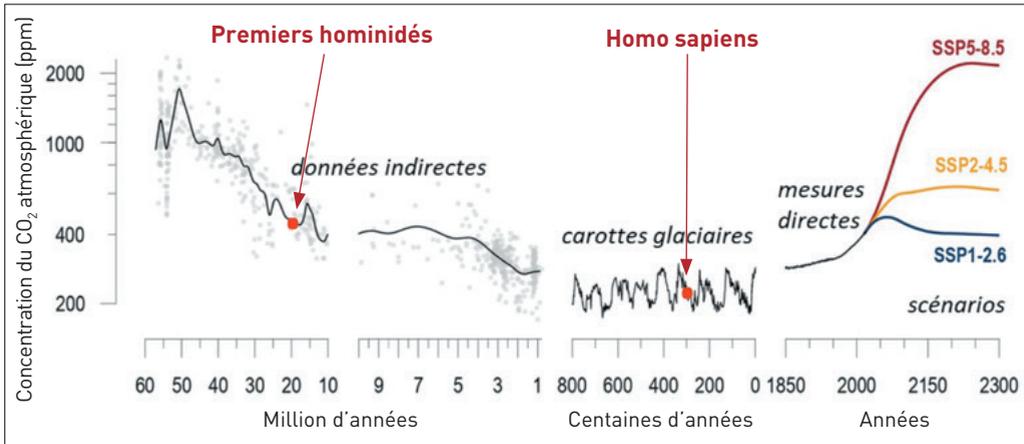


Figure 7

Graphiques montrant l'évolution de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère au cours des 60 derniers millions d'années (d'après IPCC, 2021³).

activités humaines et le changement climatique. L'examen des données historiques du GIEC⁴ (Figure 7) fournit l'illustration évidente de l'évolution de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère au cours des 60 derniers millions d'années.

Cela confirme qu'elle a diminué tout au long des 60 derniers millions d'années, puis

qu'elle a oscillé, dans la période plus récente, d'environ 100 ppm⁵ sur 100 000 ans, ce sont les cycles glaciaires et interglaciaires. Aujourd'hui, on est sur un cycle interglaciaire, donc plus chaud qu'un cycle glaciaire. En l'espace de moins de 200 ans, de 1850 à nos jours, les concentrations atmosphériques en CO_2 ont augmenté de 200 ppm jusqu'à atteindre 426 ppm, ce qu'on n'avait jamais vu depuis 14 millions d'années et l'apparition des premiers hominidés.

À cet état de fait sont associées des variations de température (Figure 8). On constate que la température a évolué de la même manière que le CO_2 : plus la concentration de CO_2 est élevée, plus la température augmente. Sur la figure 8, on a porté la température globale de la Terre relativement à la moyenne de

3. IPCC, 2021: Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

4. GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

5. ppm : partie par million, fraction valant 10^{-6} , soit un millionième.

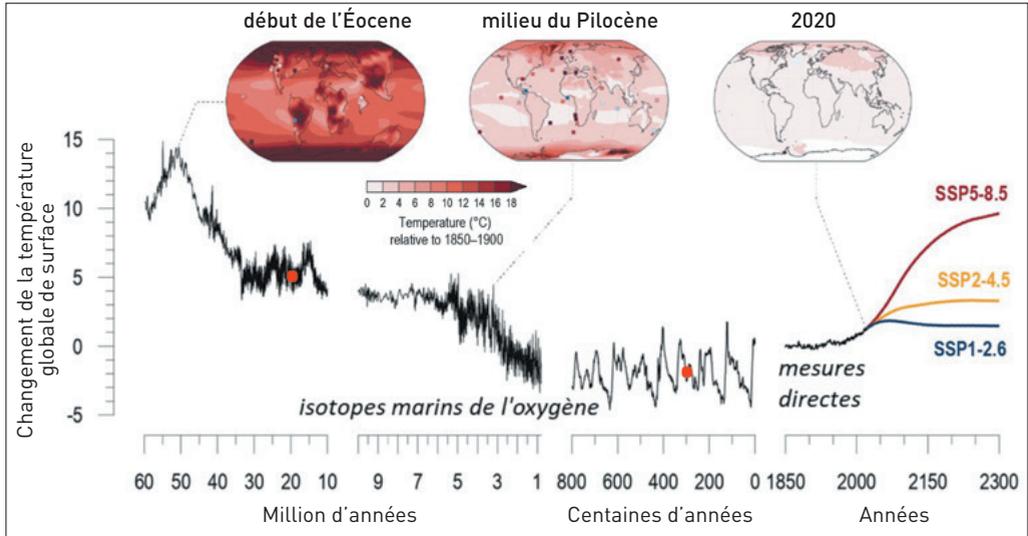


Figure 8

Graphique montrant l'évolution de la température du globe au cours des 60 derniers millions d'années (d'après IPCC, 2021).

la période 1850-1900, période préindustrielle, prise comme référence. On est aujourd'hui à un niveau de réchauffement de 1,26 °C à l'échelle globale.

Cela confirme qu'elle a diminué tout au long des 60 derniers millions d'années, puis qu'elle a oscillé, dans la période plus récente, d'environ 100 ppm sur 100 000 ans, ce sont les cycles glaciaires et interglaciaires. Aujourd'hui, on est sur un cycle interglaciaire, donc plus chaud qu'un cycle glaciaire. En l'espace de moins de 200 ans, de 1850 à nos jours, les concentrations atmosphériques en CO₂ ont augmenté de 200 ppm jusqu'à atteindre 426 ppm, ce qu'on n'avait jamais vu depuis 14 millions d'années et l'apparition des premiers hominidés.

À cet état de fait sont associées des variations de température (Figure 8). On constate que la

température a évolué de la même manière que le CO₂ : plus la concentration de CO₂ est élevée, plus la température augmente. Sur la figure 8, on a porté la température globale de la Terre relativement à la moyenne de la période 1850-1900, période préindustrielle, prise comme référence. On est aujourd'hui à un niveau de réchauffement de 1,26 °C à l'échelle globale.

Les spécialistes en socio-économie ont édité en 2014 des scénarios des évolutions jusqu'à la fin du XIX^e siècle (Figure 8, graphique de droite). Les scénarios optimistes évoluant des concentrations de CO₂ (et donc de températures) qui augmentent puis diminuent ensuite jusqu'en 2300 sont déjà obsolètes. Des scénarios plus modérés (comme celui tracé en couleur jaune), avec des concentrations qui

augmentent puis stagnent, et des scénarios très forts (en couleur rouge), où les concentrations en CO₂ reviennent en 2300 au niveau de celui qu'on avait il y a 60 millions d'années, ont été élaborés. Aujourd'hui, on serait au-dessus du jaune. Une prévision de +3 °C entre 2100 et 2300 paraît une bonne hypothèse de travail.

Ces températures sont obtenues à partir de modèles climatiques qui sont des assemblages de plusieurs modèles représentant l'atmosphère, les océans, la cryosphère⁶, la chimie atmosphérique, etc., et, bien sûr, les surfaces continentales (Figure 9).

Au CNRM, nous travaillons sur ces modèles. Ils mettent en œuvre le meilleur savoir-faire en physique et en mathématiques pour résoudre des équations pertinentes sur les processus physiques, biophysiques et biochimiques. Ils intègrent des forçages naturels comme le Soleil qui chauffe la Terre ou les éruptions volcaniques qui envoient des aérosols qui refroidissent la Terre. On leur fournit aussi des forçages anthropiques, comme les concentrations en CO₂ observés dans l'atmosphère sur la période préindustrielle jusqu'à aujourd'hui, ou les scénarios climatiques que nos collègues socioéconomistes nous délivrent.

À titre d'illustration, on peut noter, en considérant l'évolution de la température entre 1850 et aujourd'hui, la correspondance entre la courbe noire et nos modèles climatiques

en marron (Figure 10). Si, sur toute la période, on force nos modèles avec une concentration qui reste proche de celle pendant la période préindustrielle, on obtient des

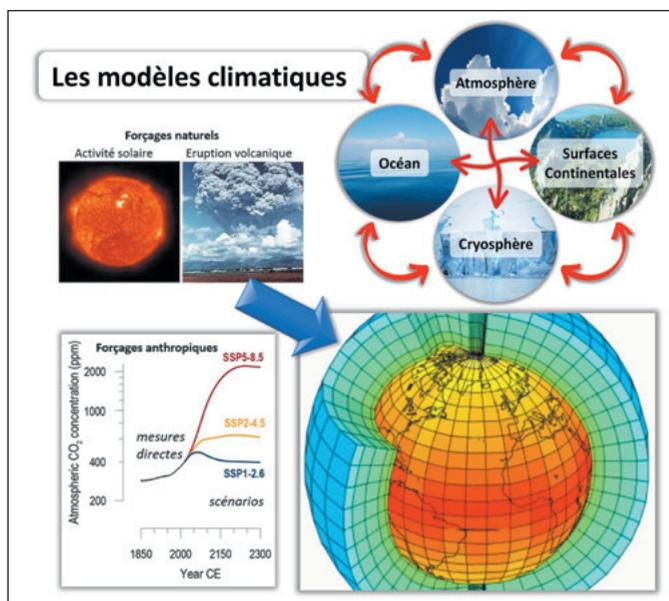


Figure 9

Schéma simplifié de la construction des modèles climatiques.

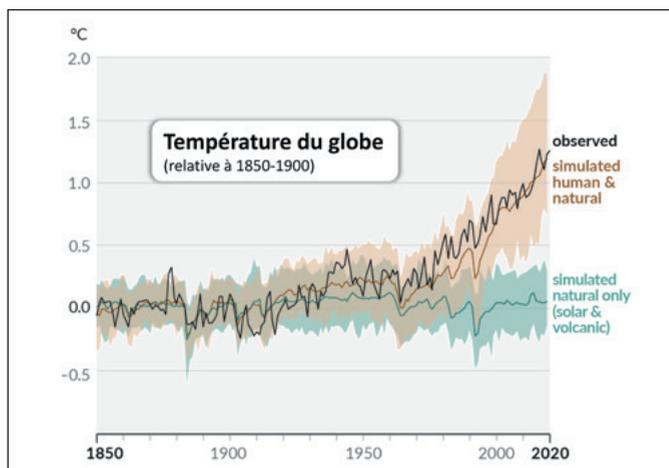


Figure 10

Évolution de la température du globe de 1850 à 2020 (d'après IPCC, 2021).

6. Cryosphère : glace terrestre sous toutes ses formes.

températures globales calculées qui restent très éloignées des observations. Cela confirme à l'évidence la réalité : l'impact de l'humanité sur le réchauffement climatique.

Pour obtenir un autre aspect de la vérification de nos conclusions, la **figure 11** montre que ce que l'on calcule à l'échelle de toute la Terre se passe sur tous les continents : il n'y a pas une seule parcelle de Terre sur cette planète qui ne se réchauffe pas.

Il est intéressant de signaler une représentation originale (**Figure 12**) des résultats obtenus dans l'étude du changement climatique : il s'agit de la construction d'un « code barre », où chaque barre représente une année. La progression de la concentration en CO_2 ainsi que celle de la température relative à la moyenne en 1850, qui augmentent très fortement ces 30 dernières années, sont ainsi mises en évidence.

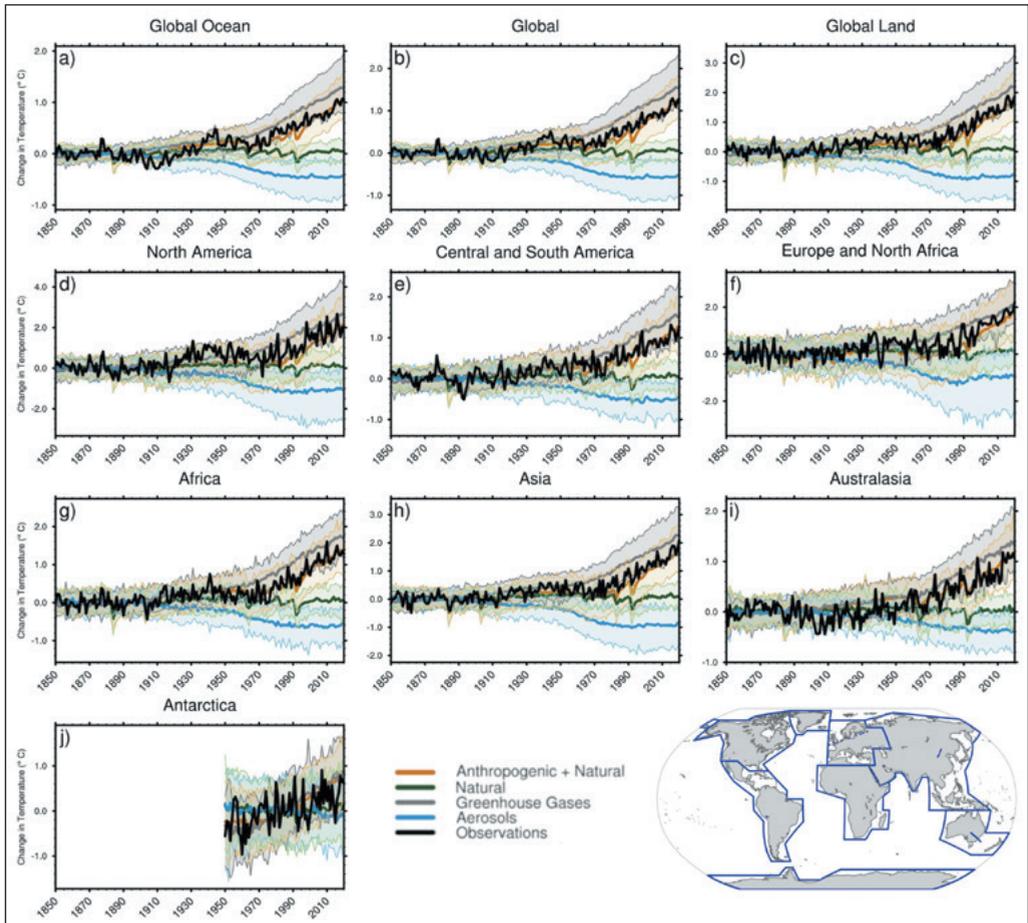


Figure 11

Le changement climatique perturbe également le cycle hydrologique, comme le révèle l'examen de l'évolution des précipitations dans l'hémisphère Nord ces 30 dernières années. On observe le même phénomène dans l'hémisphère Sud, mais moins fortement. Cette corrélation entre la hausse de la température de l'atmosphère et l'augmentation des précipitations s'explique par les lois de Clausius Clapeyron⁷ : l'air emmagasine plus d'humidité et cela accroît son potentiel de précipitations (Figure 13).

Les cartes de la figure 13 illustrent bien la situation. Dans les zones colorées en bleu, les précipitations augmentent ; dans les zones en couleur marron, elles diminuent. On observe ainsi que,

7. Lois de Clausius Clapeyron : l'augmentation de la température de 1 °C correspond à une augmentation de l'humidité de l'atmosphère d'environ 7 %, c'est-à-dire environ 1 à 3 % de précipitations en plus à l'échelle mondiale.

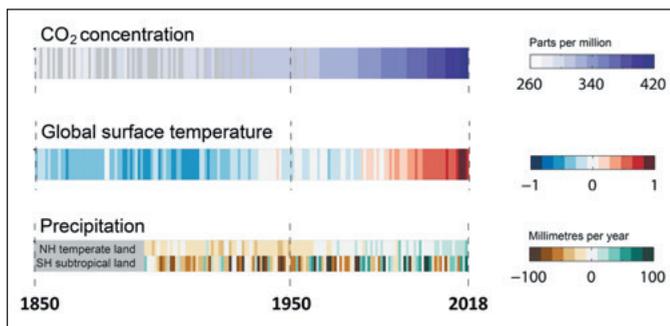


Figure 12

Représentation du changement climatique et ses principales manifestations entre 1850 et 2018 (d'après IPCC, 2021).

au cours des 30 dernières années, les précipitations ont augmenté dans l'hémisphère Nord, à l'exception du pourtour méditerranéen et de l'Est asiatique, et dans l'hémisphère Sud. Si l'on se projette maintenant dans un monde qui serait plus chaud de 1,5 °C par rapport à l'ère industrielle, soit aux environs de 2030, on aura encore des précipitations en croissance. Ce sera le cas des zones de mousson (Afrique de l'Ouest ou Asie).

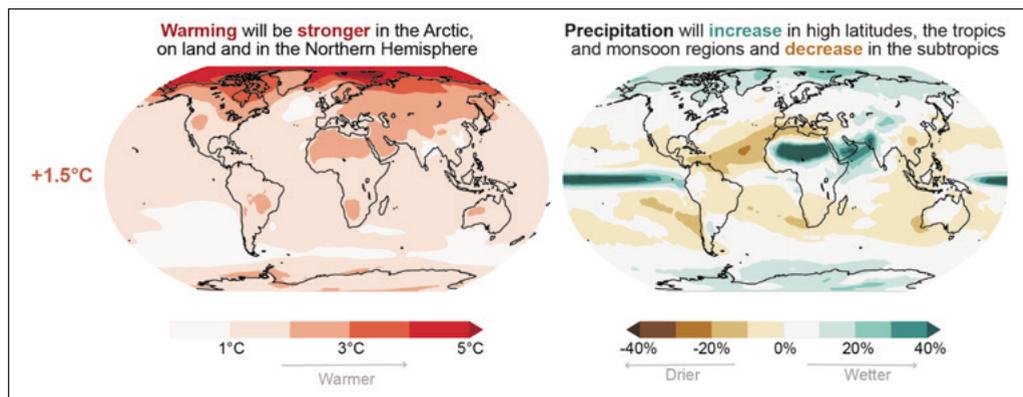


Figure 13

Impact du réchauffement climatique et des changements des précipitations dans un scénario à +1,5 °C (d'après IPCC, 2021).

4 Effet de l'anthropisation et de l'irrigation sur la ressource en eau

Le fort accroissement de la consommation en eau au cours des derniers siècles est largement le résultat de la pratique de consommation des humains. À l'échelle planétaire, 20 % des prélèvements sont liés à l'industrie, 10 % à l'usage domestique. Cette eau est prélevée dans les rivières, les lacs et les aquifères, mais toute une partie est rendue à la nature, si bien que la part consommée va de 5 à 15 %. Au total, il semblerait que l'on ne consomme pas beaucoup d'eau par rapport à ce que l'on prélève, mais l'effet est tout de même majeur car l'état dans lequel on la rend n'est bon ni du point de vue thermique, ni du point de vue de la pollution (Figure 14).

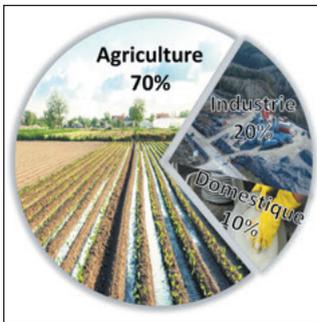


Figure 14

Répartition de l'utilisation de l'eau par secteur : agriculture, industrie et usage domestique.

D'après Costantini, 2023, Étude de l'évolution de la ressource mondiale en eau dans un contexte de changement climatique. Surfaces et interfaces continentales, Hydrologie. Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2023. Français. <http://thesesups.ups-tlse.fr/5999/>.

Les 70 % restants de l'eau prélevée, c'est l'agriculture qui la prélève pour l'irrigation. La grande majorité est évaporée dans l'atmosphère et une toute petite partie repart dans les rivières ou se réinfiltré dans les sols ou les aquifères. On estime que l'agriculture consomme 60 à 80 % des prélèvements en eau qu'elle effectue ; c'est donc le secteur le plus gourmand en eau à l'échelle mondiale. Une publication récente de Huang *et al.* fait ressortir que c'est surtout en Asie, dans le sud de l'Europe et dans l'est des États-Unis que sont effectués les plus gros prélèvements en eau pour l'agriculture (Figure 15).

Sur le graphique de la figure 16 est retracée la moyenne globale de ces prélèvements pour l'agriculture sur les 40 dernières années. Le chiffre

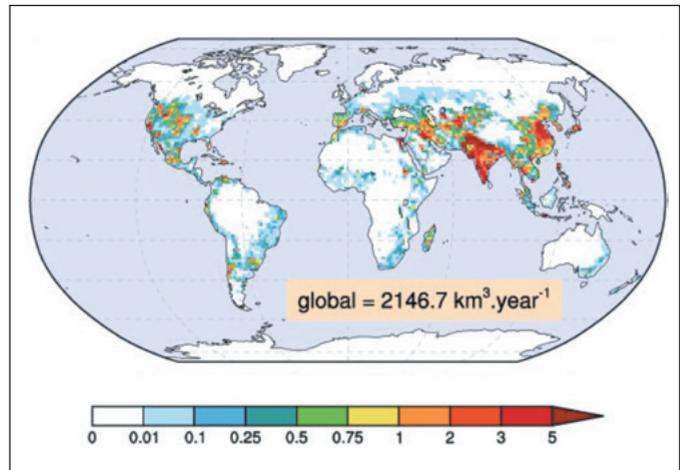


Figure 15

Carte de la consommation d'eau douce dans le monde chaque année (km^3/an).

D'après Decharme, B., Costantini, M., and Colin, J. A simple approach to represent irrigation water withdrawals in Earth System Models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 17, e2024MS004508, <https://doi.org/10.1029/2024MS004508>, 2025.

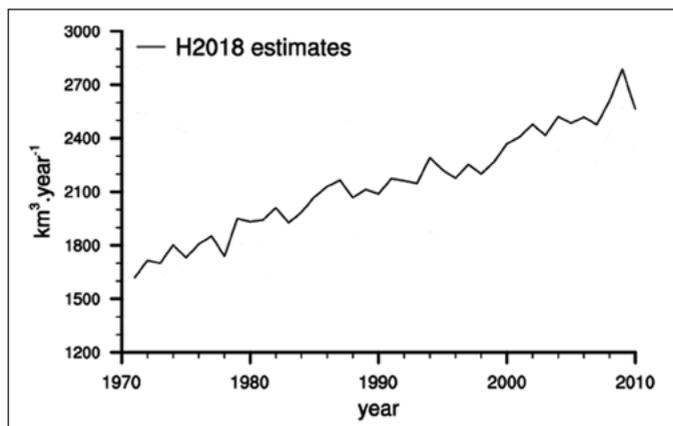


Figure 16

Évolution de la moyenne globale des prélèvements en eau pour l'agriculture de 1970 à 2010.

D'après Decharme *et al.*, 2025.

actuel représente à peu près 16 fois les débits de la somme de tous les fleuves de France ou le tiers du débit annuel du fleuve Amazone. Ces quantités sont considérables.

Les moyens techniques d'aujourd'hui permettent de connaître l'évolution des stocks d'eau douce de la planète. Le satellite GRACE peut voir la variation de tout le stock contenu sur les continents (eau contenue dans les eaux de surface, lacs, rivières, etc., neige, végétation, humidité du sol et des aquifères). Sur la **figure 17**, les zones jaunes montrent des diminutions de ce stock sur la période 2002-2016 et les zones bleues montrent des augmentations. On peut, par exemple, retrouver la fonte des glaciers ou l'impact des prélèvements pour l'irrigation, qui se voit très bien sur l'Asie et sur l'est des États-Unis.

Très récemment, dans une publication de 2024, un travail américain (Jasechko *et al.*),

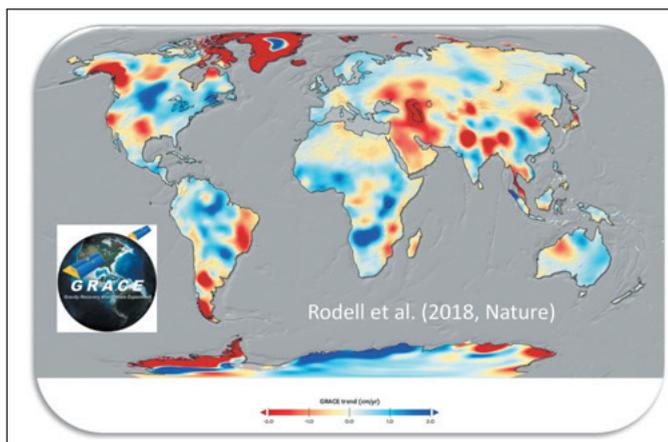


Figure 17

Variation mondiale des ressources en eau détectée par GRACE (Rodell *et al.*, 2018).

effectué grâce à des données obtenues à l'aide de puits d'observation de piézomètres⁸ dans les aquifères, a montré que les aquifères colorés en rouge sont des points où

8. Piézomètre : instrument servant à mesurer la pression des liquides.

le niveau de la nappe phréatique est inexorablement descendu entre les années 2000 et 2020 (Figure 18). On voit bien qu'il y a une forte corrélation entre cette diminution des nappes phréatiques et les prélèvements en eau. C'est ce qu'avait déjà suggéré un modèle de 2019, à bases physiques simplifiées, qui montrait que le volume des aquifères allait diminuer d'ici à 2100 sous l'effet des activités humaines.

5 La ressource en eau

Faisons un essai modeste, en tout cas provisoire, pour évaluer l'évolution de la ressource mondiale en eau souterraine. Pourquoi souterraine ? Parce que c'est la principale ressource, et qu'on ne peut pas s'attaquer à toutes les questions en même temps. On a regardé l'évolution de la recharge (Figure 19), le témoin de la ressource en eau souterraine par excellence, parce qu'elle représente la quantité d'eau qui peut être prélevée

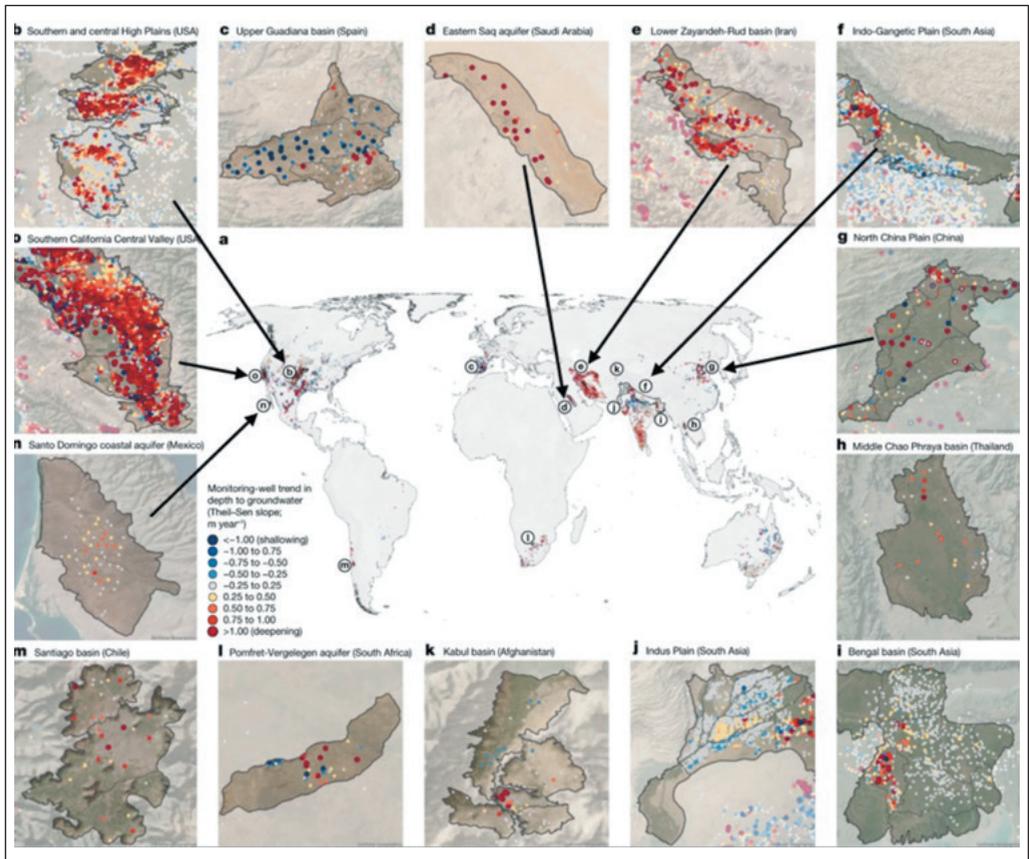


Figure 18

dans les aquifères sans compromettre la capacité de ceux-ci à se reconstituer sur le long terme. Bien sûr, si on prélève 100 % de la recharge annuelle, l'aquifère ne se reconstitue pas.

Dans ce travail, on a séparé l'effet du changement climatique de l'effet des prélèvements pour l'irrigation. Pour ce faire, on a utilisé tous les modèles de climat cités sur la **figure 20**, modèles développés en Chine, en Allemagne, en France, en Angleterre, etc. Pour pouvoir utiliser ces modèles, chaque centre fait des simulations groupées grâce au projet CMIP-6 WCRP, et on a ensuite communiqué toutes les données pour faire les recherches.

Ces modèles ont été appliqués aux scénarios cités sur la **figure 21**. Certains sont des

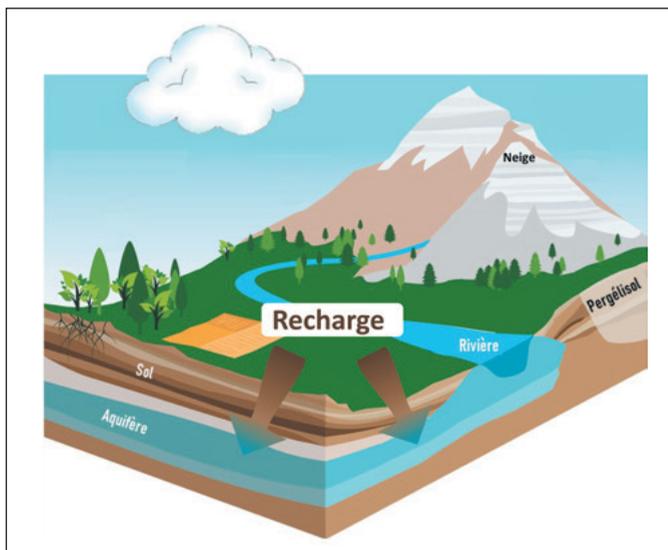


Figure 19

Le cycle hydrologique et la recharge en eau.

| | Nombre de membres |
|--------------------------------------|-------------------|
| AS-RCEC/TaiESM1 | 1 |
| BCC/BCC-CSM2-MR | 1 |
| CCCma/CanESM5 | 25 |
| CCCma/CanESM5-CanOE | 3 |
| CMCC/CMCC-CM2-SR5 | 1 |
| CMCC/CMCC-ESM2 | 1 |
| CNRM/CNRM-CM6-1 | 6 |
| CNRM/CNRM-EMS2-1 | 5 |
| CSIRO-AARCCSS/ACCESS-CM2 | 3 |
| EC-earth-Consortium/EC-Earth3 | 8 |
| EC-earth-Consortium/EC-Earth3-Veg | 6 |
| EC-earth-Consortium/EC-Earth3-Veg-LR | 3 |
| IPSL/IPSL-CM6A-LR | 6 |
| MIROC/MIROC-ES2L | 10 |
| MOHC/UKESM1-0-LL | 5 |
| MPI-M/MPI-ESM1-2-LR | 10 |
| MRI/MRI-ESM2-0 | 1 |
| NASA-GISS/GISS-E2-1-G | 7 |
| NCAR/cesm2 | 5 |
| NCAR/cesm2-waccm | 1 |
| NCC/NorESM2-LM | 1 |
| NCC/NorESM2-MM | 1 |

Figure 20

Ensemble des modèles climatiques utilisés pour quantifier l'impact des prélèvements pour l'irrigation.

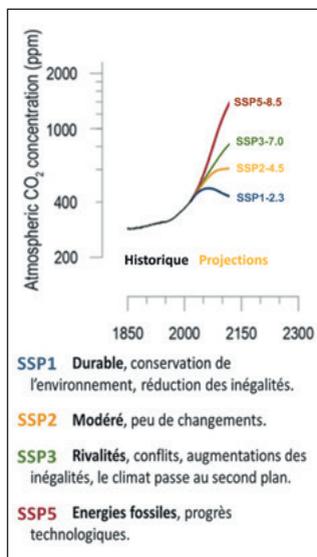


Figure 21

Évolution historique et projections de la concentration atmosphérique en CO₂ selon différents scénarios socioéconomiques partagés (SSP).

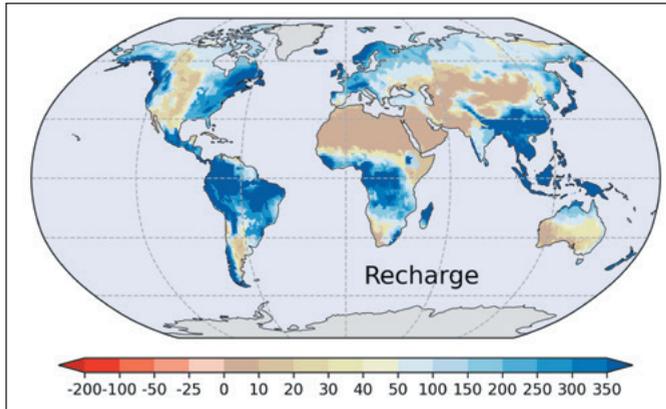


Figure 22

Carte montrant la recharge en eau sur la période 1971-2000 simulée par les modèles climatiques.

D'après Costantini, M., Decharme, B., and Colin, J.: Évolution récente et projection future de la ressource mondiale en eau souterraine, *La Météorologie*, p. 039, <https://doi.org/10.37053/lameteorologie-2025-0035>, 2025.

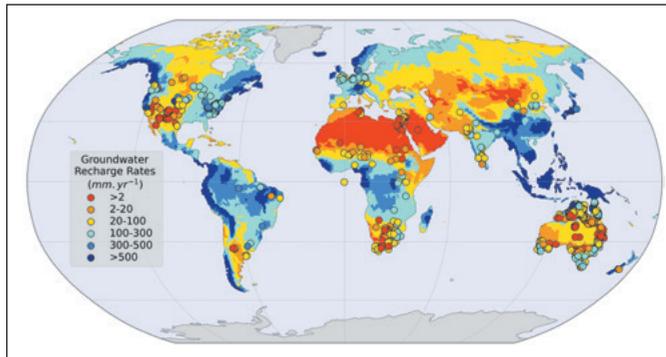


Figure 23

Carte montrant la recharge en eau sur la période 1971-2000 construite à partir d'observations.

D'après Maya Costantini, 2023.

scénarios durables : le SSP1 (**Figure 21**) est déjà obsolète ; le SSP2 est le scénario modéré qui est privilégié aujourd'hui, mais dont, en fait, on sait déjà qu'on est au-dessus. On a aussi un scénario qui est basé sur les conflits actuels ou prévisibles au sein de l'humanité

(augmentation des inégalités dans le monde) où le climat passe au second plan (SSP3). Un autre scénario, le SSP5, est centré sur les énergies fossiles, alors qu'il semblerait que celui-là aussi soit obsolète – heureusement pour nous. Aujourd'hui, on a choisi de vous montrer le résultat du scénario jaune, même si, d'après certains, notre situation serait entre le jaune et le vert.

La carte de la **figure 22** montre la recharge en eau, moyennée sur la période 1971-2000. C'est la période historique simulée par les modèles climatiques. On distingue bien les zones où on n'a pas de problème de ressource en eau et celles où la ressource est beaucoup plus limitée.

La **figure 23** est identique, sauf qu'on va l'utiliser pour comparer les modélisations aux observations. Les petits ronds représentent des observations de recharge disponibles. On veut faire constater ici au lecteur qu'il y a **une très bonne concordance entre les observations et ce qu'est capable de simuler le modèle**. Cependant, on ne rentrera pas dans le détail parce que, dans la publication que Maya a faite, on évalue nos modèles de manière plus poussée.

Pour faire saisir l'importance des changements hydrologiques en cours, regardons **la moyenne de la recharge en 2100 moins la moyenne de cette recharge sur la période historique (Figure 24)**. Toutes les zones en bleu sont les zones où cette recharge (donc la ressource en eau) va augmenter ; et toutes les zones en rouge représentent celles où elle va diminuer.

La **figure 24, figure de droite** donne une image des effets du changement climatique sur la ressource en eau souterraine ; les hachures représentent les zones où 80 % des modèles sont d'accord entre eux, et où l'on a donc le plus de certitude. On peut voir, en comparant avec la carte prévisionnelle des précipitations de la **figure 24, figure de gauche**, publiée par le GIEC en 1921, qu'il y a concordance entre l'évolution de ces précipitations et celle de la recharge en eau.

5.1. Estimation de la place actuelle de l'irrigation

Après l'étude de **la recharge, qui n'est autre que le prélèvement en eau renouvelable**, qui alimente principalement les rivières et les aquifères, on se tourne vers **leur consommation, essentiellement l'irrigation**. On dispose pour cela de données sur les prélèvements effectués dans le monde, toujours estimés par *Huang et al.* (**Figure 25, figure de gauche**), et leur projection (toujours le

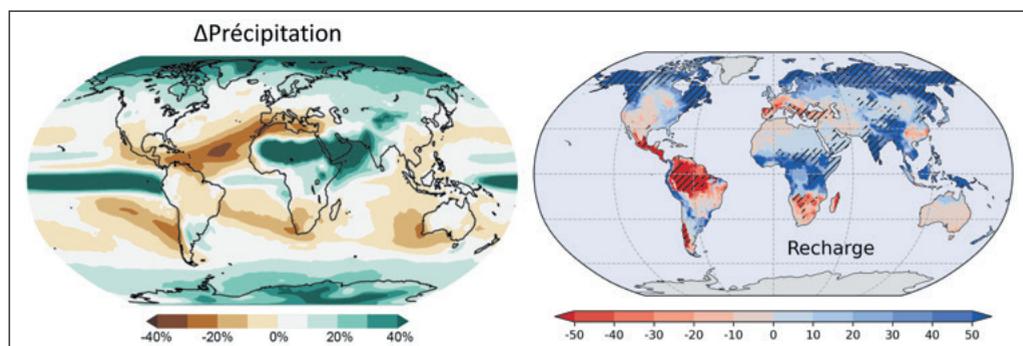


Figure 24

Prévisions des effets du changement climatique sur les précipitations et sur la ressource en eau souterraine pendant la période 1971-2100.

D'après IPCC, 2021 et Costantini *et al.*, 2025.

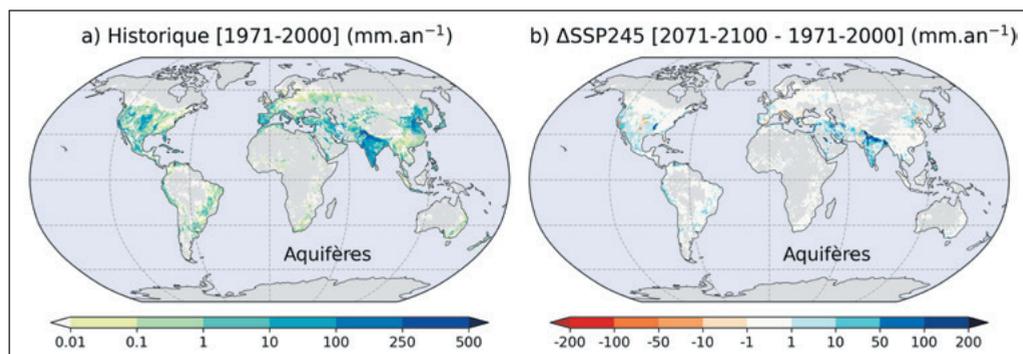


Figure 25

Estimations des prélèvements en eau 1971-2000 (*Huang et al.*, 2018) et projection 2071-2100 (*Khan et al.*, 2023).

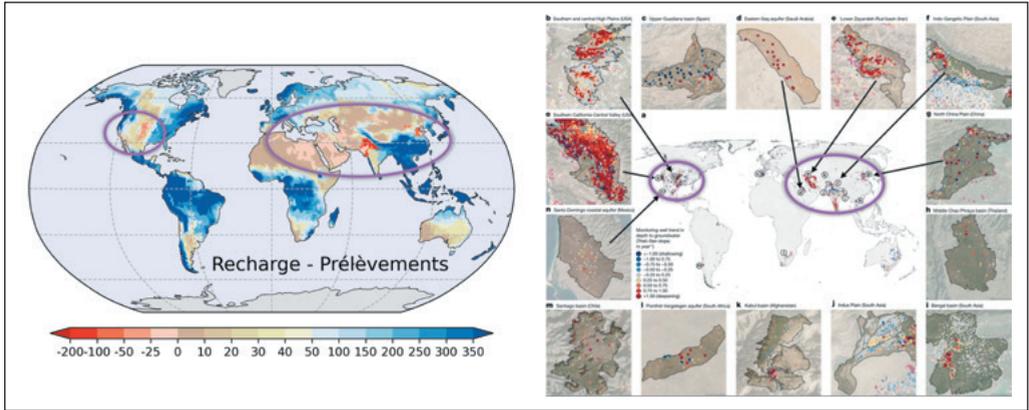


Figure 26

Bilan global des ressources en eaux souterraines : recharge naturelle moins les prélèvements (1971-2000).

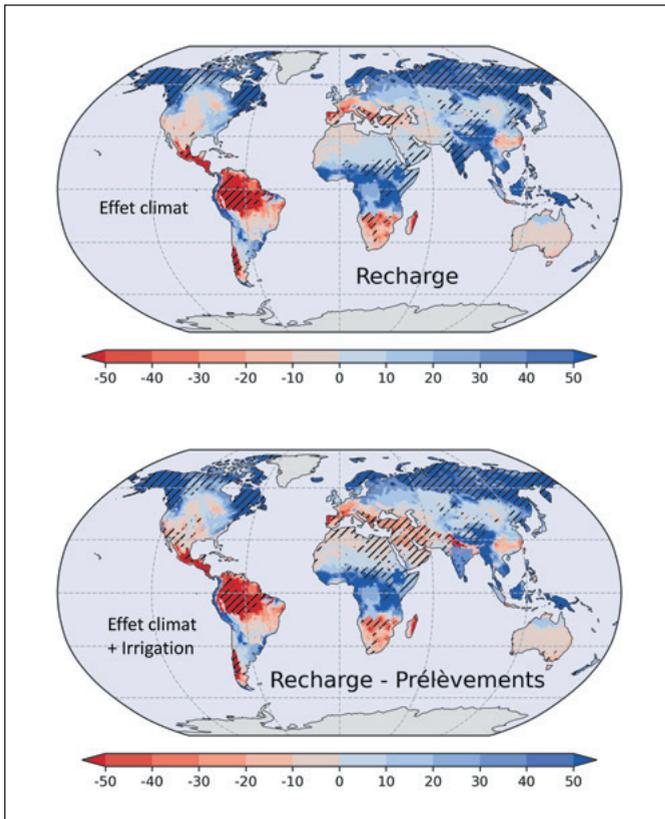


Figure 27

Cartes montrant l'effet de l'ajout de la prise en compte des prélèvements sur la ressource en eau.

futur moins le présent). On peut l'opposer aux prélèvements en eaux non renouvelables que l'on obtient en faisant la recharge moins les prélèvements (cf. **Figure 26**) estimés par un de leurs collègues (**Figure 25, figure de droite**). **Le point capital est que ces prélèvements soit stagnant, soit augmentent dans certaines parties du monde.**

On peut opposer la recharge aux prélèvements en eau « non renouvelables » que l'on obtient en faisant la recharge moins les prélèvements en eau « renouvelable » (**Figure 26, figure de gauche**). Les zones rouges de la carte de la **figure 26, figure de droite** (le centre des États-Unis, l'Inde) correspondent à des zones où les prélèvements sont supérieurs à la recharge : on est en train d'épuiser les ressources. Ces données sont complètement en accord avec les observations effectuées aujourd'hui dans le monde avec l'Inde, qui est rouge, ainsi que l'est des États-Unis.

5.2. Estimation de la place de l'irrigation dans le futur

On sépare l'effet du changement climatique sur la ressource (**Figure 27, figure du haut**) de l'effet de l'irrigation cumulé avec celui du changement climatique (**Figure 27, figure du bas**). Comme précédemment, les zones rouges vont voir leurs ressources diminuer et les bleues augmenter. L'influence de ce couplage sur les prélèvements est importante à comprendre.

Il y a des zones, comme en Europe, sur le pourtour méditerranéen ou dans l'est des États-Unis, où **les prélèvements vont amplifier la diminution de la ressource en eau** initiée par le changement climatique, des zones où **les prélèvements vont limiter l'augmentation naturelle liée à l'accroissement**

des précipitations et enfin des zones où **les prélèvements vont inverser le signe des projections sur les ressources**.

Dans ces zones, le changement climatique est à l'origine de plus de précipitations, donc de plus de ressources. Mais comme on va puiser de plus en plus d'eau, l'effet final sera une diminution de l'eau.

En résumé, on peut dire que, dans certaines régions du monde, **l'effet des prélèvements peut être supérieur ou égal à l'effet du changement climatique** et conduit à une restriction de la quantité d'eau disponible.

5.3. Bilan résumé sur les ressources en eau pour la période de 1971 à 2100

La **figure 28** retrace l'évolution de 1971 à 2100. On prend en compte les prélèvements

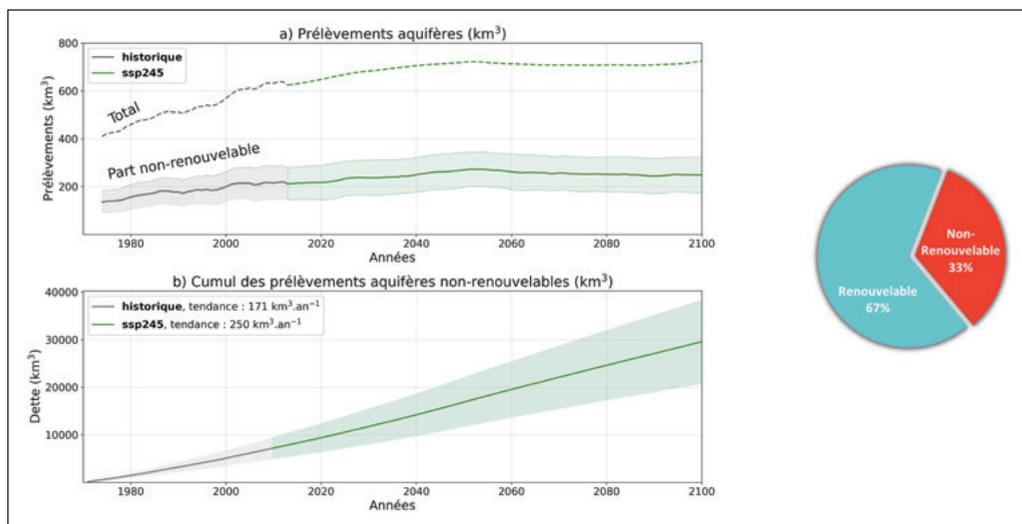


Figure 28

a) Évolution globale des prélèvements totaux et non renouvelables dans les aquifères de 1971 à 2020.
b) Dette hydrique à l'échelle mondiale.

D'après Costantini et al., 2025.

totaux dans les aquifères (cadre supérieur de la figure) et, dans le cadre inférieur de la figure, la part non renouvelable (*Figure 28*). Le résultat est que 33 % de l'eau prélevée à l'échelle mondiale est non renouvelable aujourd'hui en 2020 (*Figure 28, diagramme de droite*).

Le **bilan hydrique de la Terre** dans les années qui viennent est un accroissement global important des précipitations, mais également un accroissement des prélèvements en eau pour les besoins de l'humanité. Nous sommes donc en train de créer une **dette hydrique** à l'échelle mondiale.

Conclusion et perspectives

Les prélèvements en eau non renouvelable de notre planète se situent majoritairement dans les régions fortement irriguées, mais aussi, bien entendu, dans les régions où les précipitations sont faibles. À l'avenir, l'effet de ces prélèvements dans certaines régions pourrait être supérieur ou égal à l'effet du changement climatique, même si la ressource en eau mondiale doit augmenter. Aujourd'hui, **environ 33 % des prélèvements mondiaux liés à l'irrigation sont non renouvelables, et cela crée une dette hydrique** importante.

Les perspectives du travail résumé dans ce chapitre sont de faire prendre conscience qu'aujourd'hui, **dans les modèles climatiques, on ne modélise pas vraiment l'anthropisation du cycle de l'eau**. On suspecte même que certains comportements indispensables dans notre économie, comme la pratique de l'irrigation, pourraient avoir des rétroactions sur le système climatique. Il faut les étudier et, pour cela, il est indispensable de réussir à modéliser ces processus anthropiques dans les modèles climatiques de façon à affiner les résultats déjà obtenus et les préciser : revisiter le passé, aller dans l'avenir.

Il n'y a que les modèles qui nous feront progresser sur ces problématiques.