

Découvrez les principaux aspects du changement climatique grâce à l'exposition conçue par *L'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique* en partenariat avec l'institut Pierre-Simon Laplace et Météo-France, avec le soutien actif du ministère de la Transition écologique et solidaire.

LE CLIMAT CHANGE

9 panneaux
pour comprendre :

les dernières avancées scientifiques,

synthétisées dans

le 5^e rapport d'évaluation du GIEC

et dans les rapports des équipes françaises

de recherche sur le climat.

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON OBSERVE

LE CLIMAT CHANGE > LES OUTILS DE LA CONNAISSANCE

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON OBSERVE

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON PROJETTE

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON OBSERVE

LE CLIMAT CHANGE > LES OUTILS DE LA SIMULATION

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON EXPLIQUE

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON PEUT FAIRE



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

ONERC
Observatoire national
sur les effets du
réchauffement climatique



Sciences de
l'environnement
**Institut
Pierre
Simon
Laplace**



LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON OBSERVE

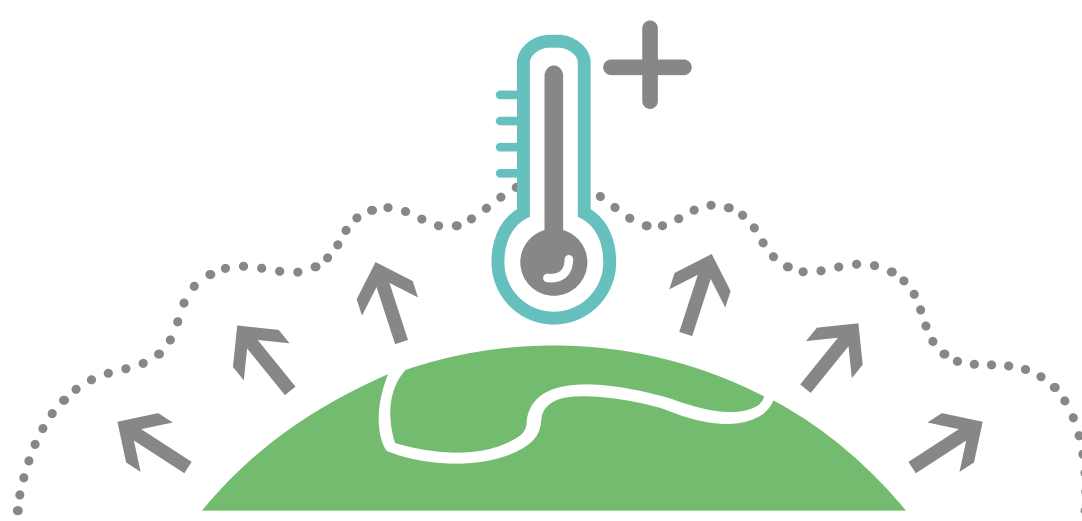
Aujourd'hui, l'influence de l'homme sur le réchauffement de la Terre est clairement établie. Des changements sont observés dans toutes les composantes du climat, atmosphère, océan, glaces, végétation, et dans toutes les régions du monde.

ATMOSPHÈRE



1981-1990 → 1991-2000 → 2001-2010

Chacune des **trois dernières décennies** a été successivement plus chaude que toutes les décennies précédentes depuis 1850.



Le réchauffement de **la troposphère** (la couche la plus proche de la Terre), est un phénomène exceptionnel par son intensité et par son aspect global à l'échelle historique.



La température moyenne mondiale à la surface de la terre et de l'océan a augmenté de **0,85 °C** depuis **1880**.



Dans l'hémisphère Nord, **1983-2012** a probablement été la période de 30 ans la plus chaude des 1400 dernières années.

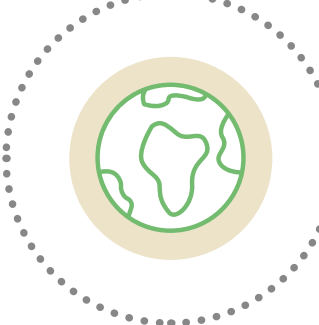
CLI-MOTS

Atmosphère



C'est l'enveloppe gazeuse de la Terre. L'atmosphère sèche est composée presque entièrement d'azote et d'oxygène. Elle contient aussi des gaz à l'état de trace (dioxyde de carbone, méthane...), des particules naturelles, ainsi que des particules dues aux activités humaines. L'atmosphère est le lieu des échanges de rayonnement entre la Terre et l'espace et de nombreuses rétroactions.

Troposphère



C'est la partie inférieure de l'atmosphère, qui s'étend de la surface de la Terre jusqu'à environ 10 km d'altitude aux latitudes moyennes. C'est là où se forment les nuages et se produisent les phénomènes météorologiques.

Stratosphère



Située au-dessus de la troposphère, elle s'étend de 10 à 50 km d'altitude.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Il y a 21 000 ans environ, pendant la période la plus froide de la dernière ère glaciaire, la température était inférieure de 5 °C à celle que nous connaissons et les océans étaient 120 mètres plus bas. La sortie de l'ère glaciaire s'est faite sur 5 000 ans. Aujourd'hui, nous risquons de connaître un changement de même amplitude à l'échelle d'une vie humaine.

Un *haboob* (tempête de sable) au Mali.

ÉPISODES EXTRÊMES

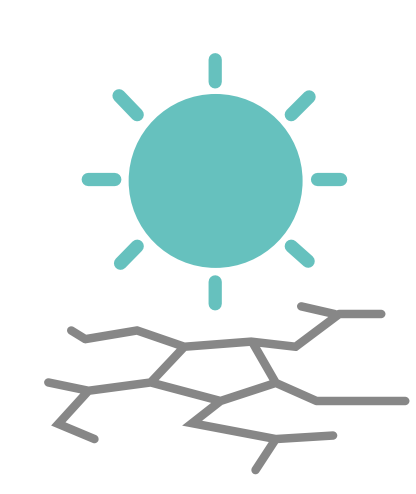
Des **modifications** de la fréquence et l'intensité de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes sont observées depuis 1950, date du début des mesures météorologiques. Ces phénomènes ne sont pas les mêmes partout. La tendance au réchauffement s'accompagne d'une augmentation des vagues de chaleur sur tous les continents. Selon les zones géographiques, il peut s'agir aussi de sécheresse des sols, de submersions marines ou de fortes précipitations.



Le nombre de cyclones les plus intenses a augmenté en Atlantique nord depuis 1970. Ailleurs, aucune tendance n'a été établie pour l'évolution de la fréquence et de l'intensité des tempêtes.



Une troposphère plus chaude peut transporter plus d'humidité, un océan plus chaud favorise l'évaporation, mais les changements de circulation atmosphérique peuvent conduire à une baisse des pluies en certains endroits alors que les précipitations augmentent ailleurs.



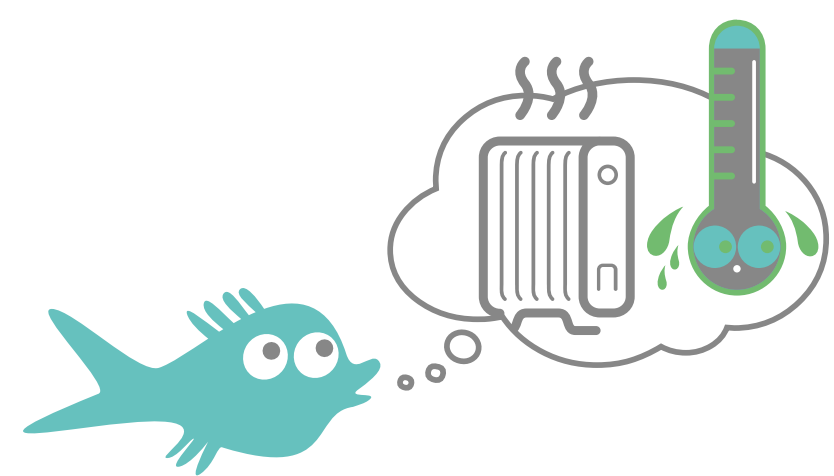
La fréquence et l'intensité des précipitations intenses ont augmenté en Amérique du Nord et en Europe.



LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON OBSERVE

Le bilan énergétique de notre planète est de plus en plus élevé : le système Terre/océan/atmosphère reçoit davantage d'énergie qu'il n'en renvoie vers l'espace.

OCÉANS



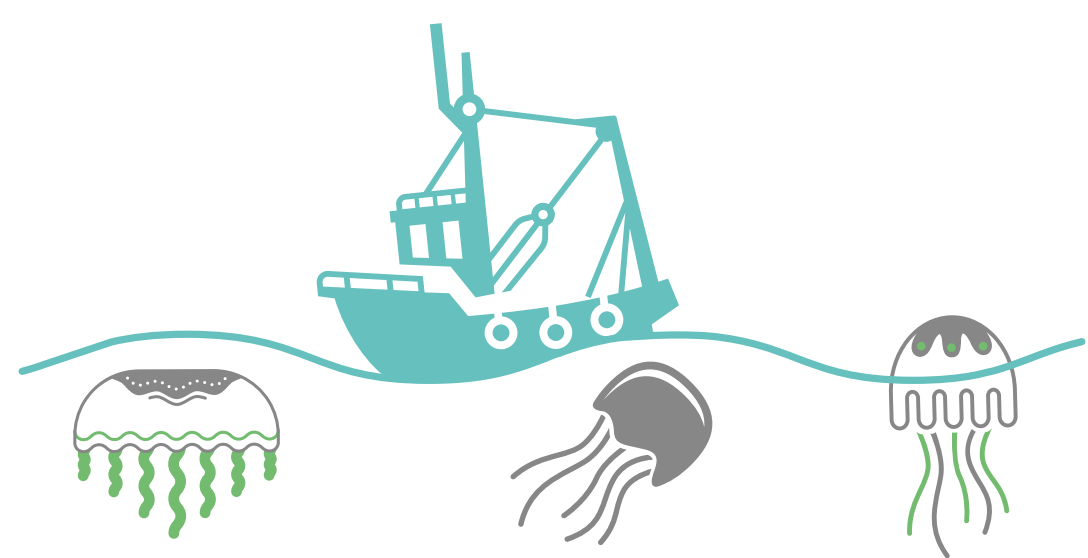
Hausse de la température

La surface de l'océan, jusqu'à 75 mètres de profondeur, s'est réchauffée de plus de **0,1 °C par décennie** depuis 1971. Le réchauffement diminue avec la profondeur, mais s'étend jusqu'à -2000 m.



Élévation du niveau moyen des mers

La hausse moyenne est de **20 cm** entre 1900 et 2013. La vitesse de cette hausse s'accroît, atteignant 3,2 mm par an entre 1993 et 2013. La montée du niveau des mers est due pour 1/3 à la dilatation de l'eau, pour 1/3 à la fonte des glaciers et pour 1/3 à l'écoulement des calottes.



Acidification des eaux de surface

26% des émissions anthropiques de CO₂ ont été absorbées par l'océan, entraînant son acidification : dans l'eau de mer, le CO₂ se transforme en acide carbonique. L'acidification des dernières décennies est **dix fois plus rapide** que les variations des 55 derniers millions d'années.

CLI-MOTS

Cryosphère

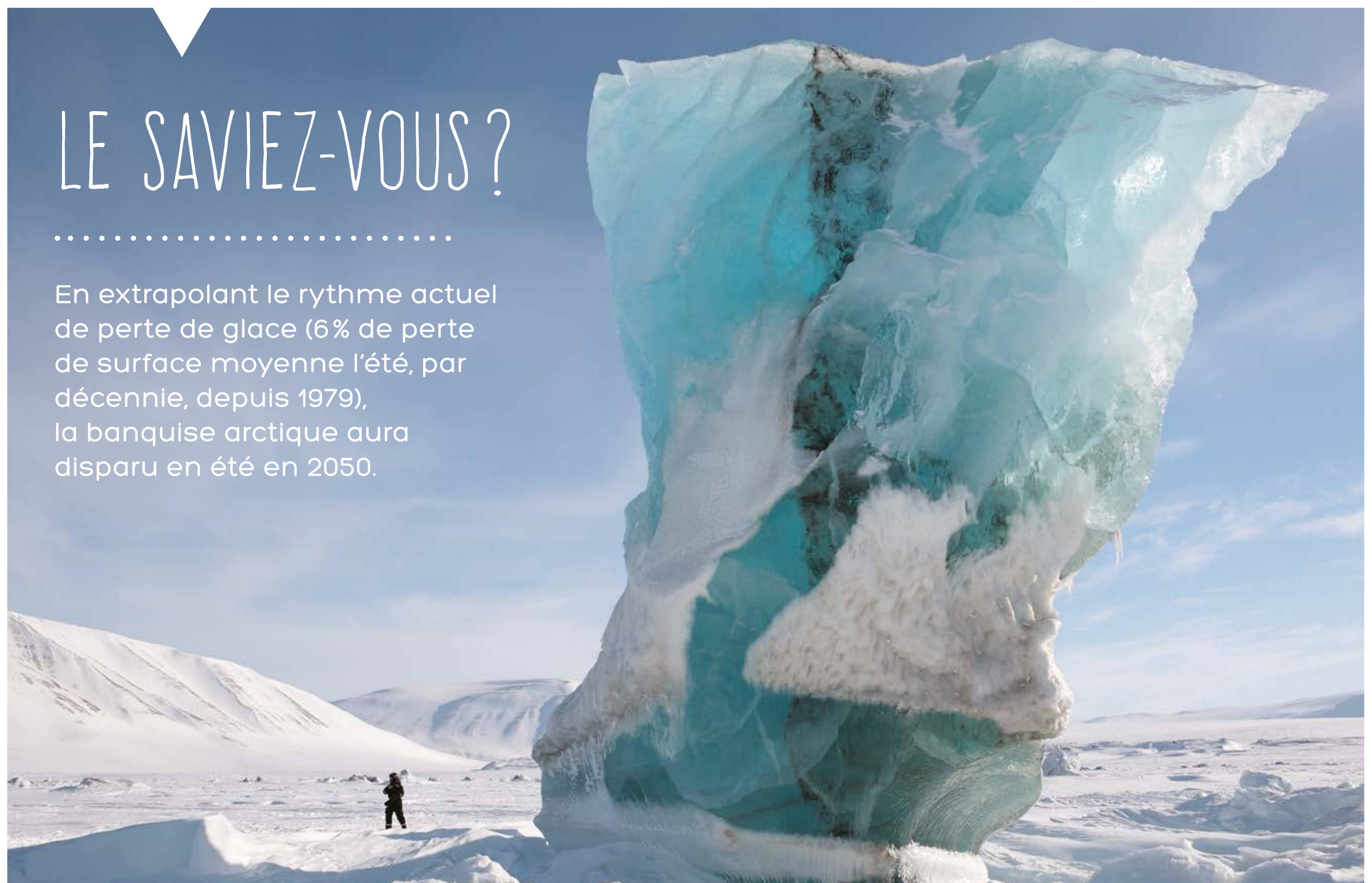
C'est l'ensemble des glaces à la surface de la Terre. Elle comprend les grandes calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland, les glaciers de montagne, le pergélisol et la banquise.

Pergélisol ou permafrost

Zone du sol ou du sous-sol gelée toute l'année et complètement imperméable, rencontrée dans les régions arctiques ou subarctiques.

LE SAVIEZ-VOUS ?

En extrapolant le rythme actuel de perte de glace (6% de perte de surface moyenne l'été, par décennie, depuis 1979), la banquise arctique aura disparu en été en 2050.



Fragments de glaciers, les icebergs sont constitués d'eau douce.

CRYOSPHERE

Accélération de la perte de masse d'eau des glaciers

La fonte des glaciers atteint une vitesse de **300 milliards de tonnes par an**. Entre 1971 et 2009, la perte moyenne annuelle a été de 226 milliards de tonnes. Les glaciers sont déjà en dehors de leur zone d'équilibre, ce qui veut dire que même sans augmentation de température supplémentaire leur fonte se poursuivra.

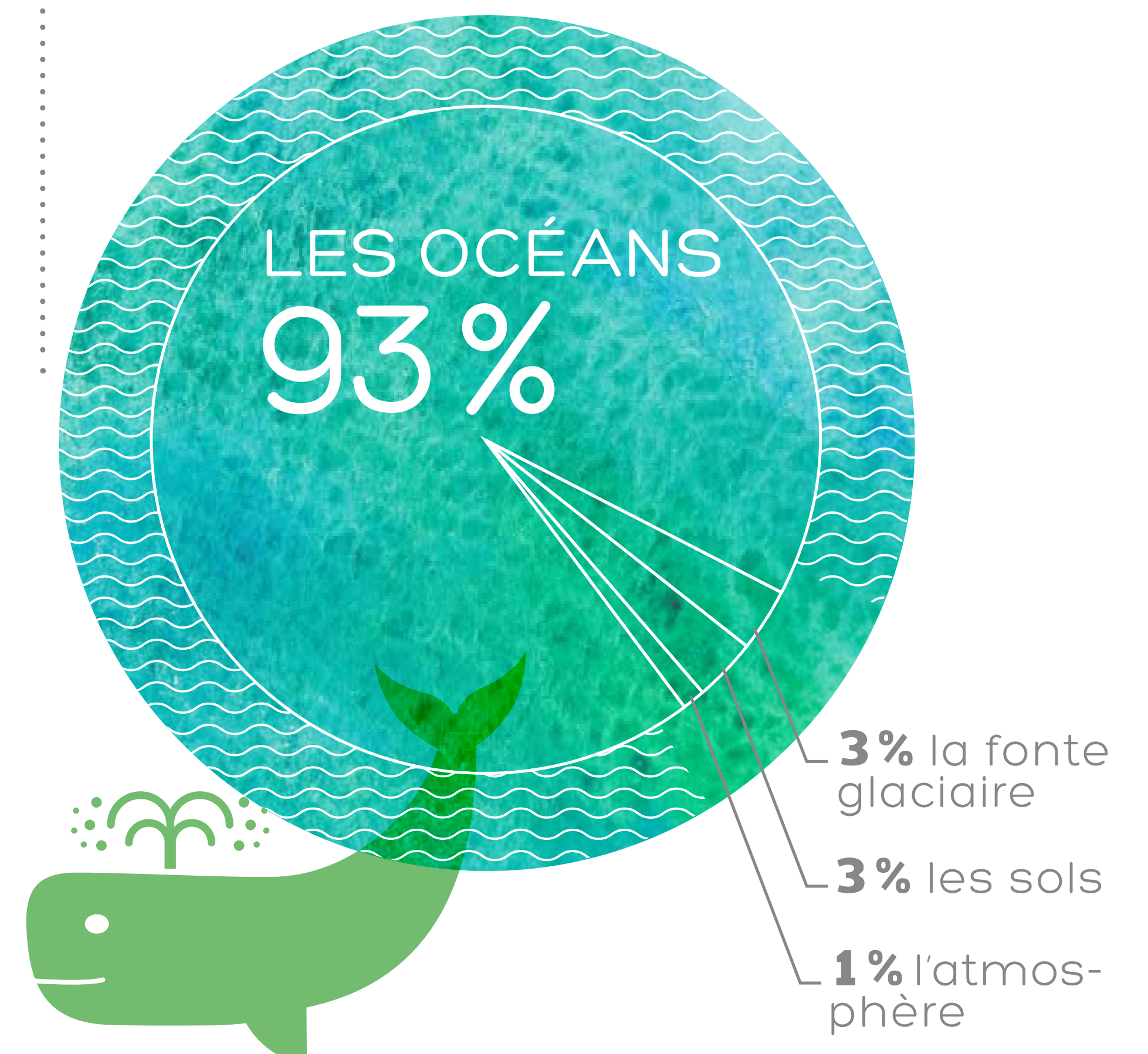
Diminution de la banquise arctique

La rapidité de cette fonte est sans précédent depuis plus de 1000 ans. L'épaisseur moyenne de glace a diminué d'environ **2 m** entre **1980** et **2008**. La fonte de la banquise ne contribue pas à la hausse du niveau marin (il s'agit d'eau de mer gelée), mais elle a des effets importants sur les écosystèmes et les activités humaines.

Fonte de la neige et dégel du pergélisol

Les surfaces enneigées de l'hémisphère Nord sont de moins en moins étendues, principalement **au printemps**. Le réchauffement est plus fort dans les zones les plus froides. Les températures du pergélisol augmentent, entraînant une réduction sensible de son épaisseur et de son étendue depuis 1975. Les installations humaines des hautes latitudes sont particulièrement exposées à ce phénomène.

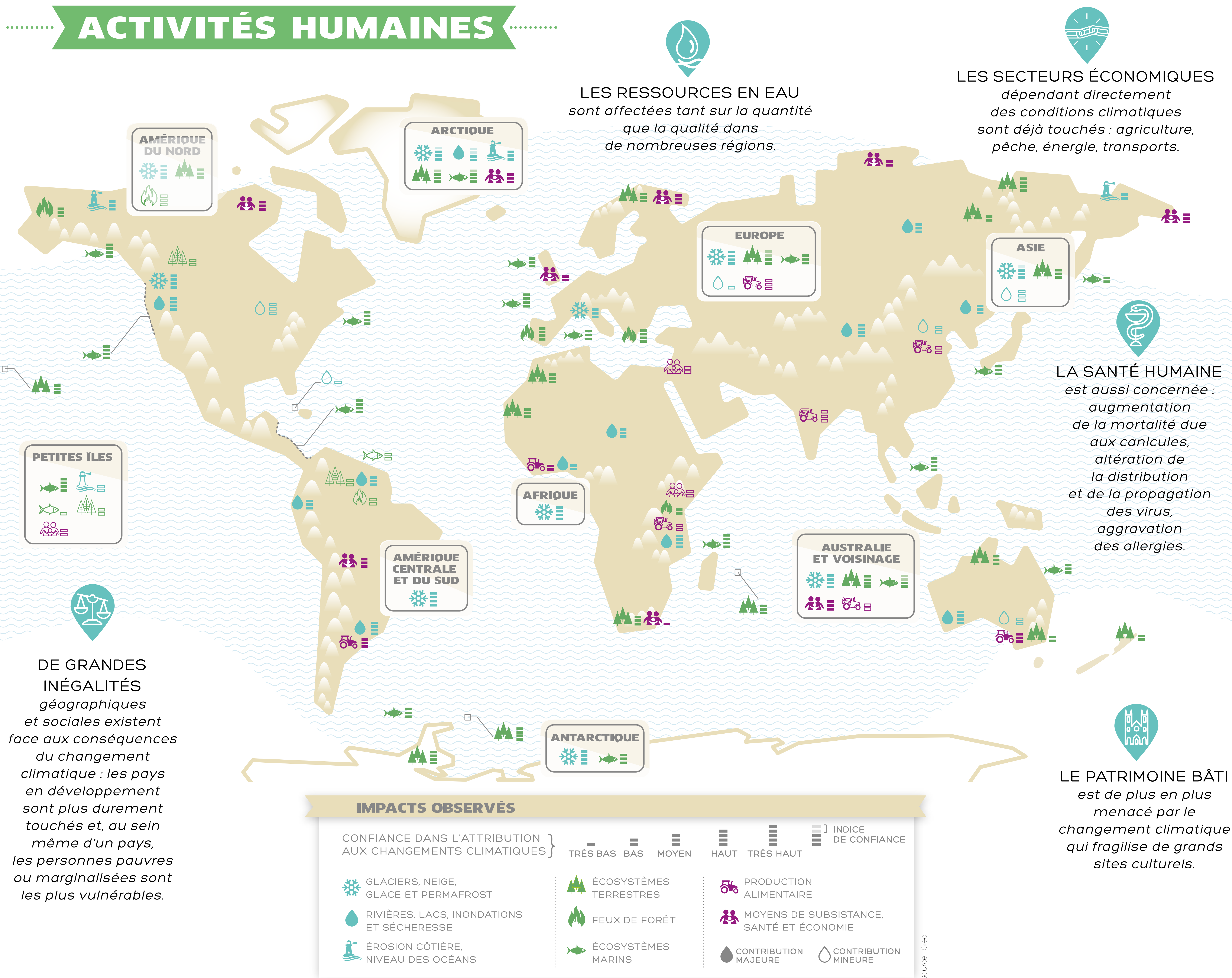
LE SYSTÈME CLIMATIQUE ACCUMULE DE L'ÉNERGIE SUPPLÉMENTAIRE DEPUIS 1950. CE SURPLUS D'ÉNERGIE EST ABSORBÉ PAR :





LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON OBSERVE

ACTIVITÉS HUMAINES



BIODIVERSITÉ

Les changements climatiques se produisent à un rythme trop rapide pour que certains écosystèmes terrestres et marins puissent spontanément s'adapter.



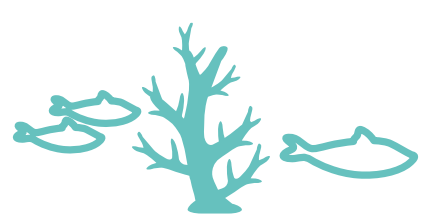
Des forêts dépérissent



Des espèces migrent, cherchant à retrouver un climat plus propice.



L'activité saisonnière des espèces (animales et végétales) et certains équilibres entre proies et prédateurs se modifient.



Les océans s'appauvrissent en oxygène. La croissance des coraux est perturbée.



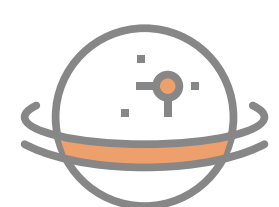
LE SAVIEZ-VOUS ?

Un réchauffement de 1°C en un endroit implique, pour retrouver la température initiale, un déplacement de 180 km vers le nord en plaine en Europe ou de 150 m en altitude. On observe déjà des déplacements d'espèces vivantes de plusieurs dizaines de kilomètres en direction des pôles. Le plus impressionnant étant le phytoplancton avec près de 400 km en 10 ans.

LE CLIMAT CHANGE > CE QUE L'ON EXPLIQUE

Le climat de la Terre a toujours changé et il a traversé naturellement plusieurs cycles de réchauffement et de refroidissement planétaire durant les 800 000 dernières années. Mais les facteurs naturels ne permettent pas d'expliquer à eux seuls l'ampleur, la rapidité et les caractéristiques des changements climatiques actuellement observés sur la planète.

FACTEURS ET RÉTROACTIONS NATURELS



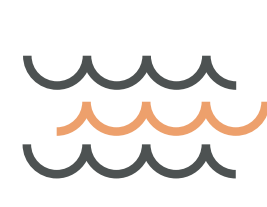
Facteurs astronomiques

Variations des paramètres orbitaux, cycles de l'activité solaire, collisions avec des astéroïdes ou des comètes. Les échelles de temps de ces phénomènes sont de plusieurs milliers d'années.



Facteurs géologiques

Dérive des continents, changements dans la topographie des fonds océaniques, éruptions volcaniques (la durée de leur impact, refroidissant, varie de un à trois ans).



Rétroactions océaniques

Changements dans la circulation océanique, variations du niveau de la mer, formation de glace. Les échanges de chaleur ont une grande inertie dans l'océan comparativement à l'atmosphère où les échanges sont rapides.



Rétroactions terrestres

Effet de la végétation et de l'enneigement sur l'albédo de la surface (réflexion de la lumière), évapotranspiration, effets des plans d'eau.



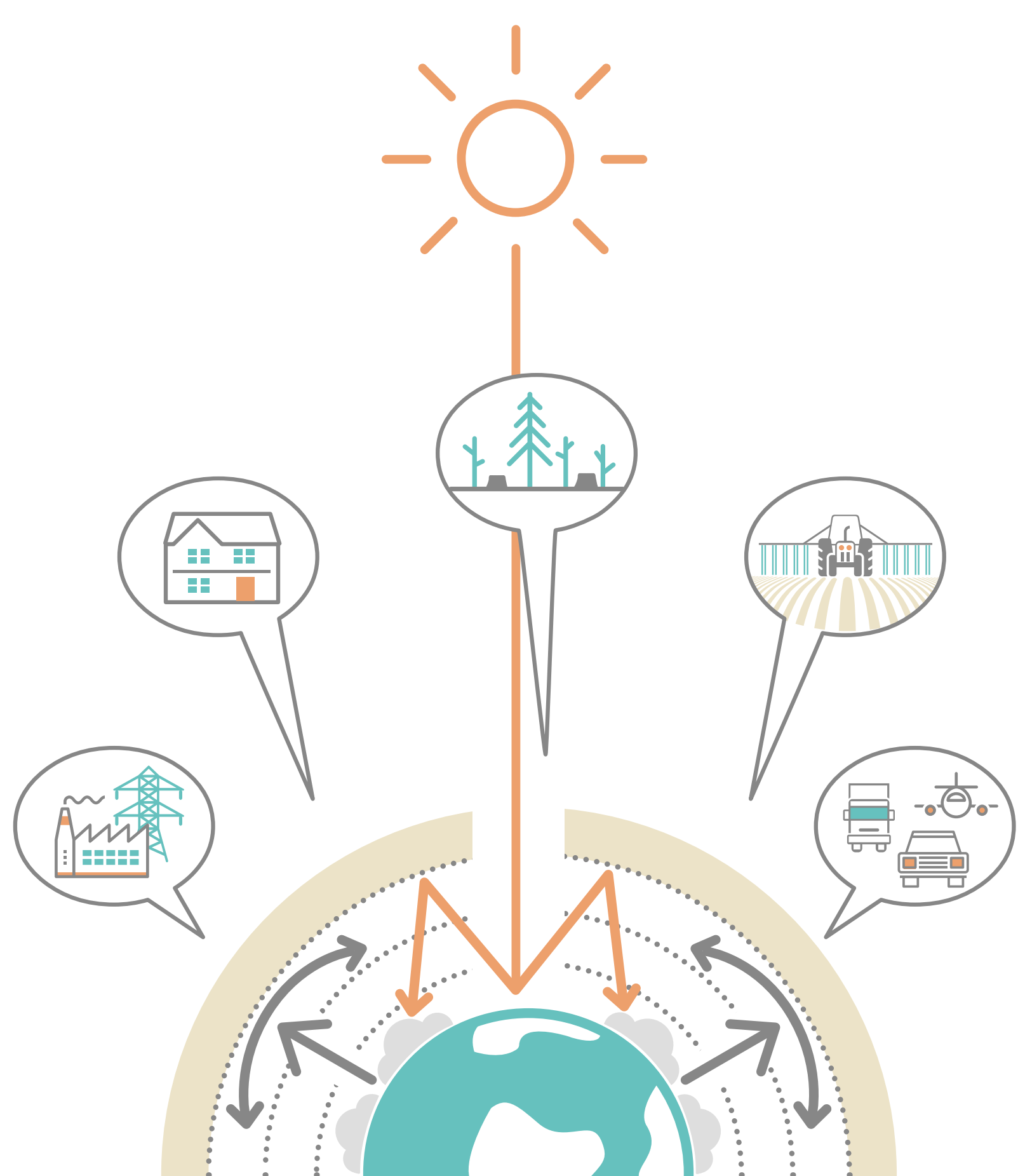
Rétroactions atmosphériques

Effet de serre, couche nuageuse, interactions entre l'air, la terre et la mer...

L'influence simultanée de l'ensemble de ces facteurs et rétroactions produit la variabilité interne du climat.

RESPONSABILITÉ

HUMAINE



Un effet de serre additionnel

Les variations climatiques naturelles sont perturbées par les activités humaines :

- utilisation de combustibles fossiles,
- changements d'utilisation des terres,
- procédés industriels...

Celles-ci provoquent **artificiellement** l'augmentation des concentrations de **gaz à effet de serre** dans l'atmosphère et, par conséquent, accentuent le réchauffement de notre planète.

CLI-MOTS

Rétroaction

C'est une action sur le climat induite par la modification d'une composante du système climatique préalablement modifiée par le changement climatique. Une rétroaction est qualifiée de positive si elle tend à amplifier le réchauffement et négative si elle tend à le réduire.

Effet de serre

La Terre reçoit toute son énergie du soleil. Une partie est réfléchiée directement vers l'espace. Une autre partie est absorbée par la surface (terrestre et océanique) et l'atmosphère, et réémise sous forme de rayonnement infrarouge. Les gaz à effet de serre entravent l'évacuation de ce rayonnement. C'est l'effet de serre.

400  PARTIES PAR MILLION (PPM)

C'EST LA CONCENTRATION DE CO₂ ATMOSPHÉRIQUE ENREGISTRÉE EN 2015. UN RECORD DEPUIS LES 800 000 DERNIÈRES ANNÉES.



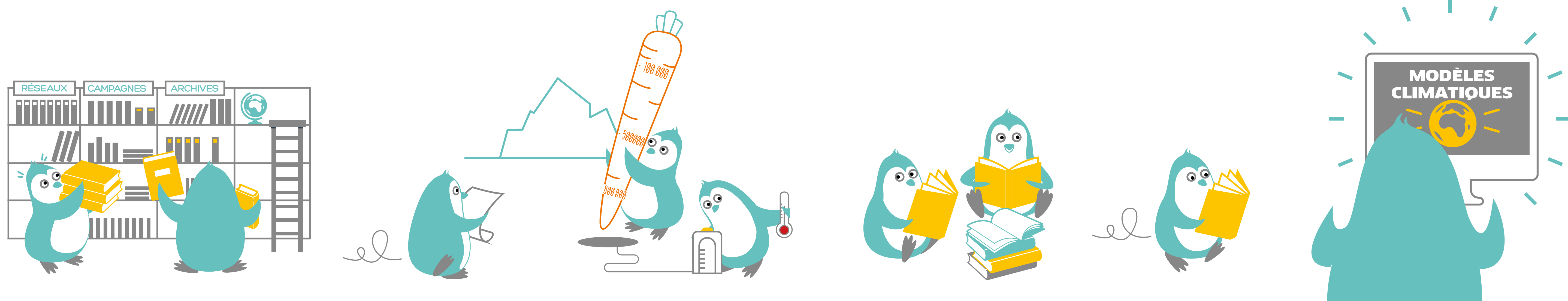
Les concentrations actuelles de 3 gaz à effet de serre - dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄) et protoxyde d'azote (N₂O) - dépassent significativement les niveaux de concentrations enregistrés dans les carottes de glace. Le rythme d'augmentation des taux moyens de ces trois gaz au cours du dernier siècle est sans précédent par rapport aux 22 000 dernières années.

La pollution, qui assombrit la surface de la glace, accélère sa fonte.

LE CLIMAT CHANGE > **LES OUTILS
DE LA CONNAISSANCE**

RÉSEAUX D'OBSERVATION

D'autres dispositifs, comme les radars de précipitations, les détecteurs de foudre ou les marégraphes donnent des informations spécifiques.



CAMPAGNES DE TERRAIN

ARCHIVES PALÉOCLIMATIQUES

Les récifs coralliens fournissent des données sur les eaux océaniques superficielles. Ils forment des séries géologiques continues couvrant jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années.

de stockage des supercalculateurs sont des éléments limitant la complexité des calculs. Les simulations des différents modèles développés dans le monde sont régulièrement comparées dans le cadre du programme mondial de recherches sur le climat.

A wide panoramic photograph of a savanna landscape. The foreground is a dry, golden-brown field. Several large, spreading trees with green foliage are scattered across the middle ground. In the background, there are low mountains under a vast, cloudy sky.



TEMPÉRATURE

Augmentation de la température

À l'horizon 2100, le réchauffement pourrait atteindre environ **1,5 °C** par rapport à l'époque préindustrielle, selon le scénario d'atténuation drastique. Il pourrait atteindre environ 4°C si l'on ne fait rien pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

AGRICULTURE

Le changement climatique pourrait avoir des incidences importantes à court et à long termes dans les zones rurales, en influant sur la disponibilité et l'approvisionnement en eau, sur la sécurité alimentaire, notamment en provoquant des déplacements des zones de production de cultures.



PLUIES EXTRÊMES

Il est très probable que les événements météorologiques extrêmes s'intensifient. Les quantités de pluies extrêmes par jour dans une année devraient augmenter de **5 % pour chaque degré d'augmentation** de la température locale, avec de grandes variations selon les régions.



EAU

Les structures spatiales devraient rester semblables, mais le **contraste** entre saisons sèches et humides devrait s'accroître. Les régions humides verront une augmentation des précipitations, tandis que les régions sèches seront encore moins arrosées.



CRYOSPHERE

Diminution de l'étendue de la cryosphère

La banquise arctique diminuera quel que soit le mois de l'année, avec un effet beaucoup plus fort en septembre. Il pourrait ne plus y avoir de glace en Arctique en septembre avant le milieu du siècle. De plus, une diminution de l'étendue neigeuse de printemps dans les hautes latitudes et une réduction de la surface neigeuse dans l'hémisphère Nord sont très probables.



OCÉAN

Si le seuil d'augmentation de la température (entre 2 et 4 °C) est dépassé, c'est toute la glace du Groenland qui risque de fondre, entraînant une hausse du niveau des océans de 7 m pour le prochain millénaire.

Le réchauffement va se poursuivre, perturbant la circulation océanique. Le réchauffement le plus fort s'opérera en surface, dans les régions tropicales et subtropicales de l'hémisphère Nord (de 0,6 à 2°C selon le scénario) et en profondeur dans l'océan austral (de 0,3 à 0,6°C).

Tous les scénarios sont en accord sur un plus grand stockage dans l'atmosphère et dans l'océan des émissions anthropiques de CO₂. L'océan va donc s'acidifier.

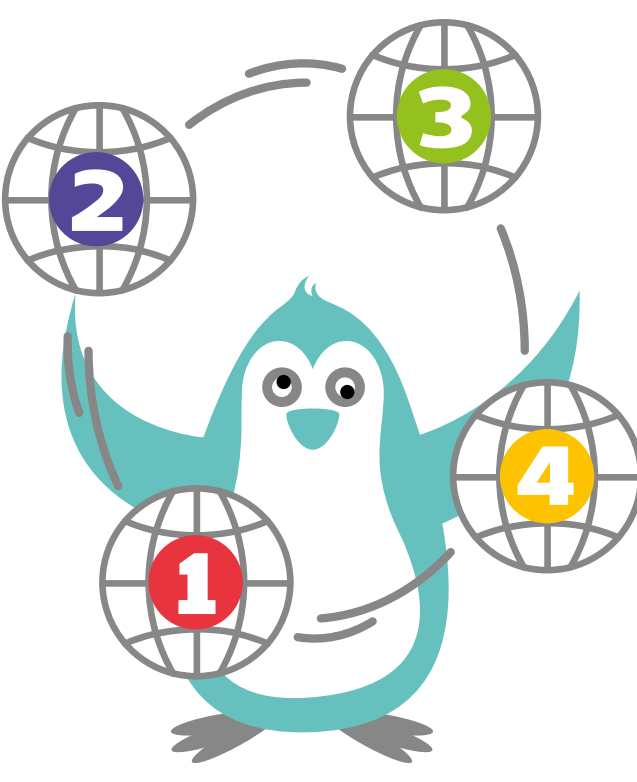
CLI-MOTS

Compte tenu de la très grande inertie du système climatique, les changements qui ont commencé à s'opérer auront des répercussions pendant plusieurs siècles. Le changement climatique projeté est dû aux émissions passées, actuelles et futures. Il est en partie irréversible : même si l'on parvient à stopper nos émissions, la température restera à un niveau élevé pendant plusieurs siècles.



LE CLIMAT CHANGE > LES OUTILS DE LA SIMULATION

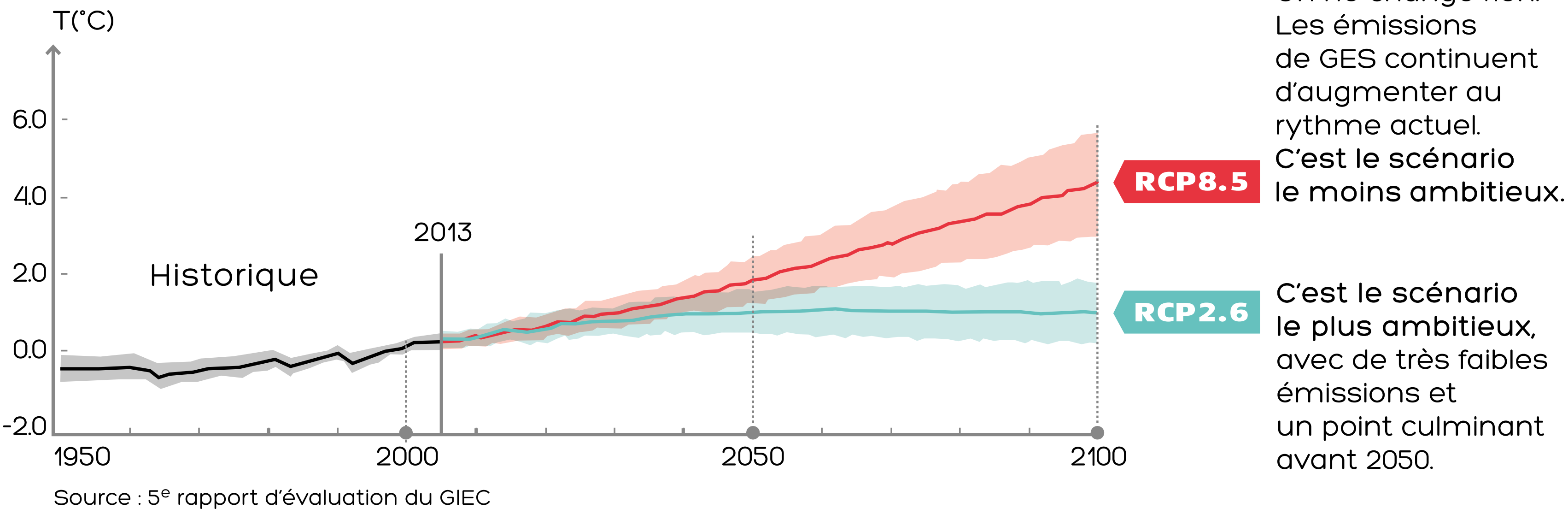
Les futurs possibles pour le climat dépendent de l'évolution démographique et économique de la société (représentés par les scénarios socio-économiques), de la réponse du climat (représentée par les modèles numériques) et de la variabilité interne du système climatique (chaos).



4 SCÉNARIOS

DU + AU - AMBITIEUX
RCP 2.6 • RCP 4.5 • RCP 6.0 • RCP 8.5

ÉVOLUTION DE L'ANOMALIE DE TEMPÉRATURE MOYENNE DU GLOBE, EN SURFACE, DE 1950 À 2100, SIMULÉE PAR L'ENSEMBLE DES MODÈLES DE CLIMAT POUR DIFFÉRENTES FAMILLES DE SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS.



SCÉNARIOS

La communauté scientifique a défini a priori quatre profils représentatifs d'évolution de concentration de GES, les RCP (*Representative Concentration Pathways*). Ces trajectoires englobent un large éventail de possibilités, correspondant à des efforts plus ou moins grands de réduction des émissions de GES au niveau mondial. Sur cette base, les **climatologues** ont décrit les conditions climatiques et les impacts du changement associés à chacun d'elles. En parallèle, les **économistes** travaillent sur des familles de scénarios, les SSP (*Shared Socioeconomic Pathways*) qui se différencient par divers aspects de développements socio-économiques et diverses stratégies d'adaptation et d'atténuation. À chaque RCP peuvent être associés plusieurs SSP.

FUTURS POSSIBLES

Les scénarios socio-économiques
Pour imaginer le climat du ^{xxi}e siècle, il faut représenter les possibilités d'évolution de l'humanité. Quelles seront ses émissions de GES ? La réponse repose, entre autres, sur l'évolution démographique mondiale, les choix énergétiques, les développements économiques, les innovations techniques, les politiques environnementales...

Les modèles numériques
Les simulations climatiques comportent de nombreux paramètres afin de représenter au mieux la complexité du système et des phénomènes : température, vent, humidité, courants océaniques, relief, nature du sol... Ces paramètres sont calculés en tout point d'une grille qui découpe l'atmosphère et l'océan en volumes élémentaires : des **dizaines de millions de valeurs** sont calculées à chaque pas de temps de la simulation.

Les approximations résultant des choix faits par les modélisateurs pour rendre les programmes compatibles avec les capacités des supercalculateurs sont à l'origine de la variété des modèles et des différences de résultat des simulations.

La variabilité interne du climat
Certains phénomènes climatiques se produisent de façon irrégulière, à l'instar d'El Niño ou de l'oscillation Atlantique multi-décennale. Ils contribuent à moduler le climat moyen, qui peut être un peu plus chaud ou un peu plus froid pendant une ou plusieurs dizaines d'années. Dans une simulation sur 100 ans, les modèles représentent bien les grandes tendances du climat, mais sont incapables de prévoir le début et la fin de ces oscillations naturelles.

CLI-MOTS

Forçage radiatif (FR)
Il mesure l'impact de certains facteurs sur l'équilibre énergétique de la planète (l'énergie reçue du soleil moins celle renvoyée par la Terre). Un FR positif réchauffe la planète et un FR négatif la refroidit.

Concentration
Quantité de GES présente dans l'atmosphère à un instant donné (stock exprimé en ppm).

Émissions
Quantité de GES rejetée dans l'atmosphère pendant une période donnée (flux exprimé en tonne par an).

LE SAVIEZ-VOUS ?

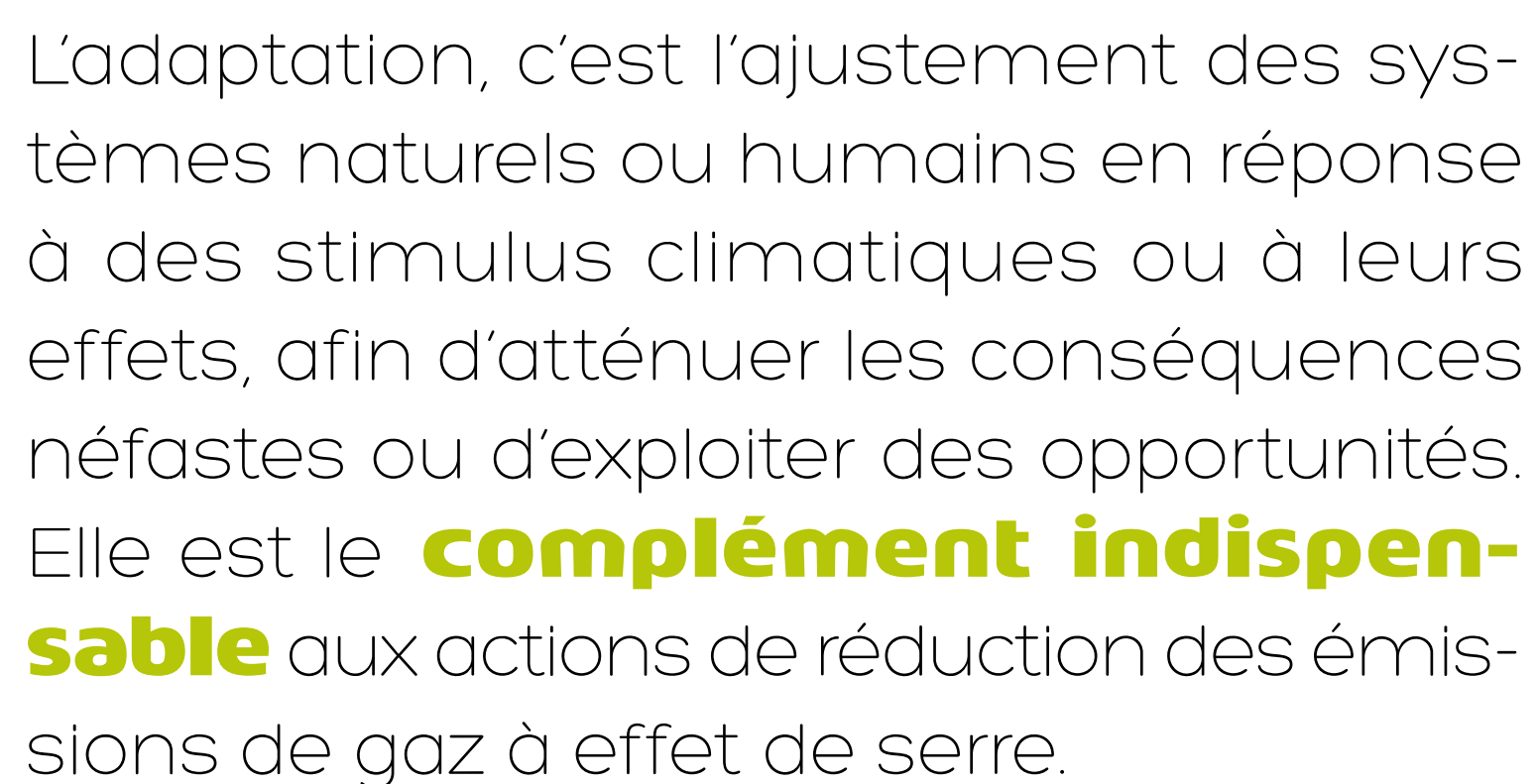
En 2013, la taille des mailles des projections climatiques globales est d'environ 150 km, contre 300 km pour les projections du rapport du GIEC de 2007. Plus cette taille est petite et plus les calculs sont précis, en particulier parce que le relief peut être mieux décrit. Mais diviser par 2 la taille de la maille nécessite l'usage d'ordinateurs environ 10 fois plus puissants.



Le satellite météo européen MetOp.

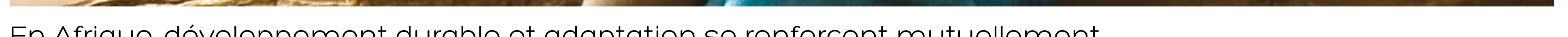
An aerial photograph of a dense, lush green forest. A semi-transparent light grey banner runs horizontally across the upper portion of the image. The banner contains the text 'LE CLIMAT CHANGE >' in a large, thin, black sans-serif font, followed by 'CE QUE L'ON PEUT FAIRE' in a smaller, bold, black sans-serif font. The forest below is composed of many trees with varying shades of green, creating a textured canopy.

LE CLIMAT CHANGE > **CE QUE L'ON
PEUT FAIRE**



- détection et réduction des fuites dans le réseau de distribution d'eau ;
- révision des référentiels de construction,
- exploitation et entretien des réseaux de transport pour les rendre à l'épreuve de l'évolution du climat,
- surveillance de l'évolution des insectes vecteurs de maladies et de la production de pollen allergisant en lien avec le changement climatique.

La mise en œuvre des orientations qui y sont prévues doit permettre :



— LES IMPACTS

Carte des impacts déjà visibles et à venir d'ici 2050



CULTURES
Après + de
35 ans
de croissance :
stagnation
des rendements
(ex. : blé tendre, Pays de la Loire)
(source : Oracle)