



## « Les changements climatiques »

**Lundi 13 mars, vendredi 17 mars et mercredi 5 avril 2023**  
**Université de Liège**

**Trois matinées avec les étudiants des masters en géographie, orientation *Global Change*, en sciences spatiales et en biologie des organismes et écologie de l'Université de Liège**

Dans le cadre du cours « *Les changements climatiques et leurs impacts* », nous organisons les lundi 13 mars, vendredi 17 mars et mercredi 5 avril 2023, notre quinzième colloque annuel sur le thème des changements climatiques. Dans une série de mini-conférences, des étudiants des masters en géographie, orientation *Global Change*, en sciences spatiales et en biologie des organismes et écologie de l'Université de Liège tenteront de mieux faire comprendre les changements climatiques qui affectent aujourd'hui notre planète et analyseront les impacts possibles sur l'environnement et la société. Leurs exposés aborderont, entre autres, les questions suivantes : Quels impacts l'élévation du niveau de la mer aura-t-il sur les milieux côtiers et leurs populations ? Vaudrait-il mieux cibler d'abord le méthane plutôt que le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ? Migrations et changements climatiques : quels liens ? Quel est l'impact du numérique sur le réchauffement climatique ?

Cette année, trois demi-journées sont organisées. Elles s'adressent principalement aux élèves des classes de 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> année du secondaire, mais sont également ouvertes aux étudiants du supérieur, aux enseignants, aux chercheurs et au grand public. Les inscriptions aux matinées sont gratuites, mais obligatoires.

**Informations: Guy MUNHOVEN, Institut d'Astrophysique et de Géophysique, Université de Liège, Quartier Agora, 19c Allée du Six Août, 4000 Liège. Tél.: 04/3669771, e-mail: [Guy.Munhoven@uliege.be](mailto:Guy.Munhoven@uliege.be)**

**Deuxième matinée « Les changements climatiques »**  
**Vendredi 17 mars 2023, 9h00 à 12h15**  
**Université de Liège**  
**Auditoire de l'Ancien Institut d'Anatomie, Bâtiment L3**  
**Rue de Pitteurs, 20 – 4020 Liège**

09h00 – 09h20 **Accueil et introduction de la journée** (Louis François & Guy Munhoven)

09h20 – 09h40 **Quand le climat de l'Europe tombe à l'eau** (Émilie Gauthier)

*En janvier, alors que le Canada croule sous la neige, l'Europe de l'Ouest chauffe à 10 °C de plus que la moyenne pour ces latitudes. Qu'est-ce qui explique cet écart ? Le Gulf Stream, courant océanique transportant la chaleur, serait-il en cause ? Les impacts du changement climatique pourraient-ils altérer sa circulation, et si oui, avec quelles conséquences pour le climat européen ?*

09h40 – 10h00 **Des trous en Antarctique : pas toujours une mauvaise nouvelle**

(Élise Faulx)

*Au niveau des pôles, il existe des zones d'eau libre, c'est-à-dire des trous dans la glace, qui ne sont pas causés par le réchauffement climatique actuel : les polynies. Comment se forment-elles ? Comment affectent-elles la quantité de glace sur Terre ? la circulation océanique ? ou encore la biodiversité marine et terrestre ?*

10h00 – 10h20 **Il était une fois les glaciers... mais connaîtront-ils une fin heureuse ?**

(Lara Snoeck)

*Un glacier est une accumulation de neige transformée en glace qui est en mouvement perpétuel. Comment cela fonctionne ? En quoi le réchauffement climatique perturbe-t-il ce fonctionnement ? Est-ce que nos enfants pourront voir un glacier de leurs propres yeux ?*

10h20 – 11h00 **Pause**

11h00 – 11h20 **Le secteur du numérique, la face cachée de l'iceberg ?** (Igor Sacré)

*Aujourd'hui, dans un monde de plus en plus connecté, il serait impensable de se séparer de toutes les technologies qui nous entourent. Cependant, peu de gens semblent réaliser le rôle important que joue le secteur du numérique en matière de consommation d'énergie et donc, d'émissions de gaz à effet de serre. Quel est l'impact du numérique sur le réchauffement climatique ?*

11h20 – 11h40 **Changement climatique, quel impact sur les migrations ?** (Victoria Delbecq)

*Depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, le changement climatique commence à être identifié comme facteur de migration. Dans cette reconnaissance tardive, quels facteurs climatiques peuvent déclencher des migrations ? Quels sont les types de mouvements que l'on peut observer ? Avec des régions devenant de plus en plus chaudes, comment les populations vont-elles réagir face à une sécheresse qui s'intensifie ? Quelles sont les prévisions pour le futur ?*

11h40 – 12h00 **La place du corail dans un monde changeant** (Coline Van Hoegaerden)

*Les récifs coralliens sont un réservoir de biodiversité en déclin. Le réchauffement global est à l'origine d'épisodes de blanchiment de masse de plus en plus fréquents. Qu'est-ce que le phénomène de blanchiment implique ? Pourquoi l'humanité doit-elle s'inquiéter de la dégradation de cet écosystème ?*

12h00 – 12h15 **Conclusions de la journée**

# Quand le climat de l'Europe tombe à l'eau

Émilie Gauthier

Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

## Hivers canadiens et belges : pas le même froid

Montréal et Liège : deux villes situées à des latitudes similaires, mais qui présentent un portrait hivernal drastiquement différent. Alors qu'à Montréal, située à 45 °N, les températures descendent fréquemment sous la barre des -20 °C avec des chutes de neige moyennes de 210 cm, Liège (50 °N), bien que située plus au nord, présente un portrait beaucoup plus clément, avec des températures moyennes de 4 °C. On remarque d'ailleurs cet état de fait en observant la Figure 1, une carte des différences de température par rapport à la moyenne pour ces latitudes. Alors que le Québec frissonne à 10 °C en-dessous de la moyenne de ses latitudes, la Belgique est plutôt située dans une zone où les températures sont 5 °C au-dessus de la moyenne. Et qu'est-ce qui sépare le Canada et la Belgique ? Un océan étonnamment chaud...

## L'effet Gulf Stream

Le Gulf Stream est un segment de la circulation méridienne de retournement atlantique (en anglais *Atlantic Meridional Overturning Circulation*, AMOC). L'AMOC elle-même fait partie de la circulation océanique globale, aussi appelée circulation thermohaline, mue par des différences de température et de salinité des eaux océaniques. Elle est fortement impactée par les interactions ayant lieu entre l'atmosphère, la cryosphère et l'océan.

Le Gulf Stream prend sa source au niveau de la côte est des États-Unis, où les eaux de surface sont chaudes, et poursuit son cours en traversant l'océan Atlantique jusqu'à baigner les eaux de l'Europe de l'Ouest et du Nord, comme le montre la Figure 2. Il transporte ainsi l'eau chaude vers le Nord. Les vents d'ouest vont ensuite permettre de dissiper la chaleur des eaux de surface vers les côtes. Ce phénomène est particulièrement marqué pendant l'hiver, où les eaux vont libérer la chaleur accumulée pendant l'été. Ainsi, le Gulf Stream est responsable de 20 à 30% du transport total de chaleur pour ces latitudes. Il exerce également une influence majeure sur les distributions des précipitations, la formation de glace de mer, les variations locales

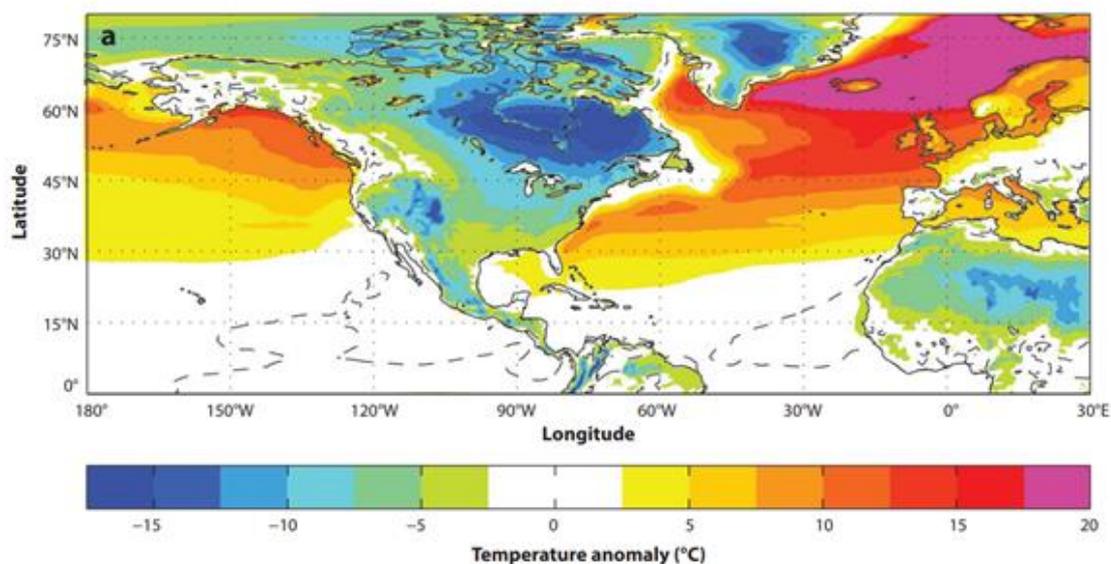


Figure 1 : Anomalies de température de surface en janvier comparé à la moyenne zonale (Source : [Palter, 2015](#))

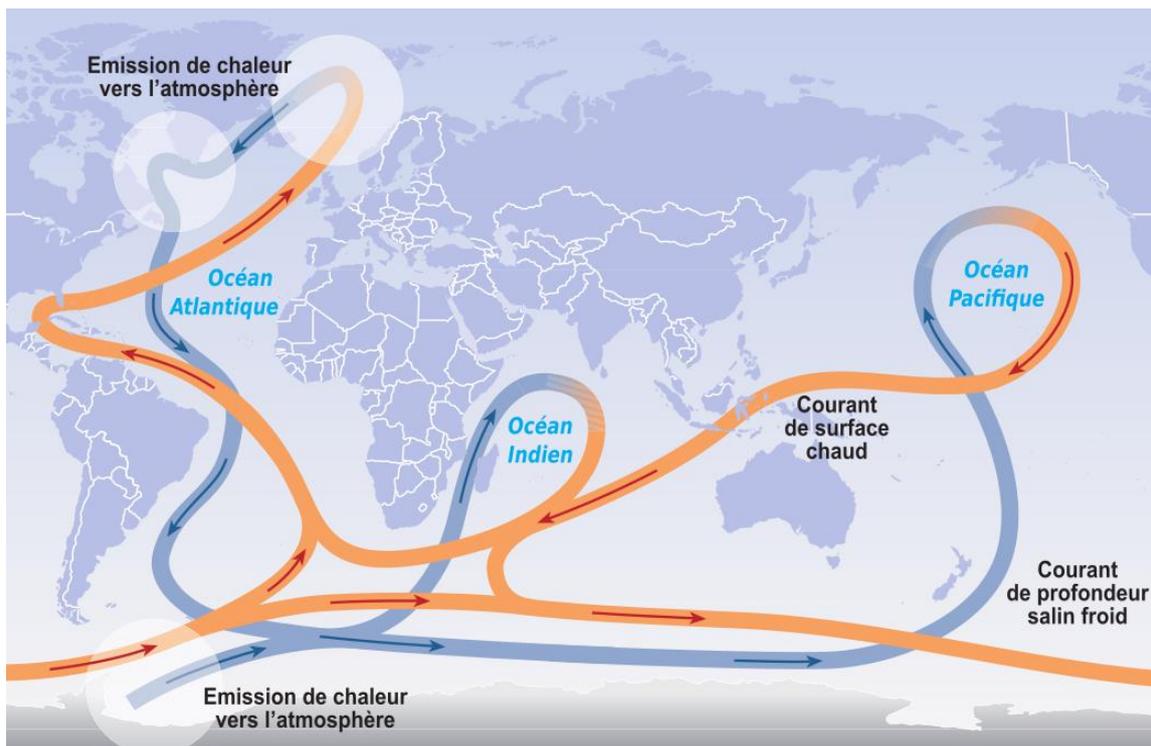


Figure 2 : La circulation océanique globale. (Source : [GIEC, SYR 2001](#))

d'élévation du niveau de la mer et les écosystèmes marins, entres autres.

### Un courant sensible aux changements climatiques

Étant influencé directement par les degrés de température et salinité de l'océan, le Gulf Stream de même que l'AMOC dont il fait partie ne présentent pas des caractéristiques constantes dans le temps, et plusieurs facteurs peuvent influencer l'emplacement et la vitesse du courant. Parmi ceux-ci, on retrouve le taux d'évaporation de l'eau de mer, la formation de glace de mer ainsi que la fonte des glaciers, principalement au Groenland.

Ces dernières années ont vu l'émergence des conséquences du changement climatique provoqué par les activités humaines, et le Gulf Stream n'a pas été épargné par ces effets. Ainsi, la fonte des glaces en Arctique, une conséquence directe du réchauffement climatique, provoque un important apport d'eau douce près du Groenland, ce qui diminue la salinité des eaux. Ces dernières ne sont alors plus assez denses pour plonger en profondeur, ce qui affaiblit l'AMOC.

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) a ainsi révélé en 2019 dans son rapport spécial sur les océans et la cryosphère qu'il était très probable que l'AMOC déclinerait durant le 21<sup>ème</sup> siècle, et ce, pour tous les scénarios de réchauffement modélisés comme on peut le voir sur la Figure 3. Il en est de même pour le Gulf Stream, pour lequel plusieurs chercheurs ont observé une diminution des vitesses maximales ces dernières années. Cependant, bien que le scénario catastrophique de l'arrêt de la circulation thermohaline ait été évoqué par les médias, le GIEC juge très peu probable que la circulation océanique s'arrête complètement pendant le 21<sup>ème</sup> siècle.

### Mais alors, que se passera-t-il ?

Comme le Gulf Stream exerce une influence majeure sur plusieurs aspects du système climatique, il est difficile de prévoir exactement quelles seront les conséquences de son ralentissement. D'autant plus que ces variations sont directement influencées par les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Cependant, l'utilisation de modèles climatiques permet de

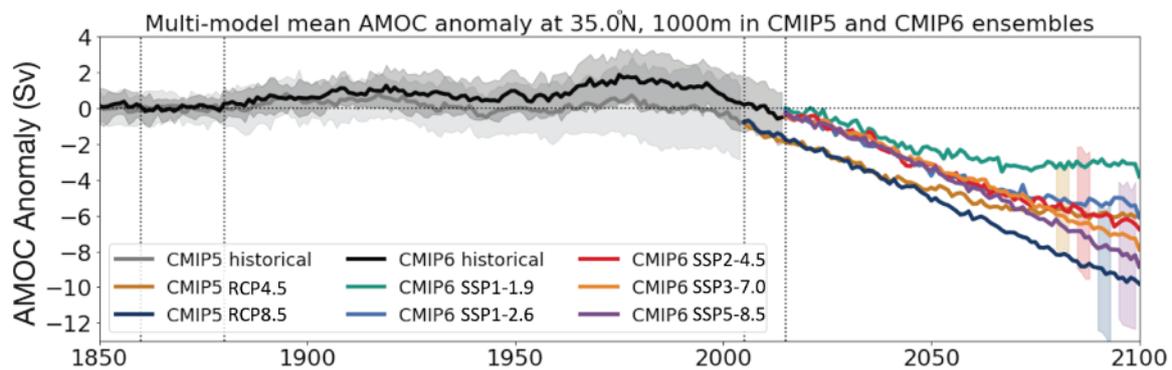


Figure 3 : Simulations des variations historiques et prévisions de l'évolution de l'AMOC au cours du 21<sup>e</sup> siècle pour différents scénarios de réchauffement. (Adapté à partir de [GIEC, 2021](#)).

réaliser des simulations pour ainsi prévoir l'évolution du climat selon des paramètres précis. Par exemple, sur la Figure 4, on peut observer les différences modélisées pour les températures de surface de l'air dans le cas d'un affaiblissement de l'AMOC de 70%. On remarque des zones en bleu foncé au niveau de l'océan Atlantique Nord ainsi que sur le continent européen, traduisant un refroidissement allant de  $-2$  à  $-10$  °C.

On comprend donc que les impacts d'un ralentissement de l'AMOC, et donc du Gulf Stream, se traduisent en changements de température importants à l'échelle du globe. Mais si cette simulation permet de mettre en lumière les effets seuls d'un ralentissement de l'AMOC, est-ce que c'est réellement ce qui va se passer ? Non, car elle ne prend en compte que les changements associés à un ralentissement de la circulation océanique. Pour obtenir un portrait réel, il est nécessaire de coupler ces informations avec les effets du réchauffement climatique.

Ainsi, selon le GIEC, même si la circulation océanique et le Gulf Stream ralentissent, l'ampleur du réchauffement actuel est telle que les températures augmenteraient quand même

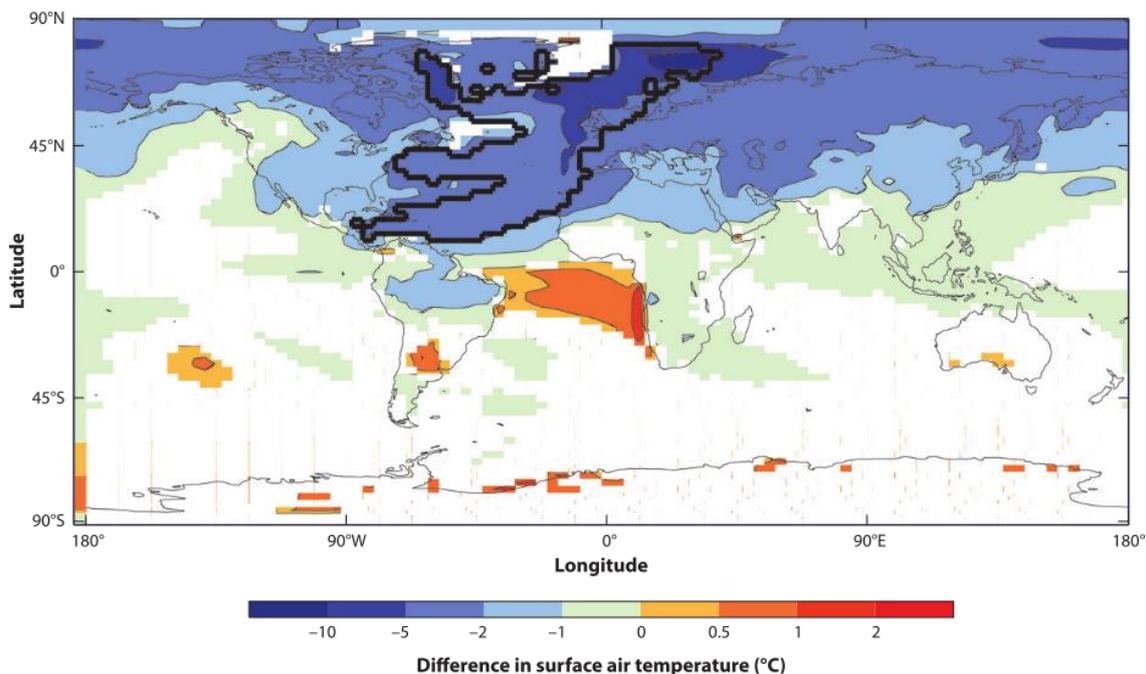


Figure 1 : Différences des températures de surface entre une simulation où l'AMOC est ralentie de 70% et une simulation sans changement de l'AMOC. (Source : [Palter, 2015](#))

au-dessus de l'Europe, bien que ce réchauffement serait de moins grande ampleur qu'au Canada, par exemple. Bonne nouvelle ? Non, car ce serait négliger tous les autres facteurs impactés par le Gulf Stream et la circulation océanique : les variations du niveau de la mer, les écosystèmes marins et les schémas de précipitation comme la mousson.

## Conclusion

Le Gulf Stream, segment de la circulation océanique globale (AMOC) est un acteur majeur du climat européen. En transportant les eaux chaudes du Golfe du Mexique jusqu'aux côtes combiné à l'action des vents d'ouest, il favorise un hiver plus doux en Europe. Cependant, avec les changements de densité des eaux de surface provoqués par le réchauffement climatique, il est prévu que le Gulf Stream ralentira dans les prochaines années, un ralentissement déjà observé par les scientifiques. Bien que les modélisations les plus récentes permettent d'appréhender certaines de ces conséquences, la complexité du système climatique et de nombreuses incertitudes empêchent d'en appréhender les effets à venir avec exactitude. Autant dire que, pour ce qui est du futur du Gulf Stream, on est encore sous l'eau.

## Pour en savoir plus

- CBC-Radio-Canada. Le Gulf Stream, ce régulateur du climat, 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=g69KxsNxQaQ>
- GIEC, 2019 : Résumé à l'intention des décideurs, Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique [sous la direction de H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N. M. Weyer], sous presse. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC\\_SPM\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf)
- RTBF.be. Le Gulf Stream ralentit et la fonte de la calotte glaciaire du Groenland en est la cause, 2021. <https://www.rtbf.be/article/le-gulf-stream-ralentit-et-la-fonte-de-la-calotte-glaciaire-du-groenland-en-est-la-cause-10721485>

# Des trous dans l'Antarctique : pas toujours une mauvaise nouvelle

Élise Faulx

Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

## Introduction

Le terme « polynie » signifie « trou dans la glace » en russe. Il désigne une zone d'eau libre entourée de glace (Figure 1), ou éventuellement recouverte d'une couche de glace nettement plus fine (Figure 2).

Les polynies existaient bien avant le problème actuel de dérèglement climatique, et contrairement à ce que l'on pourrait penser, cette absence locale de glace a un impact bénéfique pour notre planète.

Elles ne sont généralement pas présentes toute l'année, mais la plupart d'entre elles sont dites « récurrentes », c'est-à-dire qu'elles réapparaissent chaque année au même endroit.

Elles sont localisées sur la banquise (pôle Sud et pôle Nord). Au pôle Sud (Antarctique) on les retrouve au niveau des côtes des continents, juste après la fin de la calotte glaciaire, à la frontière avec la banquise.<sup>1</sup> On peut visualiser les 37 polynies récurrentes de l'Antarctique sur la Figure 3.

Concernant l'hémisphère Nord en revanche, on retrouve un nombre moins important de polynies mais on y retrouve notamment la polynie la plus large : la polynie NOW (*North Water Polynya*) aussi appelée *Pikialasorsuaq* en Groenlandais (Figure 2), localisée à l'est du Groenland.

## Processus de formation

La plupart des polynies se forment grâce à la force mécanique exercée par le vent (et dans une moindre mesure par les courants marins), qui viennent chasser la masse de glace présente d'un endroit précis. Cette famille de polynies correspond aux **polynies de chaleur latente** et leur



Figure 1 : Petite polynie d'eau libre entourée de glace. Elle est située au niveau de l'île de Farwell (Ouest de l'Antarctique). La photo a été prise lors de l'opération Icebridge (menée par la NASA), à bord d'un avion en 2017. (Source : NASA)



Figure 2 : Polynie recouverte d'une fine couche de glace. Il s'agit de la polynie NOW, localisée à proximité du Groenland. Elle mesure environ 85 000 km<sup>2</sup> (plus de deux fois la Belgique). La photo a été prise la NOAA. Source : USGS)

<sup>1</sup> Pour rappel, les glaciers (et les calottes glaciaires) se forment sur la terre ferme, alors que la banquise flotte sur l'eau.

mécanisme de formation est représenté sur la Figure 4.

En effet, les zones polaires connaissent des rafales de vents très rapides (atteignant fréquemment une vitesse de 200 km/h), appelés « vents catabatiques ». Ces vents catabatiques se forment grâce à un mécanisme bien connu. Tout d'abord, au-dessus du continent gelé, à une altitude de plusieurs kilomètres, l'air se refroidit intensément. Ainsi, il devient plus dense. Par la force de gravité, il dévale les pentes du continent, jusqu'à atteindre l'océan avec une vitesse fulgurante et une température très basse. De plus, d'autres types de vents moins importants (comme les vents synoptiques ou les courants de barrières) peuvent amplifier les rafales de vents catabatiques.

La force éolienne est alors capable de briser la glace présente en bordure du continent, là où débute la banquise, et de chasser plus loin les plaques de glace brisée. En même temps, se créent des zones d'eau libre : les polynies.

Notons qu'il existe une autre famille de polynies, mais qui sont beaucoup plus rares : les **polynies de chaleur sensible**. Ces polynies sont formées des mouvements océaniques verticaux qui font remonter de la chaleur à la surface. La température grimpe alors au-delà de 0°C, ce qui empêche la glace de se former localement.

Ainsi, contrairement aux polynies de chaleur latente, qui se forment sur les zones côtières, les polynies de chaleur sensible peuvent se former n'importe où dans la banquise. On retrouve notamment la polynie de Maud Rise (Figure 2), liée à une montagne sous-marine ainsi que plusieurs petites polynies localisées à proximité de la Russie. Ce mécanisme différent explique pourquoi les polynies russes ne sont pas localisées directement en bordure du continent.

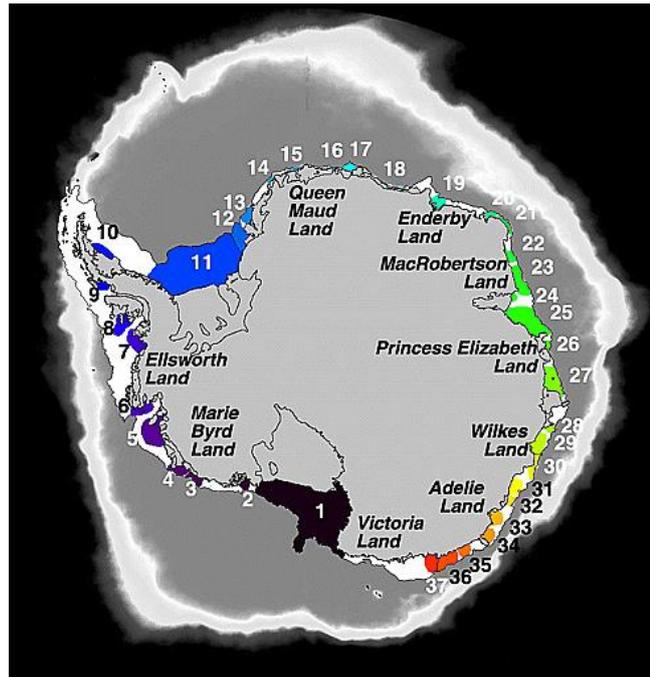


Figure 3 : Localisation des 37 polynies récurrentes de l'Antarctique. (Source : [Arrigo & Van Dijken, JGR 2003](#))

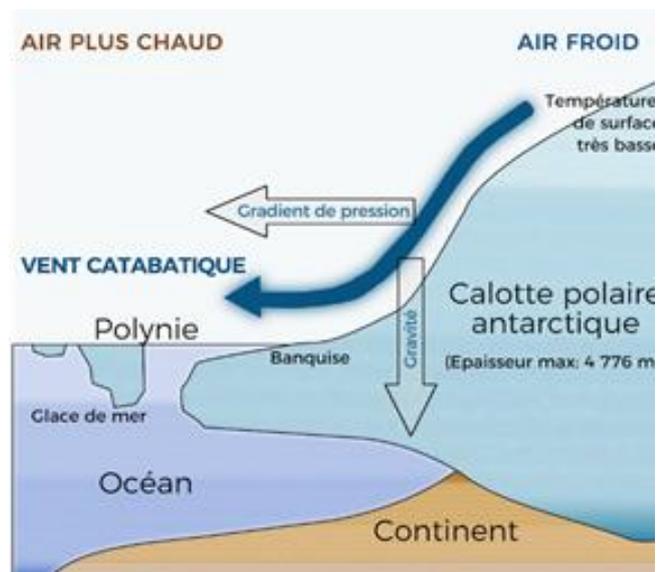


Figure 4 : Schéma représentant le processus de formation d'une polynie (en Antarctique). (Source : [meteo-paris.com](#)).



Figure 5 : Schéma de la circulation océanique. (Source : [Futura-Sciences.](#))

## Les rôles des polynies

### Une usine de glace

Si on considère les polynies de chaleur latente, la température des zones d'eau libre reste toujours très faible (sous le seuil de solidification de 0 °C). Ainsi, après le passage d'une rafale de vent, l'eau en surface se solidifie à nouveau, créant une nouvelle couche de glace, qui sera chassée lors de la prochaine rafale. En d'autres termes, les polynies ont pour effet d'augmenter la surface totale de glace présente sur le globe terrestre.

Ainsi, ces zones sont cruciales pour notre planète, surtout si on considère le contexte de réchauffement climatique actuel. En effet, en raison du phénomène d'albédo,<sup>2</sup> la glace de mer tend à refroidir le climat terrestre. Par sa couleur blanche, la glace reflète une très grande partie des rayons solaires reçus (environ 90%), qui ne contribuent pas au réchauffement de la planète.

À l'inverse, l'océan dépourvu de glace est de couleur foncée et absorbe la majorité de ces rayons (environ 94%).

### Un moteur pour la circulation des océans

Un autre impact des polynies est qu'elles renforcent la circulation des océans, également appelée circulation thermohaline, schématisée sur la Figure 5. Cela comprend les courants marins à l'échelle mondiale, en surface (en rouge sur la Figure 5) et en profondeur (en bleu sur la Figure 5).

Ces courants sont engendrés car les différentes masses d'eau sur Terre n'ont pas les mêmes propriétés. Plus particulièrement car elles diffèrent concernant leurs températures et leurs concentrations en sel. Les masses d'eau chaudes et qui ont une faible concentration de sel sont plus légères et restent en surface alors que les masses froides et fortement concentrées en sel sont denses et circulent en profondeur. Étant donné que la glace contient très peu de sel, la formation de glace conduit à une augmentation de la concentration en sel des eaux sous-jacentes. Ainsi, comme les polynies peuvent être qualifiées d'usines de glace, leurs concentrations en sel augmentent constamment. Les eaux des polynies s'alourdissent et plongent vers les profondeurs, ce qui alimente ces courants.

---

<sup>2</sup> L'albédo désigne la fraction de la lumière solaire qui est directement réfléchiée vers l'espace, sans avoir été absorbée par la surface.

## Un refuge pour la biodiversité

Contrairement aux régions englacées, la faible épaisseur (voire l'absence) de glace au niveau des polynies permet aux rayons solaires d'atteindre l'eau. Cela rend possible alors le développement d'une espèce marine clé : le phytoplancton. En effet, ces microorganismes unicellulaires produisent leur matière organique et puisent leur énergie grâce à la photosynthèse (qui ne peut se produire qu'en présence de lumière).

Le phytoplancton, à la base de la chaîne alimentaire océanique, sert de nourriture à des petits animaux herbivores (comme, p. ex., les crevettes, les méduses, le krill), regroupés dans la classe du zooplancton. Une série de poissons mais également de plus gros animaux tels que les baleines se nourrissent de zooplanctons. A partir de là, on comprend aisément qu'un écosystème riche et particulier se développe au niveau des polynies. En effet, divers types de prédateurs marins (éléphant de mer, béluga, phoques, narval...) peuvent alors entrer en jeu. À proximité immédiate des polynies, sur la banquise ou sur le continent, une biodiversité terrestre peut également se développer (oiseaux, ours blancs), et, si on considère les polynies groenlandaises, certaines populations humaines inuit en dépendent totalement car elles peuvent y pêcher une grande variété de poissons.

Au début de ce texte, il a été mentionné que les polynies ne sont pas présentes tous les jours de l'année. Cependant, comme la plupart des polynies sont « récurrentes », les animaux retiennent leurs emplacements afin de les utiliser comme refuge, par exemple pour leur reproduction.

## Changement climatique

L'impact du réchauffement climatique sur les polynies concerne davantage le pôle Nord que le pôle Sud. En effet, la fonte de la glace de la calotte glaciaire du Groenland est particulièrement forte et s'intensifie d'année en année. Ainsi, l'altitude de la calotte diminue, réduisant le temps de descente de la masse d'air catabatique, qui atteint alors la surface avec une vitesse qui se réduit au fur et à mesure des années. Cela diminue l'extension et le nombre de polynies. Selon les scientifiques, cela aurait un impact plus particulièrement sur la polynie NOW, qui pourrait aller jusqu'à se refermer complètement dans les années à venir.

## Conclusion

Même si elles ne représentent qu'une petite partie de la surface terrestre, les polynies ont un impact bénéfique non négligeable sur la grande machine climatique et sur la biodiversité. Elles mériteraient d'être davantage étudiées et constituent une raison supplémentaire de limiter le dérèglement climatique actuel.

## Pour en savoir plus

- Atlas de Pikialasorsuaq (polynie NOW) : <http://pikialasorsuaq.org/en/Resources/Pikialasorsuaq-Atlas>
- Vent catabatique en Antarctique : <https://www.youtube.com/watch?v=hDPr77Jbok8>
- Comprendre le fonctionnement de la circulation océanique :
  - <https://www.ipsl.fr/decouvrir/voir-et-faire/un-phenomene-une-manip/la-circulation-thermohaline>
  - <https://interstices.info/comprendre-la-circulation-oceanique>
- Utilisation des éléphants de mer pour mesurer le vent catabatique : <https://www.projetsensei.com/fr/les-predateurs-marins/les-elephants-de-mer-et-les-polynies>

# Il était une fois les glaciers... mais connaîtront-ils une fin heureuse ?

Lara Snoeck

Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

## Fonctionnement d'un glacier

Un glacier est au départ une accumulation de neige qui en se tassant sous l'effet de son propre poids s'est transformée en glace. Cette glace, sous l'effet de la gravité, va s'écouler plus ou moins lentement pour former ce qu'on appelle un glacier. Il peut se déplacer jusqu'à plusieurs dizaines de mètres par an.

Un glacier est caractérisé par deux zones séparées par ce qu'on appelle une ligne d'équilibre. La zone située en amont s'appelle la zone d'accumulation. Autrement dit, il s'agit de l'endroit où le glacier se forme. En effet, dans cette zone, la quantité de neige accumulée est plus grande que la quantité de neige qui fond. Cette accumulation de neige permet d'avoir un apport en glace. La zone d'accumulation est dotée d'une couverture neigeuse qui est présente tout au long de l'année (Figure 1).

La partie la plus élevée du glacier est facilement repérable car elle se manifeste par une fracture appelée rimaye (Figure 2). La partie aval du glacier est appelée la zone d'ablation



Figure 2 : Localisation de la rimaye. (Source : [Futura-Sciences](#), consultée le 8 novembre 2022.)



Figure 1 : Zones d'un glacier. (Source : [Futura Sciences](#), consulté le 8 novembre 2022.)

(Figure 1). Dans cette zone, non seulement les précipitations neigeuses fondent mais le glacier fond également. Cette zone est donc la plus propice pour observer les changements de morphologie d'un glacier.

L'évolution de la position de la ligne d'équilibre qui sépare ces deux zones n'est pas figée dans le temps puisqu'elle dépend notamment des températures et de la quantité de précipitations neigeuses.

On estime qu'un glacier est à l'équilibre (donc qu'il conserve la même taille) lorsque les deux tiers de sa surface sont compris dans la zone d'accumulation.

## L'impact du réchauffement climatique

Les glaciers sont considérés comme un des meilleurs indicateurs du changement climatique, car les modifications qu'ils subissent sont facilement observables. De fait, les changements, qui consistent en une réduction de la taille des glaciers, sont visibles d'année en année.

Ainsi, depuis plus d'une dizaine d'années, des mesures réalisées dans les Alpes ont permis de montrer qu'en moyenne, la zone d'accumulation des glaciers représentait désormais seulement 30 à 40% de leur superficie totale. Il apparaît donc clairement que l'on est loin d'une situation d'équilibre avec au contraire une tendance de fonte fortement marquée.

L'augmentation générale de la température moyenne mondiale (+1.1°C pour la période 2011-2020 par rapport à la période préindustrielle où l'activité humaine avait peu d'impact sur le climat) tend à faire fondre voire même à faire disparaître les glaciers. Cependant, l'augmentation de la température moyenne sur Terre n'est pas le seul facteur qui provoque la fonte des glaciers. On assiste également à un changement dans l'intensité et la fréquence d'événements extrêmes ou encore des perturbations dans les précipitations (neigeuses mais aussi pluvieuses). À des altitudes comprises entre 1000 et 2000 mètres, on observe une augmentation des précipitations pluvieuses et une diminution des chutes de neige. On estime que la période durant laquelle il neige sur les glaciers a diminué d'un mois depuis les années '70. Un autre élément accentue la fonte des glaciers et découle des facteurs qui viennent d'être mentionnés : lorsque la superficie d'un glacier diminue, il y a davantage de zones rocheuses exposées au soleil. Or ces dernières absorbent mieux les rayons du soleil que la glace ou la neige de par leur couleur plus foncée. Ce phénomène tend à accentuer encore plus l'augmentation des températures aux abords des glaciers et amplifie la fonte de ces derniers. Ces facteurs combinés provoquent une diminution de la quantité de neige qui tombe sur les glaciers et qui est nécessaire à leur équilibre, mais induisent aussi la fonte de la glace qui constitue les glaciers. Les changements produits par le réchauffement climatique sont généralement plus marqués durant l'été. Les vagues de chaleur qui surviennent durant cette saison entraînent une fonte conséquente des glaciers.

Il faut savoir que le réchauffement climatique ne se fait pas ressentir partout sur Terre de la même façon. Il est plus marqué dans les zones où l'on retrouve des glaciers. À titre d'exemple, dans les Alpes, on a mesuré une augmentation moyenne des températures de 2°C par rapport à 1900 alors que le réchauffement global de la Terre était de « seulement » 0.8°C. C'est donc nettement plus important que l'augmentation de la température moyenne mondiale.

La Figure 3 montre l'évolution des différences de températures annuelles dans les Alpes entre 1900 et 2017, en comparaison avec les fluctuations de températures moyennes à l'échelle planétaire. Les températures sont clairement à la hausse depuis quelques décennies et cette

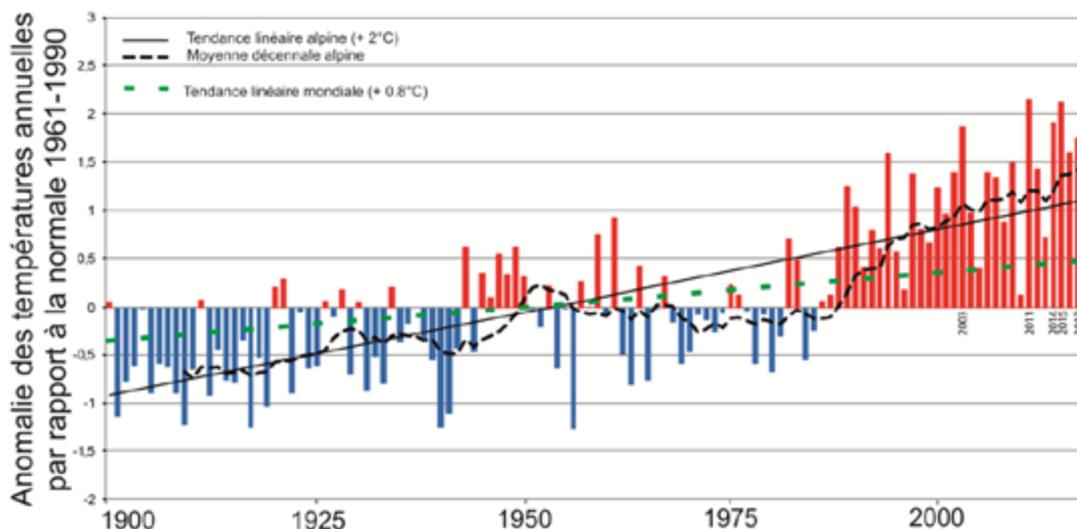


Figure 3 : Graphique de l'évolution des différences de température dans les Alpes entre 1900 et 2017. (Source : Mugnier, 2019)

hausse est nettement plus marquée pour les glaciers que pour la planète prise dans son entièreté.

### Étude de cas : évolutions récente et future des deux plus grands glaciers des Alpes françaises

Plusieurs études s'accordent à dire que les glaciers situés dans les Alpes et dont la longueur de la zone d'accumulation est inférieure à 3500 m auront disparu d'ici la fin du siècle.

Afin de pouvoir modéliser l'évolution future des glaciers, il faut prendre plusieurs paramètres en compte : l'épaisseur des glaciers, l'évolution future du climat local, ainsi que la façon dont les glaciers s'écoulent vers l'aval.

Les deux glaciers les plus importants situés dans les Alpes françaises font partie du massif du Mont Blanc et s'appellent le glacier d'Argentière et la Mer de Glace (Figure 4). Depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, les glaciers d'Argentière et la Mer de Glace ont perdu respectivement 38 et 50 m d'épaisseur de glace, soit 25 et 32% de leur épaisseur moyenne.

Afin d'étudier l'évolution future de ces glaciers, on a, dans un premier temps, modélisé l'évolution future des températures et des précipitations. La tendance est sans surprise une augmentation des températures durant ce siècle. En revanche, il n'y a pas de tendance bien prononcée pour les précipitations si ce n'est qu'elles fluctuent beaucoup.



Figure 4. Localisation des glaciers des Alpes françaises. (Source : [Vincent et al., 2021](#))

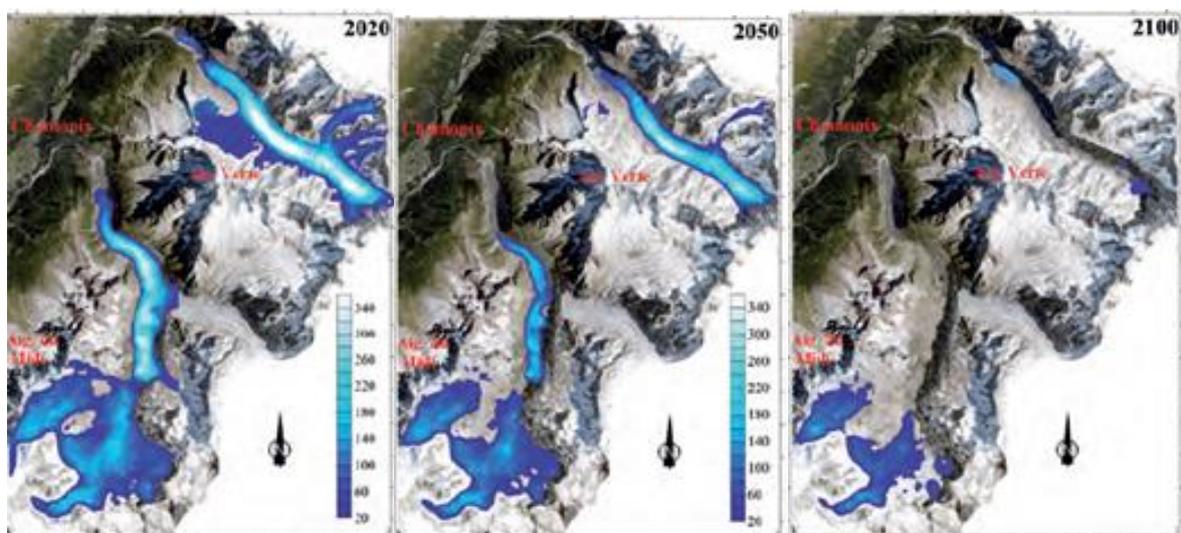


Figure 5. Évolution future des glaciers dans les Alpes françaises. (Extrait de [Vincent et al., 2021](#).)

Il est possible de simuler le futur en suivant différents scénarios pour l'évolution du réchauffement climatique. La Figure 5 montre l'évolution des deux glaciers pour un scénario avec un réchauffement modéré (appelé RCP 4.5). On peut voir qu'il y a une diminution importante tant de l'épaisseur de la glace que de la surface recouverte par cette dernière. Selon ce scénario, le glacier d'Argentière aura pratiquement complètement disparu d'ici à 2100 et la Mer de Glace sera toujours présente mais aura reculé de 7.2 km par rapport à 2018. En revanche dans le cas d'un scénario à réchauffement important (comme le RCP 8.5), la Mer de Glace sera également vouée à disparaître avant la fin du siècle.

## Conclusion

Pour conclure, on peut donc dire que l'avenir des glaciers en Europe et même dans le monde est fortement compromis. Effectivement, on s'attend à voir disparaître un bon nombre de glaciers d'ici 2100 à cause du réchauffement climatique. Ce dernier est presque deux fois plus marqué dans les régions qui abritent les glaciers qu'en moyenne globale.

Pour en savoir plus :

- <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/climatologie-evolution-inquietante-glaciers-alpins-296/page/3/>
- <https://www.glaciers-climat.com/clg/quest-quun-glacier>
- <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/calottes-glaciaires-et-glaciers>
- <https://www.weforum.org/agenda/2019/10/climate-change-glaciers-the-alps-mont-blanc> (en anglais)

# Le secteur du numérique, la face cachée de l'iceberg ?

---

Igor Sacré

Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

## Qu'est-ce que l'énergie ?

Avant tout, « il est important de réaliser que dans la physique d'aujourd'hui, nous n'avons aucune connaissance de ce qu'est l'énergie » (Feynman & Randon-Furling, 2018). En effet, il n'existe pas de représentation de ce qu'est concrètement l'énergie. Cependant, si nous devons en donner une définition usuelle, nous dirions que l'énergie est la capacité d'un système à produire un effet, à effectuer une action. Par exemple, une voiture se déplaçant à 120 km/h aura une capacité à produire un effet bien plus important que si elle roulait à 30 km/h (il s'agit ici d'énergie cinétique). De la même manière, la capacité d'un arc à flèche à effectuer une action sera bien plus grande s'il est tendu (il s'agit ici d'énergie potentielle élastique). Ces deux exemples nous indiquent qu'il existe différentes formes d'énergie : gravitationnelle, cinétique, thermique, élastique, électrique, chimique ou encore nucléaire, pour ne citer que celles-là.

Par ailleurs, l'énergie ne peut être ni créée, ni détruite. Elle ne peut être que transformée d'une forme à une autre ou transférée d'un endroit à un autre. C'est ce qu'on appelle le principe de conservation de l'énergie. Celui-ci nous amène à définir l'énergie d'une manière un peu plus rigoureuse, comme la grandeur physique qui se conserve lors de toute transformation d'un système physique fermé. Les deux exemples énoncés précédemment peuvent également illustrer le principe de conservation de l'énergie : par l'effet de son mouvement, la voiture se déplaçant à une vitesse de 120 km/h possède une certaine énergie cinétique. Celle-ci diminue lorsque les freins de la voiture sont utilisés. À première vue, nous pourrions croire que cette énergie est détruite. Or, le principe de conservation d'énergie indique que cela n'est pas possible. En effet, l'énergie cinétique d'une voiture qui freine est essentiellement transformée en énergie thermique par frottements (entre les plaquettes et les disques). Il n'y a donc pas de destruction mais bien une transformation de l'énergie sous une autre forme. En ce qui concerne l'arc à flèche, son énergie potentielle élastique diminue à partir du moment où l'archer lâche la corde et devient nulle lorsque la corde retrouve son état initial. Encore une fois, il n'y a pas de destruction de l'énergie mais bien un transfert de celle-ci entre la corde et la flèche. Cependant, l'énergie reçue par la flèche est cette fois sous forme cinétique.

Enfin, nous pouvons introduire la notion de travail. Le travail d'une force est l'énergie que celle-ci fournit lorsque son point d'application se déplace. Il s'agit donc d'un transfert d'énergie entre une source et une cible. Si nous reprenons l'exemple de l'arc à flèches pour lequel nous savons qu'il y a une diminution de l'énergie potentielle élastique de la corde et un transfert de cette énergie à la flèche sous forme d'énergie cinétique lorsque l'archer lâche la corde, nous pouvons ajouter que ce transfert d'énergie a lieu dans la mesure où le point d'application de la force exercée par la corde sur la flèche se déplace. Tout comme l'énergie, le travail a pour unité le joule (J). Ajoutons que, lorsque qu'il s'agit d'exprimer un débit d'énergie au cours du temps, la notion de puissance est utilisée. L'unité associée à la puissance est le watt (W), soit des joules par seconde.

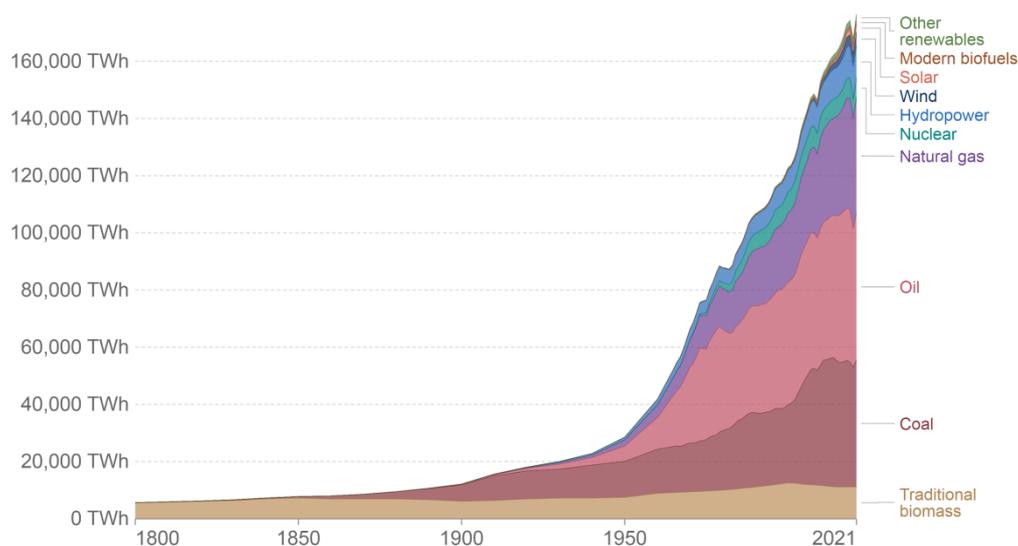
## La consommation d'énergie dans le monde

Comme nous l'avons vu précédemment, l'énergie peut être définie comme la capacité d'un système à produire un effet, à effectuer une action. Par extension, les matières premières comme le charbon, le pétrole, le gaz ou encore l'uranium, qui sont utilisées pour produire un effet, effectuer une action, sont appelées « énergies ». Le rayonnement solaire, l'eau ou encore le vent sont

## Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

Our World  
in Data



Source: Our World in Data based on Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Figure 1 : Consommation mondiale d'énergie primaire par source. (Source : [ourworldindata.org](https://ourworldindata.org), consultée le 03/02/2023).

également désignés comme tels. Puisqu'il s'agit de produits énergétiques qui peuvent être exploités directement sans transformation, elles sont qualifiées d'énergie primaire.

Lorsque nous analysons, sur la Figure 1, la consommation mondiale d'énergie primaire par source entre 1850 et 2021, exprimée en Terawattheures (TWh),<sup>3</sup> nous remarquons que celle-ci connaît une croissance très importante, surtout depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale et le début des « Trente Glorieuses », période marquée par une forte croissance économique. De plus, elle est largement dominée par les énergies fossiles. En effet, en 2021, alors que la consommation mondiale d'énergie primaire était de 176.431 TWh, les énergies fossiles, que sont le gaz naturel (40.375 TWh), le pétrole (51.170 TWh) et le charbon (44.473 TWh), représentaient plus de 75% de cette consommation.

### La consommation d'électricité dans le monde

Une des finalités de la consommation d'énergie primaire est la production d'électricité. En effet, l'électricité est une des trois composantes de la consommation d'énergie primaire avec le transport et le chauffage. Dans le cadre de l'étude du secteur du numérique, c'est la production d'électricité qui va nous intéresser. En effet, le secteur du numérique peut être considéré comme l'un des trois principaux moteurs de la nouvelle consommation d'électricité parallèlement à la production d'hydrogène (actuelle et future) et à la recharge des batteries des véhicules électriques.

Lorsque nous analysons, sur la Figure 2, le mix électrique mondial, c'est-à-dire la répartition de la production mondiale d'électricité selon les différents modes de production existants, entre 1985 et 2021, exprimé en TWh, nous remarquons que la production mondiale d'électricité a plus que doublé en l'espace de 35 ans. Nous voyons également que le mix électrique est dominé par les énergies fossiles. En effet, en 2021, alors que la production mondiale d'électricité était de 27.782,79 TWh, les énergies fossiles, que sont le gaz naturel (6317,6 TWh), le pétrole (760,15 TWh) et le charbon (10.110,98 TWh), représentaient plus de 60% de cette production.

<sup>3</sup> 1 TWh est égal à un milliard de kWh.

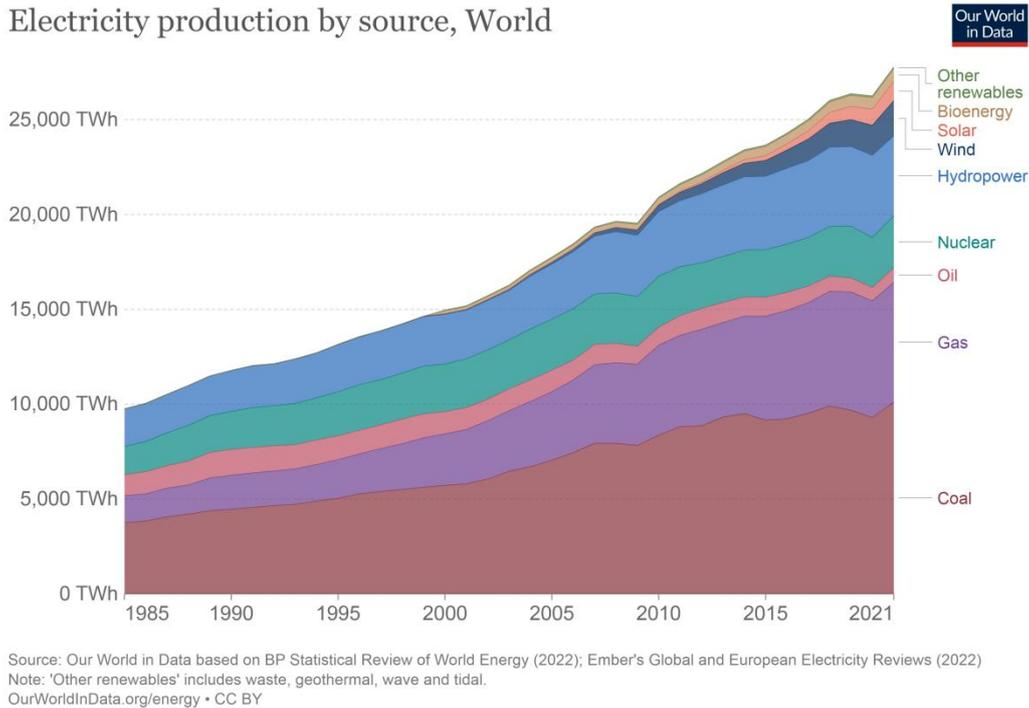


Figure 2 : Production mondiale d'électricité par source. (Source : [ourworldindata.org](https://ourworldindata.org), consultée le 03/02/2023)

Actuellement, nous avons donc une électricité encore très fortement carbonée à l'échelle mondiale, même si la part d'énergies renouvelables tend à augmenter.

### La consommation électrique du secteur du numérique dans le monde

Le monde qui nous entoure est de plus en plus connecté, mais il est parfois difficile de se rendre compte de l'importance de la consommation électrique engendrée par toutes ces nouvelles technologies. Nous allons donc passer en revue la consommation électrique du secteur numérique et de son infrastructure afin de nous rendre compte de ses besoins en termes d'énergie.

Abordons tout d'abord les centres de données. Un centre de données (ou *data center* en anglais), est un site physique qui héberge des ressources informatiques permettant d'échanger, de traiter et de stocker de l'information quel que soit son origine (particuliers ou entreprises) et sa provenance. On y retrouve des serveurs, des baies de stockage ainsi que des systèmes de réseau et de télécommunication. Toutes ces ressources informatiques sont très friandes en électricité et représentent une grande partie de la consommation énergétique des centres de données. Le reste de l'électricité consommée par les centres de données est utilisée pour le fonctionnement des bâtiments abritant les différentes ressources informatiques listées précédemment. En effet, le refroidissement, la distribution d'énergie, les batteries et les générateurs de secours, l'éclairage ou encore les systèmes d'extinction des incendies possèdent une certaine demande en électricité. En 2020, la consommation mondiale d'électricité des centres de données était estimée à 294±5 TWh.

Ensuite, parlons des réseaux mobiles. Un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui achemine les communications sous forme d'ondes radio. Un accès à internet peut y être inclus via des données mobiles. L'élément central d'un réseau mobile est la station de base. Composée notamment d'une ou plusieurs antennes émettrices/réceptrices, elle sert de pont entre tous les utilisateurs mobiles d'une zone délimitée appelée « cellule ». Lorsqu'elles sont réunies, ces cellules fournissent une couverture sur une vaste zone géographique. Toutes les stations de base qui composent un réseau mobile consomment de l'électricité pour pouvoir fonc-

tionner. La consommation mondiale d'électricité par les réseaux mobiles était estimée à  $98 \pm 2$  TWh en 2020.

Passons maintenant aux réseaux optiques. Un réseau optique fait référence à l'utilisation de la lumière pour transmettre des données à travers des câbles à fibre optique et ce, à la vitesse de la lumière. Sans réseaux optiques, les connexions à des centres de données distants ou à d'autres sources de données ne seraient pas aussi rapides qu'elles le sont aujourd'hui. La portée mondiale d'Internet repose donc sur les réseaux optiques pour garantir qu'un utilisateur puisse accéder à n'importe quel serveur où qu'il se trouve dans le monde. La consommation électrique mondiale des réseaux optiques était estimée à  $150 \pm 20$  TWh en 2020.

Évoquons à présent la consommation des différents appareils électroniques que nous utilisons au quotidien. Le terme « appareil » désigne un groupe très diversifié composé des téléphones, des ordinateurs portables, des périphériques informatiques, des appareils domestiques intelligents, des modems et passerelles Wi-Fi ainsi que des appareils IdO<sup>4</sup>. Tous ces objets demandent de l'électricité pour pouvoir être rechargés ou tout simplement fonctionner. En 2020, leur consommation était estimée à  $830 \pm 200$  TWh.

Terminons ce passage en revue avec la fabrication des équipements numériques. En 2020, la consommation électrique liée à la fabrication des équipements électriques dans le monde était estimée à  $300 \pm 50$  TWh.

Si nous additionnons les différentes puissances évoquées pour le secteur numérique et son infrastructure, nous arrivons à une consommation électrique totale de  $1670 \pm 210$  TWh en 2020, ce qui requiert une puissance moyenne de  $191 \pm 24$  GW. À titre de comparaison, les sept réacteurs nucléaires belges comptabilisent une puissance totale d'environ 6 GW. Nous voyons donc que nous avons affaire à des quantités énormes en termes d'énergie consommée.

## Les émissions de gaz à effet de serre du secteur numérique

Comme nous l'avons vu précédemment, plus de 60% de la production mondiale d'électricité provenait d'énergies fossiles en 2021. Le problème majeur de l'utilisation de ces combustibles que sont le charbon, le gaz ou encore le pétrole est qu'ils relâchent de manière massive des gaz à effet de serre dans l'atmosphère lors de leur combustion. Ces gaz à effet de serre ont pour caractéristique d'empêcher une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre de quitter son atmosphère, ce qui a pour conséquence d'augmenter la température sur notre planète. En 2020, les émissions mondiales de dioxyde de carbone étaient d'environ 35 Gt. La même année, les quantités de CO<sub>2</sub> émises par le secteur du numérique étaient estimées à environ 1,76 Gt. À première vue, ce chiffre peut sembler faible par rapport aux émissions mondiales de dioxyde de carbone mais dans l'absolu, cela reste énorme. En effet, le secteur du numérique est, par exemple, plus émetteur que l'aviation. Par ailleurs, la probabilité que le secteur du numérique augmente ses émissions de CO<sub>2</sub> entre 2020 et 2030 s'élève à plus de 80%. À l'avenir, l'impact du secteur du numérique sur le changement climatique risque donc de devenir de plus en plus important alors que cet enjeu reste assez méconnu du grand public. Cela fait donc du secteur du numérique, la face cachée d'un iceberg qui se dirige droit sur nous.

## Pour en savoir plus

- <https://www.youtube.com/watch?v=6YMRB4bgQ-o>
- <https://www.ecoconso.be/fr/content/quelle-pollution-le-numerique-entraîne-t-il-sur-lenvironnement>
- <https://www.notre-environnement.gouv.fr/rapport-sur-l-etat-de-l-environnement/themes-ree/pressions-exercees-par-les-modes-de-production-et-de-consommation/prelevements-de-ressources-naturelles/energie/article/numerique-et-consommation-energetique>

---

<sup>4</sup> L'Internet des objets (IdO) désigne les objets connectés à internet. Il peut s'agir d'ampoules comme de feux de signalisation.

# Changement climatique, quel impact sur les migrations ?

Victoria Delbecq

Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

## La migration, c'est quoi ? Quel est l'impact du changement climatique ?

La migration représente le déplacement de personnes de leur lieu de résidence vers une destination leur offrant généralement de meilleures conditions de vie. Ce déplacement peut se faire à l'intérieur même du pays de résidence, ou il peut se faire de manière internationale. Les populations décident de migrer souvent à la suite de différents facteurs comme économiques, p. ex., suite à une meilleure opportunité de revenu dans le lieu de destination, ou encore géopolitiques, comme p. ex., pour fuir la guerre dans leur pays.

Au cours des dernières décennies, le changement climatique est devenu un facteur de migration de plus en plus important. Mais pourquoi ? Le changement climatique provoque un dérèglement des températures et des événements météorologiques à l'échelle de la planète, intensifiant les catastrophes naturelles et entraînant une augmentation des températures. Des projections montrent qu'énormément de régions du monde vont subir un changement radical dans leur climat : p. ex., en 2070, plus d'un tiers de la population mondiale vivra dans des régions plus chaudes que le désert du Sahara. De manière générale, les événements météorologiques extrêmes, comme les sécheresses ou les inondations, ou encore l'élévation du niveau des mers, deviendront la norme et demanderont une adaptation de la part de la population mondiale.

En 2019, plus de 5 millions de personnes se sont déplacées suite aux conflits présents dans leur pays contre 25 millions de déplacements dus aux désastres naturels. En plus de cet écart important, nous constatons que le nombre de personnes se déplaçant à l'intérieur de leur propre pays est de plus en plus important que le nombre de réfugiés (c.-à-d., des personnes fuyant leur pays pour échapper à un danger comme une guerre ou des persécutions). En 2021,

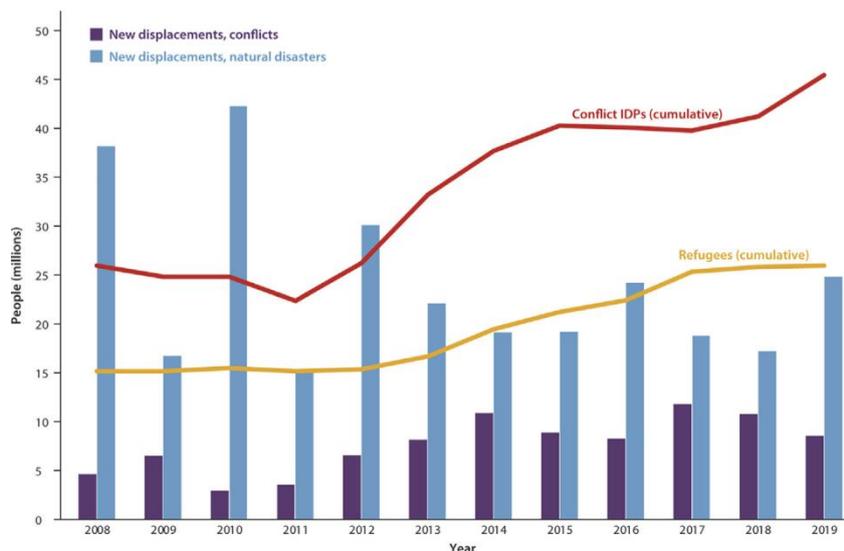


Figure 1 : Taux mondiaux de déplacement dus aux catastrophes naturelles (en bleu) et aux conflits (en mauve). Les courbes représentent l'évolution du nombre de réfugiés (en jaune) et le nombre de personnes qui se déplacent à l'intérieur de leur propre pays (en rouge). La période considérée va de 2008 à 2019 (Source : [Adger et al., One Earth 2020](#)).

38 millions de déplacements internes ont été enregistrés sur l'ensemble du globe, avec pas moins de 23,7 millions de personnes qui se sont déplacées suite à des désastres naturels.

### Quels facteurs climatiques poussent à la migration ?

Comme expliqué précédemment, le changement climatique amplifie les catastrophes naturelles comme les inondations, les sécheresses ou encore les ouragans. L'impact de ces catastrophes dans le temps est différent, c'est pourquoi nous distinguons deux types de facteurs climatiques : ceux à déclenchement rapide ceux à déclenchement lent.

Les évènements à déclenchement rapide se manifestent très rapidement et de manière subite. Dans cette catégorie, nous retrouvons, par exemple, les pluies torrentielles, les ouragans ou encore les inondations. Souvent, les populations partent avant l'arrivée de ces évènements et reviennent par la suite dans leurs lieux de résidence.

Les facteurs à déclenchement lent, comme les sécheresses ou les augmentations de température à la surface de la Terre, provoquent une migration progressive et généralement sans retour en arrière. Les impacts de ces événements sont tellement lents à observer qu'il est difficile de déterminer si le changement climatique est le seul et principal facteur de migration. Les populations les plus touchées sont des populations vivant dans des régions pauvres et qui dépendent de l'agriculture pour leur survie. Ces personnes perdent ainsi progressivement leur principale source de revenu. La migration face à ce type d'évènement est assez différente et la réponse va dépendre du revenu et des économies des personnes.

### Quel type de mouvement de population pouvons-nous observer ?

Dans l'esprit d'un grand nombre de personnes, les migrations sont généralement internationales, mais ceci est loin de représenter la réalité. Les populations qui décident de migrer ne se dirigent pas en premier lieu à l'international, mais vont d'abord migrer au sein de leur propre pays : c'est ce que nous appelons des migrations internes. Ce sont, par exemple, les populations qui se situent dans des zones rurales et qui décident de se diriger vers les zones urbaines les plus proches, comme les villes.

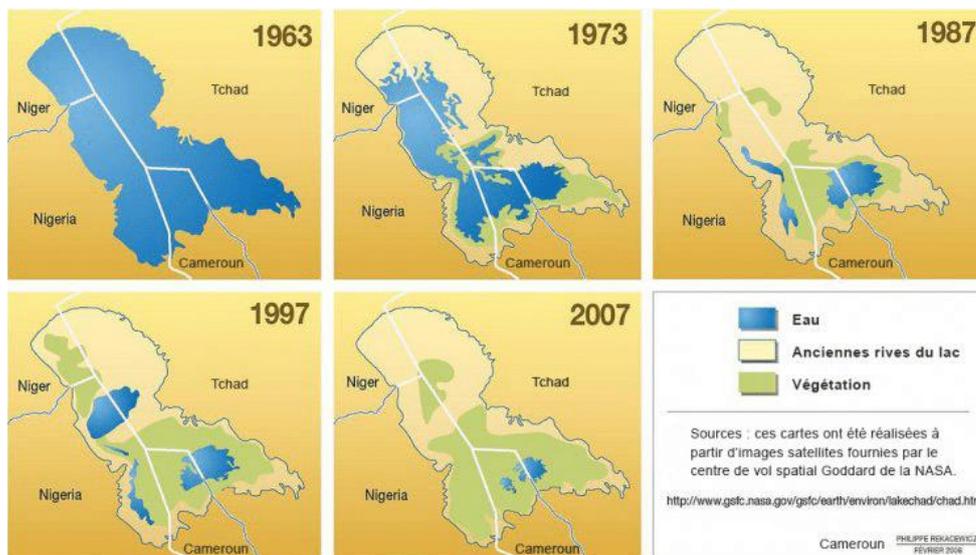
Mais « migration internationale » ou « migration interne » ne sont pas les seuls termes utilisés pour préciser le type de migration. Ainsi, en réponse à un facteur climatique rapide, les populations se déplacent sur du court terme mais également sur des courtes distances, puisque elles vont revenir sur leurs lieux de résidence : nous parlons de *migration temporaire*. Concernant les évènements à déclenchement lent, nous observons deux comportements très distincts : soit les populations regroupent leur peu d'économie et décident de migrer pour atteindre de meilleures conditions de vie (il s'agit alors de *migration permanente*), soit elles ne peuvent pas envisager de migrer par manque de moyens (et nous parlons alors d'*immobilisation*).

### L'exemple du lac Tchad et de son rétrécissement suite aux sécheresses répétées dans la région

Le lac Tchad, se situe au sud du Sahara, entre le Nigéria et le Tchad, et subit de manière importante les conséquences du changement climatique. La région connaît un grand déséquilibre dans ses précipitations, mais également dans ses températures.

Sur 40 ans (entre 1960 et 2000), les taux de précipitations ont diminué de moitié tandis que les températures ont augmenté de 0,2°C à 0,8°C par décennie. Ces deux effets se combinent et ont un impact important sur le Tchad, surtout sur son lac car, d'une part celui-ci voit son apport d'eau diminuer et d'autre part, les fortes chaleurs accélèrent l'évaporation du lac. La conséquence est que le lac s'assèche et perd en superficie (voir Figure 2).

Ce lac étant la seule source d'eau et de revenu pour ces populations (un exemple de revenu peut être la pêche), il est essentiel pour les populations à proximité. Face à son rétrécissement, les populations n'ont pas d'autres choix que de migrer vers les rives du lac qui reculent chaque année pour continuer d'avoir un accès à l'eau encore disponible. Mais pourquoi une migration vers les rives du lac au lieu d'envisager une migration vers une destination offrant de meilleures conditions ? En fait, l'assèchement du lac révèle de nouvelles terres facilement acces-



sibles et extrêmement fertiles, idéales pour les agriculteurs de la région et garantissant toujours une source de revenu, minime soit-elle. De plus, avec une perte de revenu aussi importante, il est difficile d'envisager une migration. Mais derrière cette situation, se cachent des conflits exacerbés par la situation climatique et économique et également une dégradation intense des terres qui participe à l'accélération de la disparition du lac.

La Figure 3 représente une vue par satellite du lac Tchad. Les zones d'eau sont difficilement identifiables due à la forte présence de végétation dans la zone, mais nous pouvons tout de même observer, en vert clair, le lac Tchad (cette image représente son étendue en 2015). Nous retrouvons également, en vert foncé, des zones marécageuses, présentes suite aux différentes crues du lac.

En 2016, la NASA a estimé que le lac pourrait disparaître d'ici 2025, si rien n'est fait pour inverser la tendance. Pour éviter d'arriver à cette situation, les pays dépendants de ce lac réfléchissent à différents projets comme, par exemple, le projet InterBasin Water Transfer (IBWT) qui a pour objectif de transférer de l'eau du bassin du Congo vers le lac Tchad.

### Et le futur, qu'en-est-il ?

L'impact du dérèglement climatique risque de modifier le comportement des migrations : les tempêtes, les incendies et les sécheresses vont provoquer des déplacements plus importants, obligeant une partie des populations de migrer de manière permanente, sans aucun retour en arrière possible. Pour 2030, il est estimé que 140 millions de personnes pourraient migrer suite aux impacts du changement climatique, en sachant que ce nombre implique uniquement les déplacements internes. Pour 2050, l'estimation est de 216 millions de personnes, avec pas moins de 86 millions concernés dans la partie sub-saharienne.



Figure 3 : Image [Landsat](#) du Lac Tchad en 2015. Source : [Google Earth](#), consulté le 01/12/2022)

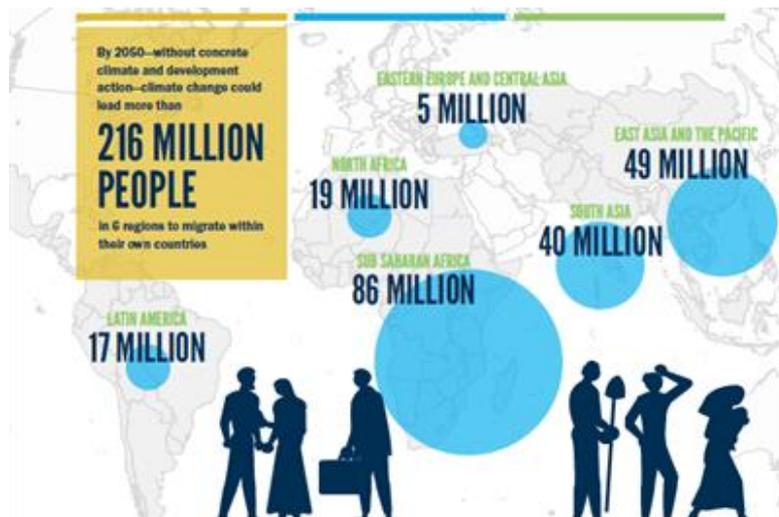


Figure 4 : Cette image montre le nombre de personnes qui auront recours à la migration interne selon différents pays, d'ici 2050, si aucunes actions ne sont réalisées pour diminuer l'impact du changement climatique. (Source : [Rapport Groundswell, Partie 2, Banque Mondiale, 2021](#)).

### Conclusion : que faut-il retenir ?

Le lien entre migration et changement climatique fût longtemps nié, mais avec des conséquences de plus en plus perceptibles, il devient difficile d'ignorer celui-ci comme facteur de migration.

En fonction du facteur climatique, la réponse des populations est différente : face à des facteurs à déclenchement rapide, la migration observée sera plutôt temporaire, contrairement aux facteurs à déclenchement lent où les populations décident de soit migrer de manière permanente, ou soit de rester sur place (immobilisation) car n'ayant pas les moyens de se déplacer. De plus, les migrations internes sont plus importantes que les migrations internationales, s'éloignant des idées reçues et des messages véhiculés par les médias.

Dans un monde futur, le changement climatique va probablement modifier le comportement des populations, augmentant de manière importante les migrations et obligeant les populations à se déplacer plus loin et de manière permanente pour essayer d'échapper à ses conséquences.

La question maintenant est de savoir comment venir en aide à ces populations et quelles sont les adaptations possibles pour celles-ci.

### Pour en savoir plus...

- <https://climat.be/changements-climatiques/consequences/migrations-climatiques>
- <https://www.banquemondiale.org/fr/news/feature/2018/03/19/meet-the-human-faces-of-climate-migration>
- <https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2022/french>
- Sur YouTube : rechercher « François Gemenne migration »

# La place du corail dans un monde changeant

---

*Coline Van Hoegaerden*

*Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »*

## Le corail

Le mot corail est un terme générique désignant un ensemble d'animaux marins fixes composés de polypes. Un corail est donc une colonie de polypes qui s'assemblent et peuvent former un exosquelette commun (Figure 1). Le corail peut prendre toutes sortes de formes différentes, ainsi que de diverses couleurs, et son exosquelette (squelette externe) peut être mou comme dur. Certains sont solitaires, coloniaux ou forment un récif, comme la Grande Barrière de Corail, un des réservoirs majeurs de corail, se situant dans la Mer de Corail au nord-est de l'Australie. On retrouve des coraux à proximité des côtes, dans les eaux chaudes tropicales, mais aussi dans des eaux plus profondes et froides.



Figure 1 : Polypes de corail.  
(Source : [Thierry Rolland](#).)

Le corail présente deux modes de reproduction distincts, selon les conditions dans lesquelles il se retrouve : on distingue la reproduction sexuée et la **reproduction asexuée** (Figure 2). Cette dernière est le mode de reproduction privilégié quand les conditions de vie sont bonnes, c'est-à-dire, quand l'organisme se trouve dans un environnement où les propriétés physico-chimiques sont optimales. Cette reproduction se fait soit par **bourgeoisement**, auquel cas une excroissance d'un polype « parent » forme un clone de lui-même, qui va ensuite se décrocher, soit par **fragmentation**, c'est-à-dire qu'un morceau de la colonie se décroche, suite à une action humaine ou un phénomène naturel tel une tempête, et va être emporté par le courant pour se déposer sur un nouveau substrat. La **reproduction sexuée** se fait grâce à un polype mâle et un polype femelle produisant des gamètes. Généralement les colonies sont composées uniquement de polypes femelles ou uniquement de polypes mâles, et parfois, la colonie peut être hermaphrodite. Lorsque la fécondation est externe, les gamètes mâles et femelles sont lâchés dans la colonne d'eau en vue de se rencontrer et de former une larve issue de la fécondation. Cette larve est capable de se déplacer localement, de se poser sur un nouveau substrat et peut dès lors former une nouvelle colonie par reproduction asexuée. Lorsque la fécondation est interne, les gamètes mâles sont relâchés par les coraux émetteurs et vont à la rencontre des gamètes femelles se trouvant dans des coraux incubateurs. Ce type de reproduction permet la conquête de nouveaux habitats potentiels pour l'espèce et assure une diversité génétique.

## Blanchiment de corail

Blanchiment, aussi appelé blanchissement, est le processus de perte de couleur d'un organisme. Ce processus n'est pas spécifique au corail, mais peut affecter tous les organismes vivant en symbiose avec une algue de type dinoflagellé. Deux situations peuvent se présenter. La première : en situation de stress, l'algue symbiotique peut être expulsée. Suite à la perte de cette algue, l'organisme perd sa couleur. La deuxième : il y a une perte des pigments algaux.

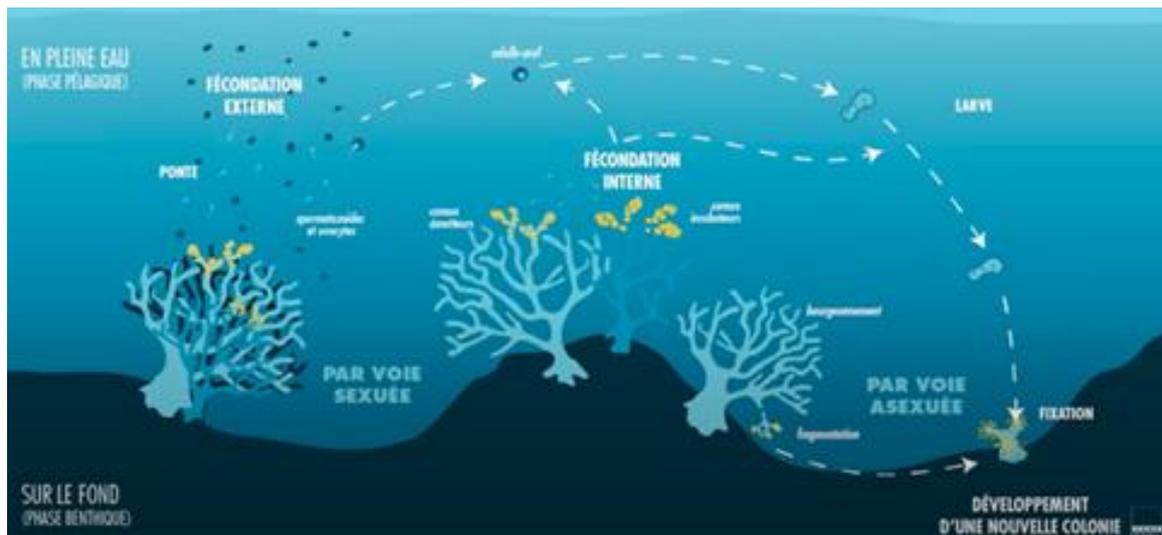


Figure 2 : Reproduction du corail. (Source : [Institut océanographique de Monaco.](http://www.oceanographic-museum.com))

Pourquoi les coraux apparaissent-ils donc blancs ? Les coraux ont un exosquelette fait de carbonate de calcium. Lorsqu'ils perdent leur couleur, ils apparaissent donc blancs. D'autres organismes, quant à eux, peuvent apparaître plutôt translucides ou transparents.

Plusieurs éléments déclencheurs sont à l'origine de ce blanchiment, les plus importants étant : les changements de températures, une radiation solaire plus importante, de l'obscurité prolongée, la présence de métaux lourds (particulièrement du cuivre et du cadmium) et l'augmentation de l'acidité de l'océan. De plus, une combinaison de ces événements ainsi qu'une pollution chronique provenant majoritairement du ruissellement d'eau, provenant de l'agriculture et contenant des pesticides par exemple, et la présence de micro-organismes pathogéniques contribuent fortement à ce processus.

Le corail ne meurt pas directement du blanchiment, mais devient plus susceptible aux maladies et moins résistant à d'autres stress, conduisant dès lors à leur mort. Le blanchiment peut amener d'autres effets négatifs, tels que des problèmes liés à la reproduction comme des dysfonctionnements des gamètes ou encore des anomalies dans le développement de polypes.

### Le corail, quels bénéfices pour l'Homme ?

Le corail présente de nombreux avantages pour d'autres animaux, ainsi que pour l'humain. Bien qu'il ne couvre que 0,2% de la surface marine, il abrite 30% de la biodiversité marine. Certaines espèces ne peuvent survivre que dans cet écosystème spécifique et sa dégradation entraînerait un déclin de biodiversité majeur.

Les récifs coralliens absorbent 97% de l'énergie des vagues et contribuent donc à préserver les côtes des grandes vagues, de la houle ainsi que des tsunamis. Ils sont donc des barrières naturelles contre les dangers potentiels liés à la mer pour les populations vivant sur les côtes comme l'illustre la Figure 3. Cela concerne une grande partie de la population puisque près de 40% de la population mondiale vit jusqu'à 100 km des côtes.

Le corail représente aussi une source de revenus économique. Plusieurs millions de touristes font le déplacement chaque année pour visiter la Grande Barrière de Corail, amenant une source de revenus pour bon nombre de populations. De plus, des millions d'individus survivent grâce à la pêche issue des bancs de poissons provenant des récifs coralliens. Une dégradation massive des récifs coralliens mènerait à la perte d'emplois pour de millions de personnes et une perte économique considérable pour les pays concernés.

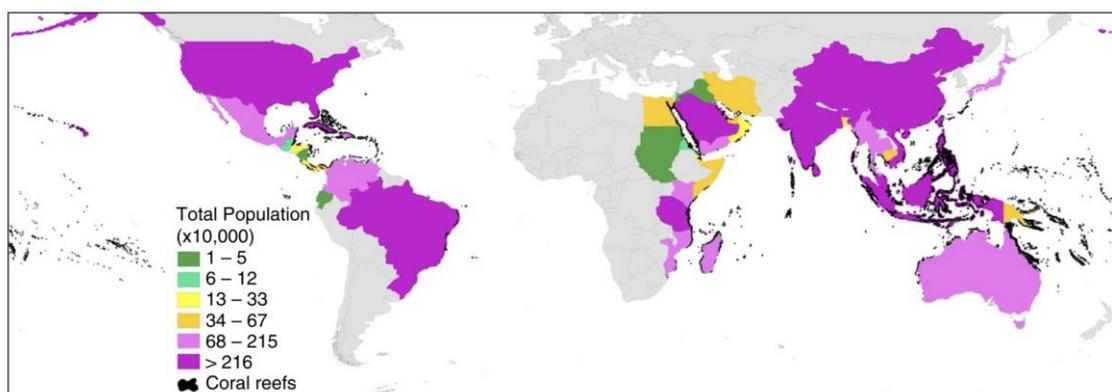


Figure 3. Nombre de personnes qui bénéficient des réductions de risque grâce aux récifs coralliens par pays. Les pays en gris ne sont pas concernés ou ne possèdent pas de données. (Source : [Ferrario et al., Nat. Commun. 2014](#))

### Changement climatique et corail

Le corail est fortement touché par le changement climatique et la disparition des récifs coralliens mettrait en péril la vie de toute une faune aquatique ne pouvant survivre que dans cet écosystème particulier, et impacterait la vie de millions de personnes bénéficiant d'une protection naturelle des coraux et trouvant un revenu dans leur exploitation.

Une perturbation des récifs coralliens entraîne subséquemment une perturbation des chaînes alimentaires aquatiques. En conséquence, certaines espèces viendraient à fuir à la recherche d'un nouvel habitat, qui pourrait répondre à leurs besoins. La mortalité des coraux est aussi accrue par une étoile de mer, *Acanthaster planci*, ainsi que d'autres prédateurs corallivores. Cette étoile de mer prolifère rapidement et ne possède que peu de prédateurs naturels en raison de sa grande toxicité et des grandes épines qu'elle possède. Les raisons d'épisodes d'explosion du nombre d'individus de cette espèce sont encore à l'étude, mais l'hypothèse de la pollution des eaux est la plus acceptée pour le moment.

Les épisodes de plus en plus fréquents de blanchiment de masse du corail (1998, 2002, 2016, 2017, 2020, 2022, rien que dans la Grande Barrière de Corail) sont un indicateur clair et visible du changement climatique et montrent que ces changements sont bien un problème actuel.

Cependant, il semble que les coraux ayant déjà survécu à des épisodes de blanchiment seraient plus endurants et plus aptes à survivre lors d'épisodes ultérieurs. Les scientifiques pensent que les coraux pourraient être capables de s'acclimater aux hausses de températures des mers et des océans. Néanmoins, des inquiétudes subsistent quant à la vitesse d'acclimatation des coraux face à la vitesse de la hausse des températures.

### Solutions

La situation du corail en déclin préoccupe les scientifiques, ainsi que les activistes depuis de nombreuses années déjà. La reconstruction naturelle des récifs peut parfois être rapide (en quelques mois), mais peut prendre jusqu'à plusieurs années pour se remettre totalement, ce qui ne leur permet souvent pas de survivre à des épisodes de blanchiment à des intervalles de plus en plus courts. Des techniques de reconstruction de corail comme la coraliculture, qui consiste à faire de la culture de corail et à protéger les jeunes coraux, au moment où ils sont les plus vulnérables, ont été développées. Les coraux y sont reproduits, par bouturage notamment, en nurseries pour être par la suite réimplantés dans leurs habitats naturels.

Des groupes de bénévoles et d'activistes agissent, déjà depuis des dizaines d'années, afin de sensibiliser et donner des ressources aux acteurs du monde marin afin de gérer, protéger, conserver et restaurer les récifs coralliens dans un climat changeant.

## Pour en savoir plus

- Institut océanographique – L’océan en questions, thème corail  
[https://www.oceano.org/ocean-en-questions/?fwp\\_thematiques\\_questions=corail](https://www.oceano.org/ocean-en-questions/?fwp_thematiques_questions=corail)
- UNESCO - La Grande Barrière : <https://whc.unesco.org/fr/list/154/>
- Reef Resilience Network: <https://reefresilience.org/about-us/>
- Ocean quest: <https://www.oceanquest.global/about-us/>