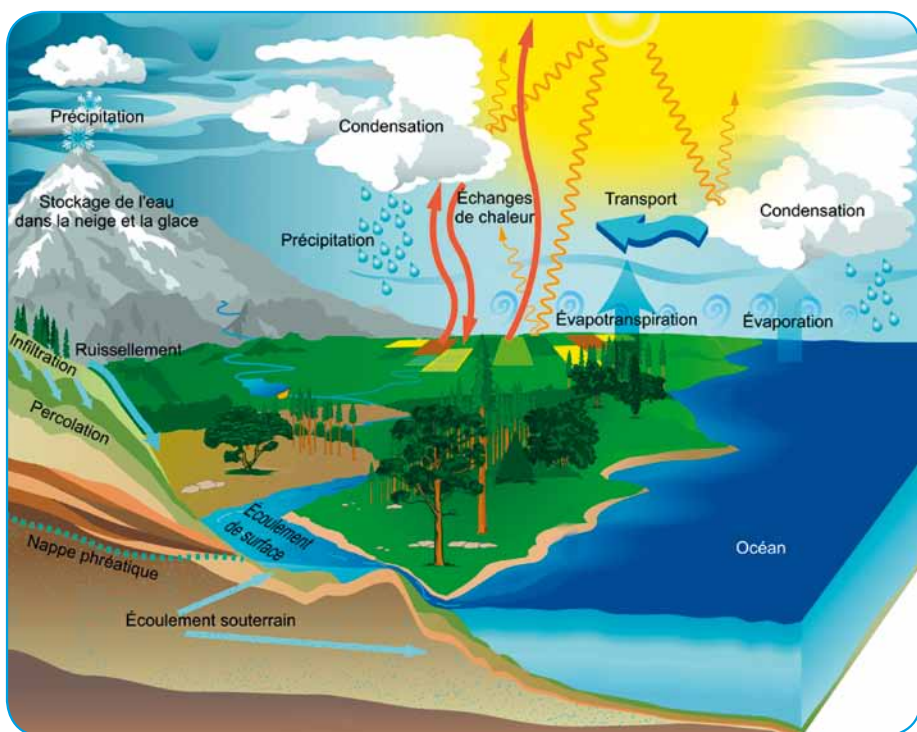


Les péripéties de l'eau sur Terre



Le cycle de l'eau sur Terre

L'énergie solaire est le moteur du cycle de l'eau : elle provoque l'évaporation de l'eau des océans et des surfaces humides terrestres. L'atmosphère transporte cette vapeur vers des zones fraîches où elle se condense en pluie, neige ou grêle. Ces précipitations s'accumulent sur les glaciers, ruissellent sur le sol et nourrissent les nappes phréatiques, qui participent, comme les fleuves et les rivières, au transport de l'eau vers les lacs ou les océans. Les échanges sont permanents entre les différents réservoirs d'eau de la planète.

Réservoirs d'eau de la planète

L'eau douce liquide représente à peine 1% de l'eau sur Terre et pourtant elle alimente la quasi-totalité de la demande mondiale! Le recyclage des eaux usées et la désalinisation de l'eau de mer sont encore peu pratiqués mais constituent un fort potentiel d'avenir.



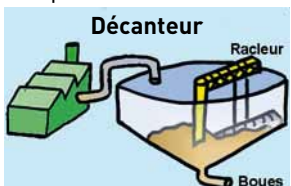
Le cycle de l'eau en ville

L'eau qui nous sert quotidiennement parcourt un cycle. Elle est pompée dans les rivières ou dans les nappes phréatiques ①, filtrée et désinfectée dans les stations de traitement d'eau potable ② avant d'être stockée ③ puis distribuée au robinet ④. Une fois utilisée, l'eau est collectée dans des stations d'épuration où elle est traitée ⑤, puis rejetée dans les rivières ⑥.

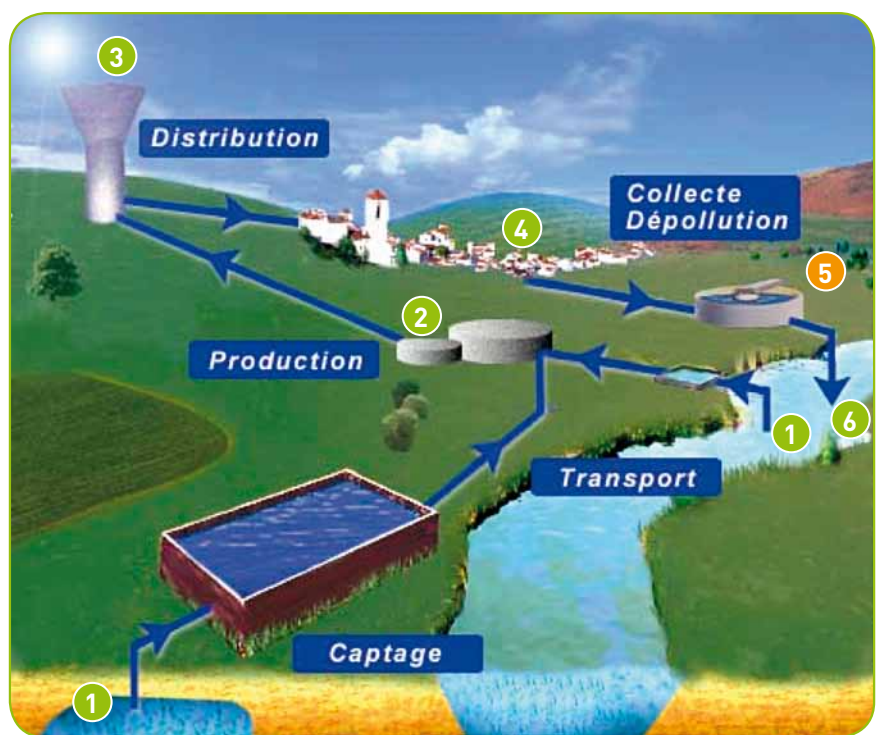
En France, il y a 40 000 captages, 900 000 kilomètres de canalisation, près de 16 000 usines de production d'eau potable et 12 000 usines de dépollution. Quel luxe !

Production ②

Dans une station de traitement d'eau potable, l'eau passe d'abord dans un bassin de décantation au fond duquel se déposent les matières les plus lourdes (les boues). Elle est ensuite filtrée à travers des couches de sable qui la débarrassent de ses impuretés. Elle est enfin désinfectée, c'est-à-dire débarrassée des microbes. C'est cette eau qui arrive au robinet.



Les boues et autres déchets servent d'épandage agricole ou sont incinérés.



Dépollution ⑤

En ville

Dans une station d'épuration, l'eau polluée traverse **des grilles** qui retiennent les matières les plus grosses, puis s'écoule dans un **décanteur**. Elle passe ensuite dans un **bassin d'aération** où des bactéries « mangent » la pollution, et enfin dans un **dernier décanteur** au fond duquel se déposent les bactéries. L'eau surnageante n'est pas potable mais suffisamment propre pour être rejetée à la rivière. Si l'eau est réutilisée, on effectue un traitement supplémentaire, **filtration** et **désinfection** (chlore, UV, ozone).



Dans le bassin d'aération, les micro-organismes naturellement présents dégradent les matières organiques. De l'air est insufflé pour activer le travail des bactéries.

La filtration sur membrane : une mini-révolution

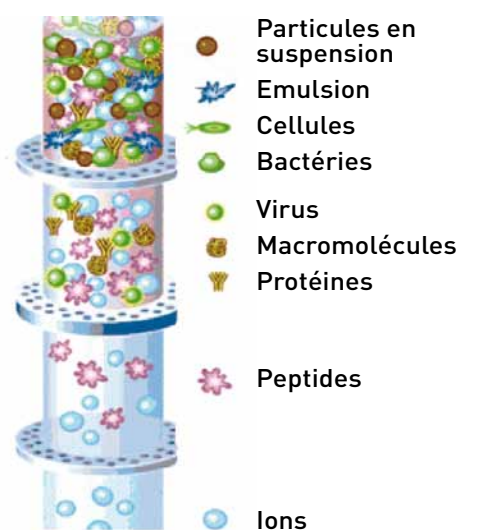
La micro, l'ultra et la nano-filtration permettent d'éliminer physiquement les polluants de très faible taille ou **micropolluants** sans avoir recours à des traitements chimiques.

Les membranes qui permettent ces filtrations sont constituées de milliers de fibres très fines. Leurs parois sont percées d'une multitude de pores microscopiques. L'élimination des particules en suspension (cellules, virus et molécules organiques), dépend de la taille des pores (de l'ordre ou inférieure au micromètre, μm).

Microfiltration
10-0,1 μm

Ultrafiltration
0,1-0,01 μm

Nanofiltration
0,01-0,001 μm



Hors de la ville

Chaque utilisateur doit traiter l'eau qu'il rejette par des systèmes d'assainissement autonomes. L'eau peut être épurée par le sol et les plantes.



À Mayotte, on utilise les capacités épuratrices de la Mangrove pour le traitement des eaux usées. Les eaux usées sont pré-traitées et stockées dans le décanteur-digesteur, puis déversées à marée basse dans la Mangrove.



L'eau douce est un bien rare ! Évitons de la gaspiller et de la polluer

À quoi nous sert l'eau douce ?

Chaque jour, nous utilisons l'eau pour nos usages domestiques, agricoles, industriels et nos loisirs. Il est essentiel qu'elle soit de bonne qualité. Sa pollution, superficielle ou souterraine, perturbe les écosystèmes aquatiques. L'eau polluée est dangereuse pour la santé et compromet de nombreux usages : consommation, pêche, baignade ...

La consommation d'eau douce à usage domestique varie énormément d'un point à l'autre du globe. Un Américain consomme en moyenne 600 litres par jour, un Européen 150 litres, un Africain entre 5 et 10 litres. En France, chaque personne utilise en moyenne 165 litres d'eau par jour. Mais cette quantité varie en fonction de l'habitat, de la région ou des habitudes.

	BAIN 80 à 200 litres		CHASSE D'EAU 10 à 20 litres
	DOUCHE 15 à 18 litres par minute		LAVAGE DE VOITURE 200 à 400 litres

Consommer moins d'eau, c'est simple : stopper l'eau pendant le brossage de dents (économie de 2 à 10m³/personne/an), utiliser une chasse d'eau à 2 vitesses (5 à 7 m³/an), récupérer l'eau de pluie pour arroser le jardin et laver la voiture, traquer les fuites...



En milieu agricole, l'eau est utilisée pour l'alimentation du bétail, l'arrosage des cultures, le lavage des étables.

En milieu industriel, l'eau est utilisée pour la fabrication de tous les produits manufacturés (sucre, laine, voitures, aluminium...), pour refroidir et nettoyer les machines et pour produire l'électricité.

L'agriculture consomme 73 % de l'eau douce utilisée dans le monde, l'industrie et la production d'énergie 21% et la consommation domestique seulement 6%.

Le bulletin de santé des cours d'eau est alarmant



Les fleuves et les rivières, qui sont les ressources principales pour la production d'eau potable, contiennent des millions de tonnes de polluants provenant des rejets chimiques de nos industries, de notre agriculture et de nos activités quotidiennes. On y trouve de tout : des solvants, des nitrates, des phosphates, des détergents, des métaux, des pesticides, des produits cosmétiques, des substances pharmaceutiques... tous susceptibles d'avoir des effets toxiques même à l'état de trace.

Micropolluant : substance susceptible d'être toxique à des concentrations très faibles (microgramme par litre ou moins, une concentration proche de ce que donnerait un morceau de sucre dans une piscine olympique).

Perturbateurs endocriniens

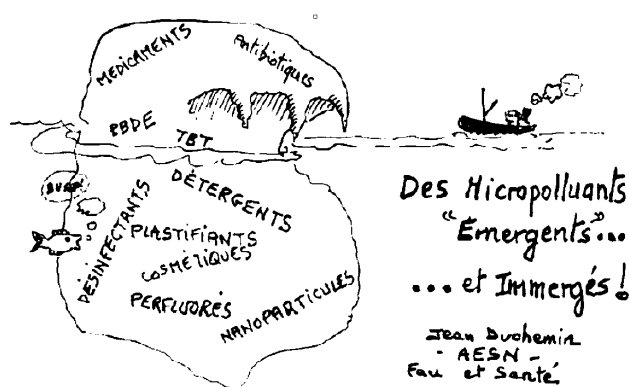
Certaines substances chimiques utilisées dans l'industrie ou l'agriculture ont une structure moléculaire proche de celles des hormones sexuelles, mâles ou femelles, et peuvent ainsi modifier le sexe de certains poissons. Conjuguée au réchauffement planétaire, la pollution des eaux par ce type de polluants et par des hormones synthétiques (contraceptifs) finira par bouleverser l'équilibre reproductif de nombreuses espèces.



Plus de 150 **molécules thérapeutiques**, par exemple des antalgiques, des hormones, des antibiotiques et des anticancéreux, ont été détectées dans l'eau de nos rivières. Pour la plupart, elles ne sont pas biodégradables et ne sont pas éliminées dans les stations d'épuration.



La féminisation de certains poissons (truites arc-en-ciel ou gardons), d'escargots ou de grenouilles s'observe fréquemment dans les rivières françaises.



Étude des conséquences des micropolluants sur l'environnement et la santé

La présence de polluants détruit les écosystèmes et conduit à la réduction de la bio-diversité.

Dans les eaux de surface, la pollution se manifeste principalement par :

- une modification de la température et du pH;
- une diminution de la teneur en oxygène dissous, indispensable à toute forme de vie animale aquatique;



- la présence de produits toxiques;
- la présence de bactéries ou de virus dangereux;
- la prolifération d'algues due à la présence d'azote et de phosphore.

Cette "eutrophisation" conduit à une forte réduction de la survie des espèces.

Si certains polluants peuvent être quantifiés très précisément, leur mesure, même à faible dose, ne renseigne pas sur leur impact environnemental. Cet impact peut être étudié grâce à des indicateurs biologiques.



L'observation des écosystèmes naturels permet d'estimer le degré de toxicité de polluants éventuels. La présence dans un cours d'eau de cette larve d'invertébrés (*Ephoron virgo* ci-contre), indique, par exemple, la bonne qualité de l'eau.

On peut également, en laboratoire, évaluer l'impact d'une pollution en utilisant des espèces modèles, comme des larves d'invertébrés (chironome), ou encore des larves d'une grenouille, ci-contre (*xénope*) ou d'une salamandre (*pleurodèle*). Ces tests « éco-toxicologiques » permettent de mieux comprendre les mécanismes de la toxicité des contaminants du milieu aquatique. Ils contribuent à la mise au point d'outils de prévision et de lutte contre les pollutions.



Réchauffement climatique et fonte des glaces

Presque tous les glaciers fondent

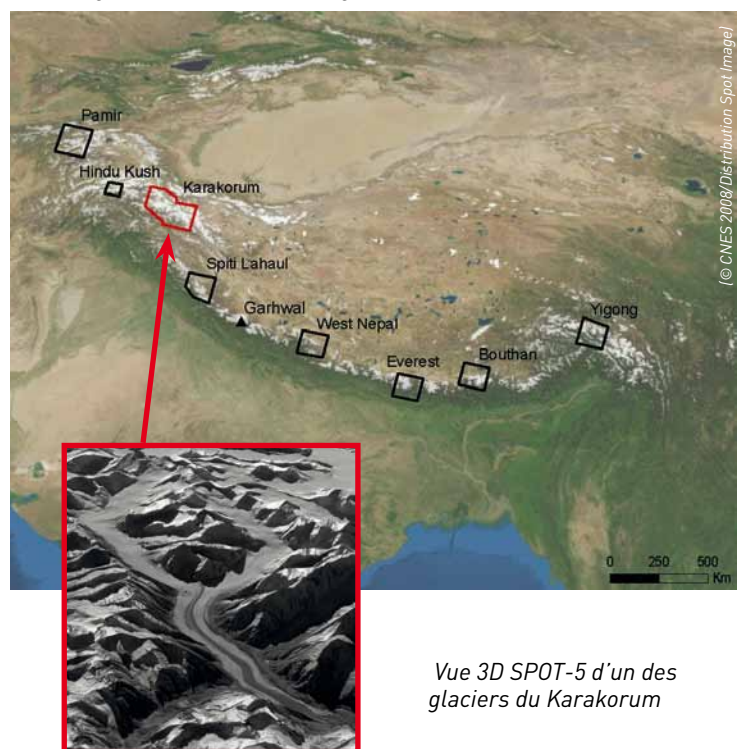
Les glaciers des principales chaînes de montagne de notre planète fondent, perdant en moyenne 40 à 50 cm chaque année. Cependant, une étude publiée récemment par un laboratoire toulousain révèle une exception dans la chaîne himalayenne, le Karakorum.

Le massif des glaciers Karakorum, situé à l'Ouest de l'Himalaya, à la frontière de l'Inde, du Pakistan et de la Chine, se porte bien. En comparant des images stéréos prises par le satellite Spot-5 en 2008 à celles prises en 2000, les chercheurs du LEGOS ont montré que l'épaisseur de la glace augmentait chaque année d'environ 11 cm. Cette étude révèle que l'évolution des glaciers n'est pas homogène au sein de la chaîne himalayenne et que les mesures obtenues pour une région donnée ne sont pas nécessairement extrapolables à une autre.



Le glacier Kyetrak au Tibet hier et aujourd'hui.

Localisation des 9 sites himalayens pour lesquels des couples stéréos d'images SPOT-5 sont disponibles afin de cartographier les changements de volume des glaciers.



Vue 3D SPOT-5 d'un des glaciers du Karakorum

La banquise fond en Arctique mais pas en Antarctique



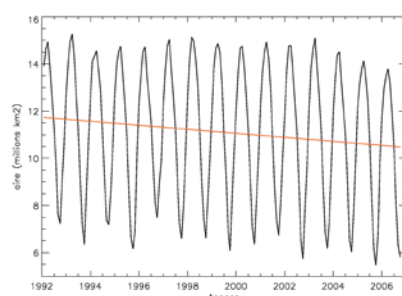
Une étape de formation de la banquise, crêpes ou pancakes.

L'eau de mer gèle à une température de $-1,8^{\circ}\text{C}$, formant tout d'abord des morceaux épars de glaces ressemblant à des crêpes. Ces morceaux s'agglomèrent et finissent par former une surface compacte. En Arctique, l'étendue des glaces varie de 6 à 16 millions de km^2 , en fonction de la saison. En Antarctique, elle varie de 2 à 19 millions de km^2 . Lorsqu'un des pôles atteint sa superficie maximale de glaces, l'autre est à sa superficie minimale, et inversement, puisque l'été de l'un correspond à l'hiver de l'autre.

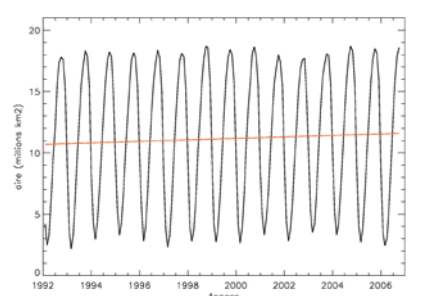
Ces dernières années, on observe que la surface occupée par les glaces diminue en Arctique alors qu'elle augmente en Antarctique d'une superficie égale à celle de la France chaque décennie. Le bilan entre les deux pôles est malgré tout négatif. Durant l'été 2012, la

fonte de l'Arctique a battu des records. Les modèles numériques des climatologues prédisent que l'Arctique pourrait être libre de glace au mois de septembre d'ici quelques décennies.

Arctique (Nord)



Antarctique (Sud)

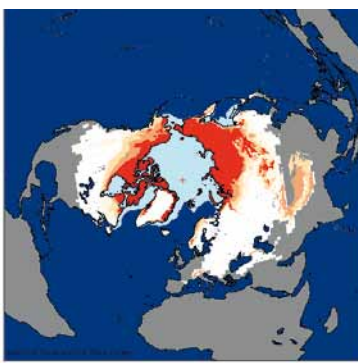


Grâce au capteur satellite SSM/I, on peut mesurer l'évolution de l'étendue des glaces de mer aux pôles depuis 1992. Les variations saisonnières sont bien marquées avec un minimum (mars en Antarctique) et un maximum (septembre en Arctique) chaque année. Les droites rouges représentent la tendance linéaire : $-850\,000\text{ km}^2/\text{décennie}$ pour l'Arctique et $+600\,000\text{ km}^2/\text{décennie}$ pour l'Antarctique.

fonte de l'Arctique a battu des records. Les modèles numériques des climatologues prédisent que l'Arctique pourrait être libre de glace au mois de septembre d'ici quelques décennies.

Le pergélisol fond lui aussi !

On en mesure encore mal l'impact sur le réchauffement climatique



Rouge : limite du pergélisol; blanc : limite de la neige stable.

Le **pergélisol** (ou permafrost) est la partie du sol situé sous la surface qui ne dégèle pas pendant au moins 2 années consécutives. Il couvre environ 25 millions de km^2 , soit 25% des terres émergées de l'hémisphère nord. Son épaisseur varie d'environ 20 mètres de profondeur dans son extension méridionale jusqu'à plus de 1 000 mètres à l'Est de la Sibérie.

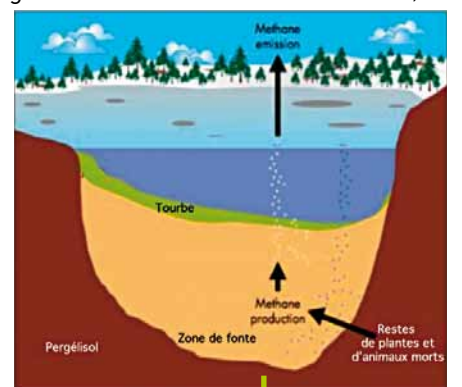
Le réchauffement climatique et la déforestation entraînent la fonte d'une partie du pergélisol (thermokarst), provoquant d'importants problèmes socio-économiques. Les transports routiers et fluviaux sont affectés, les constructions s'effondrent.



Route et immeuble détruits (Alaska) © Romanovsky

Gazoduc déterré; route dégélée en hiver (Sibérie) © Kouraev

Le pergélisol constitue une immense réserve de carbone organique qui provient des restes de plantes et d'animaux qui s'y sont accumulés pendant des millénaires. Ce stock de carbone est normalement neutralisé par le gel, mais avec la fonte du pergélisol les bactéries se réveillent, le décomposent et en libèrent une partie dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4). **Le méthane est un gaz à effet de serre bien plus redoutable que le CO_2 .**



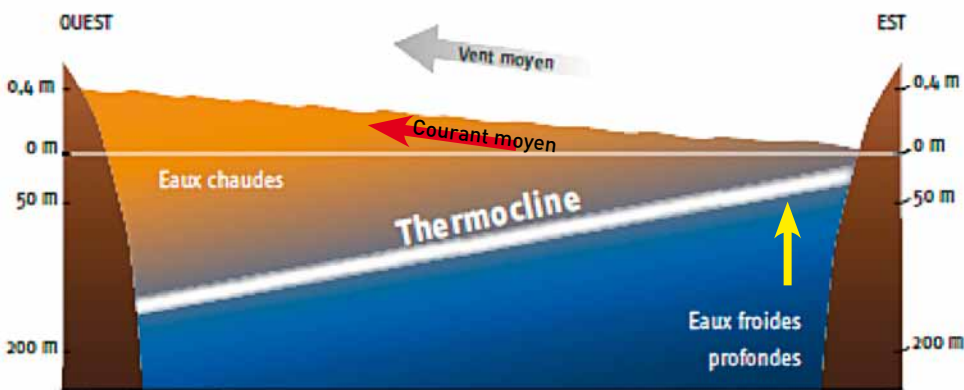
Bulles de méthane emprisonnées dans de la glace en formation (Sibérie).



El Niño et La Niña, les deux enfants terribles du Pacifique

El Niño et son opposé la Niña sont la phase chaude et la phase froide d'un cycle naturel qui a un impact considérable sur le climat du Pacifique tropical et parfois de la planète

En temps normal : la phase neutre



Sous les Tropiques, l'eau de surface est chauffée par un soleil intense. L'eau est froide en profondeur. La thermocline marque la zone de transition thermique verticale brutale entre ces deux eaux chaudes et froides. Flèche jaune : remontée d'eaux froides.

Dans le Pacifique tropical, de grandes quantités d'**eaux chaudes** s'accumulent à l'**Ouest**, déplacées à la fois par les courants océaniques et par les **vents alizés soufflant d'Est en Ouest**. Leur profondeur peut atteindre 200 mètres et leur température est d'environ 28°C. Leur évaporation provoque de **fortes précipitations** au voisinage de l'Indonésie.



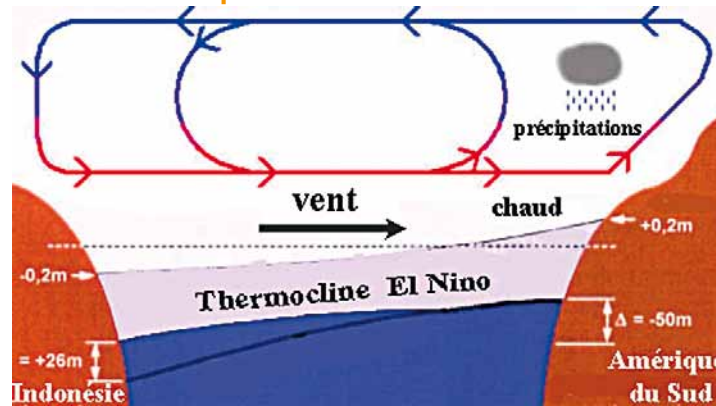
À l'**Est**, les **eaux froides** remontent des profondeurs pour remplacer la couche d'eau chaude. Elles sont riches en **plancton** : la pêche est abondante sur le littoral sud-américain.

La Niña : la phase froide



Durant un épisode La Niña, les **alizés sont renforcés**, provoquant une accumulation encore plus importante d'eaux chaudes à l'**Ouest**. Des **précipitations intenses** s'abattent sur l'Indonésie et les Philippines. En revanche, froid et sécheresse s'installent à l'Est sur le littoral sud-américain.

El Niño : la phase chaude

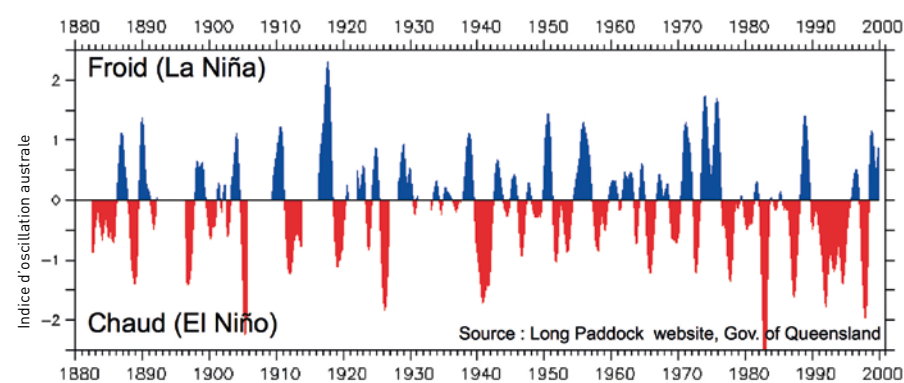


Des zones normalement désertiques, telles que le Désert d'Atacama au Nord du Chili, sont recouvertes de fleurs (© Blogdeil).

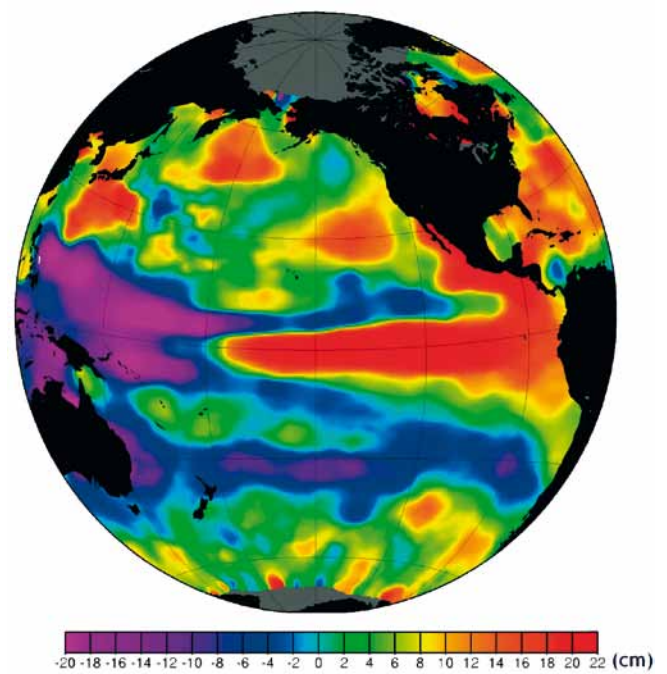
Durant un épisode El Niño, tout est chamboulé : les **alizés faiblissent**, les eaux chaudes s'étendent à l'**Est**. Leur évaporation provoque des **pluies torrentielles** sur le continent sud-américain. Les eaux froides ne remontent plus des profondeurs, les **pêches sont catastrophiques**. Le **bouleversement du Pacifique est tel qu'il se ressent sur tous les continents**.

El Niño et la Niña

Les phénomènes **El Niño** et **La Niña** ont toujours existé. Les relevés de stations météorologiques ont permis d'établir leur fréquence depuis plus d'un siècle. Les épisodes **El Niño** ne sont pas réguliers (entre 2 à 7 ans) et durent environ 18 mois. Ils ont été violents en 1982-83 et en 1997-98, causant des milliards de dollars de dégâts et déplaçant des millions de personnes. Depuis 2000, ils sont moins forts et restent localisés sur l'Océan Pacifique central. Les épisodes La Niña ne suivent pas toujours El Niño.



Le Pacifique équatorial oscille de manière irrégulière entre épisodes La Niña et El Niño, ce qui constitue le cycle ENSO. L'indice d'oscillation australe (SOI) reflète la différence de pression atmosphérique au niveau de la mer entre Tahiti (Est) et Darwin en Australie (Ouest). En temps normal, la pression moyenne est plus élevée à Tahiti qu'à Darwin. Pendant les épisodes El Niño, la pression augmente davantage à Darwin qu'à Tahiti : le SOI devient négatif. Pendant les épisodes La Niña c'est l'inverse.



Le déplacement d'énormes masses d'eau chaude vers l'Est le long de l'équateur peut entraîner une élévation du niveau de la mer de plus de 20 cm (en rouge) sur une surface plus grande que l'Europe. Ici pendant El Niño en 1997. (© CNES)

Prévisions et réchauffement climatique

En 1923, Sir Gilbert Walker établit pour la première fois une corrélation entre le phénomène El Niño et les oscillations de pression atmosphérique entre l'Est et l'Ouest du Pacifique Sud (d'où le nom d'ENSO pour El Niño Southern Oscillation). Grâce aux satellites, les scientifiques observent maintenant différents paramètres de l'océan et de l'atmosphère (vents, courants, températures, niveau des mers, couleur, salinité, faune et flore). Ces données leur permettent d'étudier El Niño et d'établir des modèles de son évolution. On peut prévoir El Niño plus de 6 mois à l'avance. Son retour en 2012 est d'ailleurs annoncé. Les scientifiques veulent aussi comprendre pourquoi, d'une décennie à l'autre, les épisodes El Niño peuvent être plus intenses ou fréquents et si le réchauffement climatique affectera El Niño durant les prochaines décennies.



El Niño a aussi un impact sur les cyclones tropicaux dans les Caraïbes, mais, cette fois-ci, bénéfique. Lors des années El Niño, il y a beaucoup moins de cyclones que durant les années La Niña.