



Dossier pédagogique

à destination des enseignants
en vue de la préparation
d'activités pédagogiques.

L'eau : un acteur essentiel pour la planète et une ressource précieuse.

L'eau : un acteur essentiel pour la planète et une ressource précieuse.

SOMMAIRE :

Conditions permettant la présence de l'eau sous ses 3 états

L'hydrosphère et son cycle

Propriétés et influences des océans

Capacité calorifique et température des océans

Composition et acidité de l'eau de mer

Densité et stratification de l'océan

La circulation océanique

Les courants de surface

Les courants profonds

Continuité de la circulation océanique

Influences des océans

Bilan énergétique de la Terre, effet de serre et océans

Conséquences climatiques des courants océaniques

Renforcement de l'effet de serre et conséquences sur les océans

Autres conséquences des courants océaniques

Gérer la ressource en eau douce vers un développement durable.

Les besoins en eau douce et le développement

Les différents usages de l'eau douce

La dégradation de la qualité de l'eau douce et ses conséquences

Origines de la dégradation de l'eau douce

Des conséquences sanitaires

Des conséquences écologiques

Des conséquences économiques

Les technologies pour palier aux besoins en eau douce

Economiser l'eau douce

Conditions permettant la présence de l'eau sous ses 3 états :

Dans le système solaire, la présence d'une atmosphère et d'eau sous ses trois états, solide, liquide ou gazeux, dépend à la fois de la masse de la planète et de sa distance par rapport au Soleil.

La masse de la planète détermine sa gravité, c'est à dire la force avec laquelle elle retient les molécules plus ou moins légères. La composition de l'atmosphère d'une planète n'est donc que la conséquence de sa gravité.

La distance au Soleil d'une planète influe sur la température à sa surface et détermine donc directement l'état solide, liquide ou gazeux de ses molécules d'eau.

Planète	Distance Soleil (en millions de km)	Atmosphère	Présence d'eau
Mercure	57,9	inexistante	non
Vénus	108,2	épaisse	vapeur
Terre	149,6	épaisse	vapeur, liquide, solide
Mars	227,9	mince	vapeur, solide

Présence d'atmosphère et d'eau sur les planètes en fonction de leur distance au Soleil

Ainsi, la Terre est la seule planète du système solaire à répondre à toutes les conditions nécessaires pour posséder à la fois une atmosphère et une hydrosphère. Or c'est cette hydrosphère qui a rendu possible la vie sur Terre et qui permet aujourd'hui encore sa pérennité.

L'hydrosphère et son cycle:

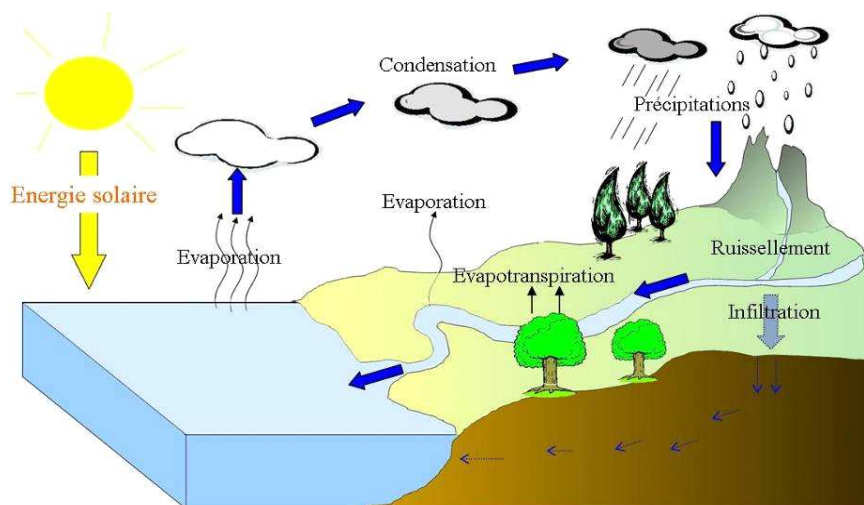
L'ensemble de l'eau disponible à la surface du globe forme l'hydrosphère, mais elle ne représente qu'environ 70% de l'eau présente sur Terre, le reste (près de 30 %) hydrate la croûte terrestre à l'état libre ou combiné aux silicates. Si cette eau était uniformément répartie à la surface du globe, elle constituerait une couche de 2,7 km d'épaisseur environ mais les océans (réservoir principal) n'occupant que 71% de sa surface, leur profondeur moyenne est donc plus importante (environ 3800m).

La majeure partie de l'eau disponible à la surface de la Terre est contenue dans les océans. Le reste est contenu dans les glaces, les nappes aquifères, les rivières et les lacs, les organismes et l'air. On a l'habitude de définir quatre réservoirs d'eau :

- les eaux de surface comprenant celle des océans, des cours d'eau, des lacs mais aussi celle des glaces ;
- les eaux souterraines ;
- l'eau contenue dans les organismes vivants ;
- l'eau atmosphérique qui constitue l'humidité de l'air.

Leur taille relative est illustrée dans le graphique ci-dessous.

Sur la totalité de l'hydrosphère, les eaux salées représentent 97,2%. L'eau douce ne représente donc seulement que 2,8% de toute l'eau disponible sur Terre (dont les $\frac{3}{4}$ sont sous forme de glace). Cette quantité d'eau douce libre est renouvelée de façon permanente par le cycle de l'eau.



Cycle de l'eau

Ce cycle fonctionne grâce à l'énergie des rayons solaires qui entraîne une évaporation d'une partie de l'eau des océans. Environ 30% de cette eau évaporée est transportée par les vents jusqu'aux terres émergées sous forme de nuages et y est précipitée en pluie, grêle ou neige. Ces précipitations alimentent les réseaux hydrographiques superficiels et souterrains qui se déversent ensuite dans les océans et le cycle recommence...

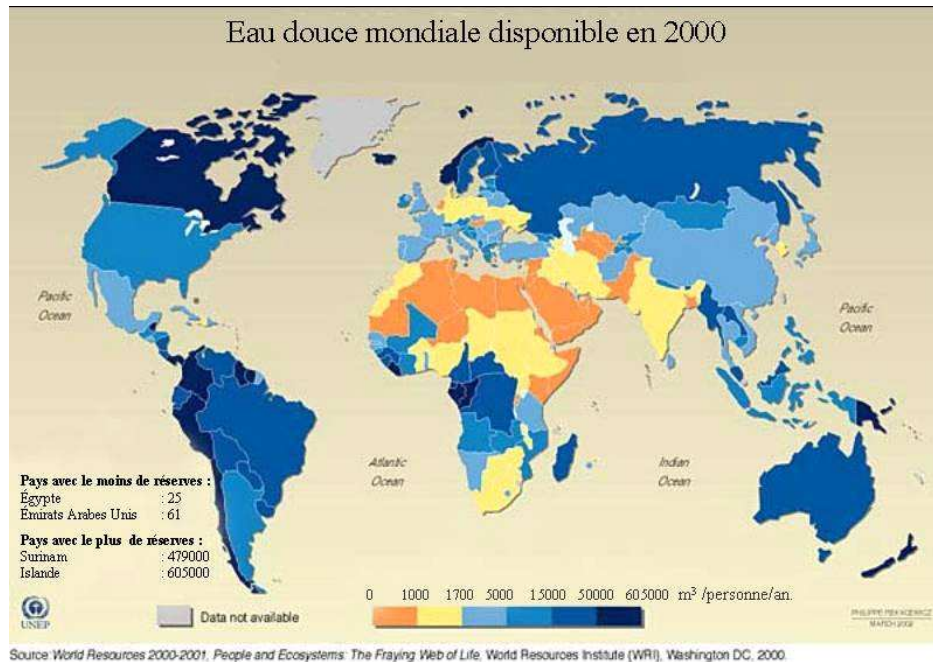
En fonctionnement normal, l'eau douce disponible n'est donc pas une réserve qui s'épuise mais une circulation continue. Ainsi, chaque réservoir a un temps de renouvellement spécifique que l'on a estimé en fonction des flux échangés et des volumes de chacun d'eux.

1 600 à 9 700 ans	pour les glaciers et calottes glacières
1 400 ans	pour les nappes d'eaux souterraines
2500 ans	pour les océans
17 ans	pour les lacs d'eau douce
1 an	pour l'eau du sol
16 jours	pour les cours d'eau
8 jours	pour l'atmosphère et les organismes

On a pu alors définir deux types de réservoir suivant le temps de séjour de leur eau :

- les conducteurs : si le temps de séjour est inférieur à 1 an (cours d'eau, atmosphère et organismes)
- les accumulateurs : si le temps de séjour est supérieur à 1 an (glaciers, nappes, océans)

La répartition géographique de l'hydrosphère est très différente au Nord et au Sud. Si la surface océanique est plus importante dans l'hémisphère Sud que dans celle du Nord, l'eau présente sous forme de glace est plus abondante au Nord, dans la calotte du Groenland et les banquises de l'océan Arctique, qu'au Sud dans l'épaisse couche de glace du continent Antarctique. La carte suivante illustre la quantité d'eau douce disponible par personne et par an, pour chaque pays, en prenant en compte l'eau disponible dans les nappes phréatiques et les rivières.



Cette disparité de la disponibilité en eau douce a des conséquences sur les écosystèmes et des conséquences géopolitiques.

Propriétés et influences des océans :

Capacité calorifique et température des océans :

Les premiers mètres de l'océan peuvent absorber autant de chaleur que toute la colonne d'air située au-dessus d'eux car la capacité thermique de l'eau est quatre fois plus élevée que celle de l'air. La couche d'eau superficielle des océans représente donc une réserve calorifique colossale.

Étant donné que la Terre est ronde et qu'elle a une inclinaison fixe par rapport à son axe de rotation, la région des tropiques ne reçoit pas les rayons solaires avec le même angle d'incidence que celles des pôles. De ce fait, une même surface d'eau ne reçoit pas et ne stocke donc pas la même quantité de chaleur sous les tropiques et aux pôles. Ainsi, les eaux tropicales qui reçoivent les rayons solaires sous un angle droit, sont bien chauffées et peuvent atteindre des températures de 32°C. En revanche, les eaux polaires qui reçoivent les rayons solaires avec un angle beaucoup plus rasant, dont la valeur varie considérablement selon les saisons, sont mal chauffées et leur température peut descendre jusqu'à -2°C (sans geler car le sel abaisse le point de congélation).

La température des eaux varie donc selon les régions, les saisons et la profondeur. En effet, la température moyenne des eaux de surface est comprise entre 0°C et 32°C mais celle des fonds océaniques est en moyenne de 3,6°C.

Composition et acidité de l'eau de mer:

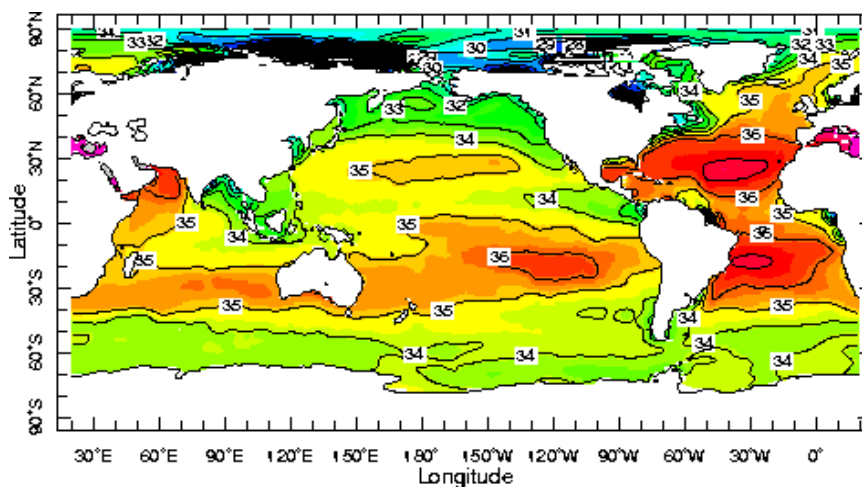
Les océans de la planète communiquent entre eux ce qui fait que la composition de leur eau est chimiquement assez uniforme: on peut ainsi parler d'un seul océan mondial.

L'eau de mer est composée à 95% d'eau pure et de plus d'une soixantaine d'éléments. Les éléments principaux sont soit présents sous forme de gaz dissous, soit présents sous forme de sels (chlorures, sulfates et carbonates).

Les gaz dissous sont le dioxygène, le dioxyde de carbone et le diazote. Les échanges gazeux se font avec l'air au niveau de l'interface atmosphère-océans, avec les organismes vivants et au niveau des sources hydrothermales profondes le long des rifts médio-océaniques. Les gaz dissous sont libérés par l'évaporation de l'eau de mer. Leur perte est compensée par la dissolution des gaz de l'air à la surface de l'eau. La température est le facteur majeur de la solubilité des gaz mais ceux-ci ne sont pas en solution saturée dans l'eau de mer. Ainsi, leur teneur varie plutôt en fonction de l'activité biologique. Pour le dioxygène, c'est la respiration et la photosynthèse qui sont déterminants. Pour le dioxyde de carbone, c'est la formation et la dissolution des squelettes calcaires.

Les 9 principaux éléments présents dans les sels sont le chlore, le sodium, le magnésium, le soufre, le calcium, le potassium, le carbone, le brome et le bore. Les autres éléments (aluminium, fluor, fer, plomb, or, argent, cuivre...) ne sont présents qu'en concentrations très faibles, ce sont des oligoéléments. La quantité totale de sels contenus dans les océans est évaluée à 5. 10¹⁶ tonnes. Ils proviennent de l'altération des roches de la croûte et du manteau. Les eaux douces apportent une grande quantité de sels provenant de l'altération des roches du continent. Le long des rifts médio-océaniques se trouvent des émanations hydrothermales chargées de gaz et d'ions métalliques tandis que l'eau de mer circule et interagit avec les basaltes de la croûte océanique pour en extraire des électrolytes.

La salinité représente la quantité de sels dissous dans 1L d'eau de mer. En moyenne, elle se situe à 35g/L, mais elle varie en fonction des profondeurs, des latitudes et des régions. Ainsi, en surface, on rencontre des eaux plus salées dans les zones tropicales (jusqu'à 37g/L) et moins salées aux hautes latitudes (environ 33g/L) en raison de la fonte des glaces ou aux embouchures des grands fleuves.



Salinité des eaux de surface en moyenne (g/L). Source : Olivier le Calvé.

Ce mélange de sels et de gaz dissous est fondamental pour les écosystèmes car il forme une solution tampon, ce qui explique que le pH de l'eau de mer soit constant et légèrement basique (pH = 8,2). Le CO₂ peut ainsi être absorbé, fixé à l'état de carbonate (coraux, coquilles... ou roches calcaires) ou dégagé sans modification notable de pH.

Densité et stratification de l'océan :

La densité de l'eau de mer dépend de sa salinité, de sa température et de sa pression. Ainsi, des variations de celles-ci induisent des variations de densité :

- plus une eau est salée, plus elle est dense et donc plus elle a tendance à « couler » par rapport à une eau moins salée,
- plus une eau est chaude, moins elle est dense et donc plus elle a tendance à « flotter » par rapport à une eau plus froide,
- plus on s'enfonce en profondeur, plus la pression augmente ce qui fait augmenter la densité.

Ainsi, si l'on refroidit une eau de 5 °C, on crée une augmentation de densité identique à celle que l'on obtient par une augmentation de salinité de 1 ‰ ou par un enfoncement de deux cents mètres.

Sous l'effet de la pesanteur, l'océan est donc stratifié (la densité de l'eau augmente avec la profondeur) ; il comporte 3 couches :

- une couche superficielle bien mélangée sous l'action du vent, d'une centaine de mètres d'épaisseur;
- une zone montrant un gradient décroissant de température, la thermocline, qui agit comme une couche stratifiée stable limitant les transferts d'eau dans le sens vertical;
- au delà de 1000 m de profondeur environ, une masse d'eau profonde ayant une température et une salinité plus uniforme.

La circulation océanique :

Les eaux des océans reçoivent de façon inégale l'énergie solaire selon la latitude à laquelle elles se trouvent. Ce déséquilibre engendre les courants océaniques, en surface et en profondeur, qui transportent cette chaleur de l'équateur vers les pôles. Les principales causes des courants marins sont le rayonnement solaire, les vents, la pesanteur et la répartition géographique des continents.

Les courants de surface :

Ils concernent environ 10% de l'eau des océans et affectent surtout les couches de surface de l'océan (les 800 premiers mètres), que l'on peut imaginer comme reposant sur les couches d'eaux froides profondes.

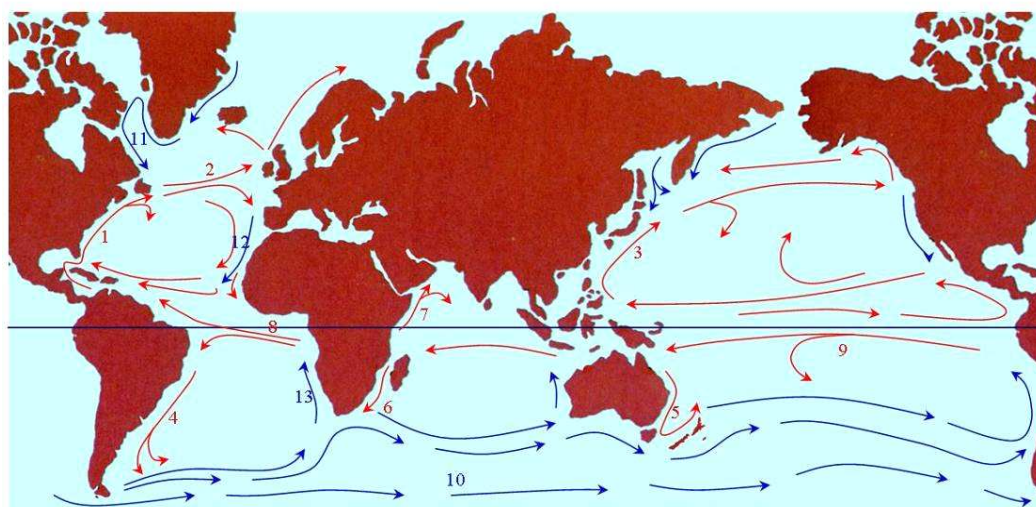
Dans les océans, la circulation superficielle se fait principalement sous l'effet de la friction du vent et de la déviation de Coriolis (due à la rotation de la Terre), qui transportent les eaux de surface en provoquant des phénomènes de divergences et de convergences. Ainsi, sous un vent d'origine anticyclonique (tournant dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord), l'eau s'accumule au centre : c'est la convergence. Pour compenser cette élévation du niveau marin, un mouvement descendant se met en place, entraînant les eaux de surface en profondeur.

De même, sous l'effet de vents cycloniques (dépressions), l'eau fuit le centre : c'est la divergence. Pour compenser cette dépression du niveau marin, un mouvement ascendant se met en place, entraînant les eaux profondes en surface.

Ainsi, à l'échelle d'un bassin océanique, l'eau a tendance à se rassembler au centre (effet anticyclonique tropical), ce qui induit une bosse (convergence subtropicale) qui peut dépasser un mètre. Plus au nord et plus au sud, on assiste plutôt à des phénomènes de divergences (divergence subpolaire et divergence équatoriale), l'eau formant alors un creux à la surface de la mer. Si tous ces phénomènes se retrouvent de manière analogue dans l'hémisphère sud, du fait de la force de Coriolis, les eaux ne sont alors plus poussées vers la droite de la direction du vent mais vers sa gauche.

Ces empilements d'eau créent une « pente de l'eau » qui cherche alors à s'écouler des bosses vers les creux. Cependant, là encore, la force de Coriolis détourne cet écoulement vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. L'eau ne s'écoule donc pas le long des pentes de la topographie de la surface de l'eau mais autour des empilements (à l'image de ce qui se passe pour les vents).

Les masses d'eau transportées en surface ne sont pas toutes semblables. Ainsi, au niveau des tropiques, les eaux de surface reçoivent beaucoup d'énergie solaire et subissent donc une évaporation importante. Au voisinage de l'équateur, les vents créent donc des courants de surface transportant vers les régions polaires une eau chaude dont la salinité est élevée. Au contraire, dans les régions polaires, lors de la fonte des glaces, l'eau de mer se charge en eau douce ce qui abaisse sa salinité. Au voisinage des pôles, les vents créent donc des courants de surface qui transportent vers les régions équatoriales une eau froide dont la salinité est faible.



- | Courants chauds | Courants froids |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Gulf Stream | 10 Courant antarctique circumpolaire |
| 2 dérive nord-atlantique | 11 Courant du Labrador |
| 3 Kuroshivo | 12 Courant des Canaries |
| 4 Courant du Brésil | 13 Courant de Humboldt |
| 5 Courant est-australien | |
| 6 Courant des Aiguilles | |
| 7 Courant des Somalies | |
| 8 Courant sud équatorial atlantique | |
| 9 Courant sud équatorial pacifique | |

Les courants profonds :

En plus de ces courants qui circulent plus ou moins en surface, il existe des courants de profondeur. Les vents n'ayant plus d'influence après 800m de profondeur, ils ne peuvent être les moteurs de ce type de circulation océanique. Les courants profonds sont thermohalins, c'est à dire qu'ils sont produits par les différences de température et de salinité, donc de densité, entre les différentes couches d'eau de l'océan. Les couches les plus denses se dirigent vers le fond.

Continuité de la circulation océanique :

Localement, des eaux profondes remontent à la surface (courants ascendants ou upwelling) soit poussées par la venue de nouvelles masses d'eaux froides qui s'enfoncent et viennent chasser celles qui les précèdent, soit pour combler des déficits de masses d'eaux créés ponctuellement en surface dans certaines régions par les courants de surface. Ces courants de surface peuvent être dus aux vents, qui créent des zones de divergence, ou bien à l'action de la force de Coriolis qui dévient les courants longeant les côtes ouest vers le large. Cette déviation de Coriolis est responsable de l'accumulation des eaux vers l'Ouest et d'un déficit à l'Est qui est comblé par la remontée des eaux profondes.

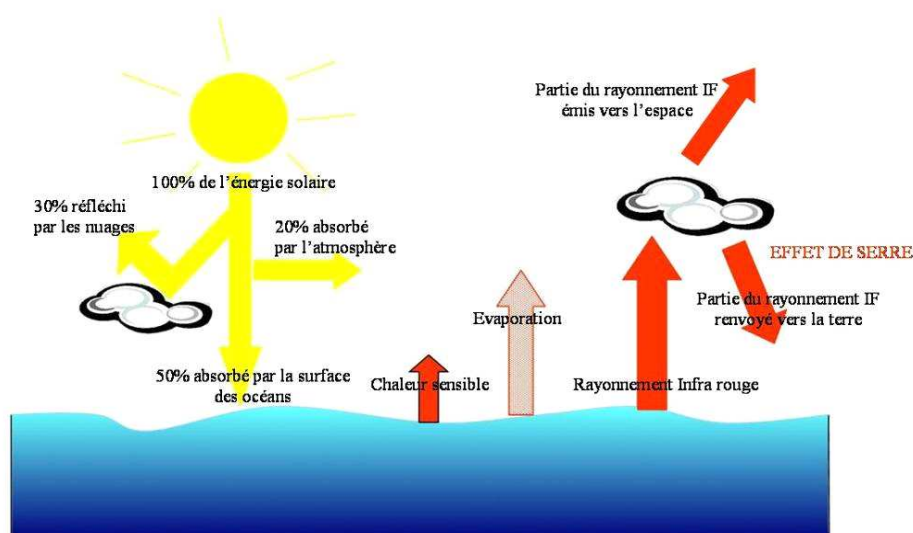
Dans les régions polaires, lors de la formation de la banquise, la glace qui se forme expulse le sel ce qui rend encore plus dense l'eau non gelée autour d'elle. Cette eau devient alors trop dense pour rester en surface et « plonge » vers les profondeurs.

Les zones de courants ascendants et descendants sont des régions où des mouvements verticaux mettent en relation les circulations d'eau profonde et de surface. Les courants de surface et profonds sont donc interconnectés, d'où l'expression imagée de « tapis roulant » qui est souvent employée pour les décrire.

Influences des océans :

Bilan énergétique de la Terre, effet de serre et océans :

Sur la fraction d'énergie solaire qui atteint la surface du globe, une partie est absorbée, réchauffant la surface de notre planète, mais une autre partie est restituée dans l'atmosphère sous forme de rayons infrarouges. Ceux-ci sont à leur tour absorbés par les nuages et certains gaz qui se trouvent dans l'air. Ces gaz renvoient une partie de ce rayonnement vers l'espace, mais l'autre partie est renvoyée vers la surface terrestre réchauffant ainsi les basses couches de l'atmosphère : c'est *l'effet de serre*. Sans ce phénomène, la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18°C au lieu des 15°C actuels. L'effet de serre est donc un phénomène à la fois naturel et indispensable.



Bilan énergétique de la Terre

Les océans influent profondément sur *l'effet de serre*, de par leur capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur qui est très supérieure à celle des terres émergées. Ainsi, si la surface de la Terre n'était que solide, il y régnerait des températures extrêmement élevées le jour et basses la nuit. Cela fait donc de l'océan un immense réservoir de chaleur et une composante essentielle du système global (atmosphère, glace, océan) régulant la température à la surface de notre planète.

Conséquences climatiques des courants océaniques :

L'ensoleillement réchauffe inégalement la Terre et, grâce à leur forte inertie thermique et aux courants qui les animent, les océans restituent la chaleur qu'ils ont stockée dans les régions tropicales vers l'atmosphère des plus hautes latitudes. Ils contribuent ainsi de façon aussi importante que l'atmosphère à redistribuer la chaleur à la surface de la planète. Ainsi, ils régulent et dispersent la chaleur des continents qu'ils bordent et entretiennent l'humidité de l'air ; ils tempèrent les changements thermiques saisonniers des masses d'air, qui autrement seraient beaucoup plus importants. Les courants marins de surface influencent plus localement les climats. Ainsi, le courant chaud du *Gulf Stream* tempère le climat de la côte ouest atlantique : à même latitude, la région des îles britanniques est plus chaude que la côte du Québec qui subit le courant froid du *Labrador*.

Une interruption du tapis roulant reliant les courants de surface et profonds peut se traduire par des dérèglements climatiques importants (ou en être une conséquence, selon les époques). Ce tapis roulant avait fortement ralenti vers 2001, mais a redémarré (peut-être provisoirement) en 2008, grâce à un hiver froid. De même, périodiquement, dans la région du pacifique, les courants océaniques sont à l'origine d'une perturbation climatique dont les conséquences se font sentir jusque dans l'océan indien. En situation normale, le courant froid du *Pérou*, engendré par les alizés, circule le long de la côte ouest de l'Amérique du Sud s'accompagnant de remontées d'eaux froides profondes très salées. Or tous les 2 à 7 ans, les alizés faiblissent pour des raisons encore mal connues et le courant d'eaux froides est remplacé par un courant côtier plus chaud et moins salé. La forte évaporation qui en résulte provoque des pluies torrentielles s'étendant des côtes du Pérou à la Californie. Ce phénomène ayant lieu vers Noël, il porte le nom d'*El niño* (Jésus en espagnol)

Renforcement de l'effet de serre et conséquences sur les océans :

Certaines activités humaines sont responsables des modifications de la composition de l'atmosphère. Des quantités considérables de gaz (CO₂, méthane, vapeur d'eau, oxyde d'azote) sont libérées. Ces gaz renvoient une grande partie des rayonnements infrarouges vers la surface de la Terre d'où une augmentation anormale de la température, notamment depuis ces 20 dernières années. C'est le renforcement de l'effet de serre.

Le renforcement de l'effet de serre a pour conséquence un réchauffement climatique. De celui-ci découle une augmentation significative de la température entraînant une élévation du niveau des mers (10 à 25cm en moyenne depuis un siècle) et une amplitude plus importante de certains phénomènes climatiques liés aux courants marins et une fonte des glaces.

La dilatation thermique de l'océan sera le facteur principal de variation du niveau marin en cas de réchauffement du climat. Le réchauffement de l'atmosphère s'accompagnera d'un réchauffement progressif des couches supérieures de l'océan. Ce réchauffement, qui est beaucoup plus lent à se mettre en place du fait d'une inertie thermique plus importante de l'océan que de l'atmosphère, sera aussi beaucoup plus lent à s'inverser. Le réchauffement de l'océan s'accompagnera inévitablement d'une augmentation de son volume par dilatation thermique.

Le réchauffement climatique, en entraînant des modifications de la circulation des courants marins, aura des conséquences importantes pour certains pays littoraux. Ce sera notamment le cas pour les pays du Sud directement affectés par les phénomènes océaniques dans la zone intertropicale, dont *El Niño* est l'exemple le plus connu. En Europe, l'évolution du Gulf Stream est suivie avec attention puisque ce courant chaud, qui prend naissance au large de la Floride, explique en grande partie la douceur du climat sur nos côtes. Les conséquences d'un apport d'eaux froides et douces en Atlantique Nord (dû à la fonte des glaces) sur le fonctionnement de ce système complexe sont assez difficiles à appréhender et font débat chez les scientifiques : certains prévoyant un choc climatique dès 2020, d'autres estimant que le Gulf Stream ne serait pas en train de s'affaiblir.

La fonte des glaces, provoquée par le réchauffement climatique, n'aura pas les mêmes effets, selon la nature des glaces. En effet, il faut distinguer les glaces continentales -calottes de l'Antarctique et du Groenland- des banquises -glaces de mer s'étendant dans l'océan Arctique et autour de l'Antarctique. En effet, comme les glaces de mer flottent, elles déplacent un volume d'eau de mer dont le poids est égal au poids de la glace (principe d'Archimède). Quand cette glace océanique fondra, l'eau de fonte occupera exactement le volume d'eau de mer que la glace occupait, sans modifier le niveau marin. En revanche, la fonte des glaciers continentaux élèvera le niveau de la mer.

Si aucune mesure significative n'est prise d'ici 2030 pour enrayer ce phénomène, le réchauffement climatique aura de multiples impacts sur le milieu océanique lui-même mais aussi sur les continents. Ainsi, une augmentation de la température superficielle -notamment des eaux côtières, aura des conséquences sur le niveau de la mer et la teneur en dioxyde de carbone dissous (baisse du pH de l'eau de mer), se traduisant par un bouleversement des écosystèmes. Sur les continents, quelques-unes des conséquences inévitables seront la fonte de la calotte glaciaire, l'inondation de certaines régions côtières (îles basses, plaines

deltaïques comme celle du Nil, le Bangladesh ou la Camargue), l'augmentation des précipitations en raison de la forte évaporation et de grandes perturbations des climats.

Autres conséquences des courants océaniques :

Outre le transfert de chaleur, les courants océaniques permettent aussi des transferts de matières qui sont fondamentaux à la vie.

Dans les zones d'upwellings, les courants marins ramènent ainsi en surface des eaux richement chargées en sels minéraux favorisant la production de phytoplancton, point de départ des chaînes alimentaires marines. Ceci rend ces zones parmi les plus poissonneuses du monde.

Les eaux polaires froides descendantes jouent un rôle essentiel pour le maintien de la vie en profondeur car elles y apportent le dioxygène qui ne peut être apporté par le brassage mécanique du vent. Ainsi, un réchauffement climatique peut entraîner l'arrêt de cette circulation et l'anoxie dans les eaux profondes. Un tel événement anoxique s'est par exemple produit au Crétacé et s'est traduit par une mortalité en masse dont témoigne le dépôt de sédiments noirs réduits (les black shales).

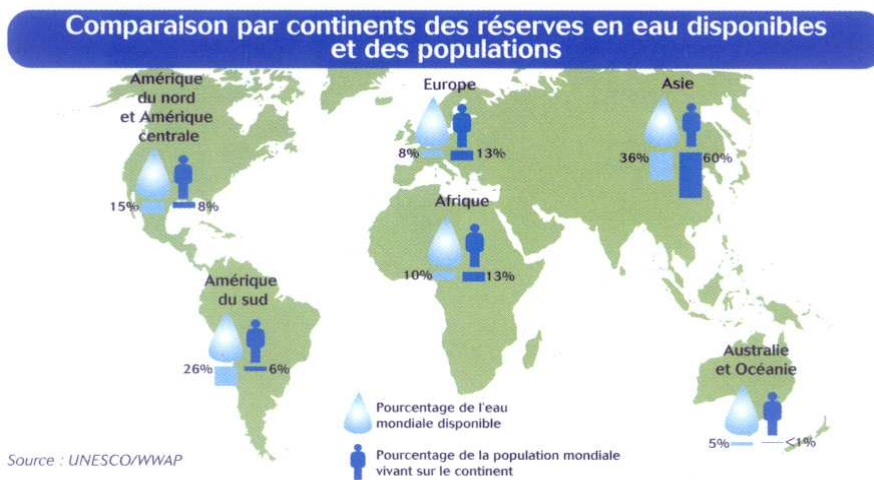
Gérer la ressource en eau douce vers un développement durable :

Les besoins en eau douce et le développement :

L'eau douce disponible est en quantité définie alors que la population ne cesse d'augmenter. La consommation d'eau a elle aussi augmenté à partir de 1950. C'est l'irrigation bien plus que la demande industrielle qui a progressé. Elle représente les $\frac{3}{4}$ de l'eau douce mondiale prélevée.

Les Nations Unies ont créé un programme pour tenter de trouver des solutions durables à ce problème qui affecte le développement de l'humanité. Ce "programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau pour le développement, le renforcement des capacités et l'environnement" vise à développer les outils et les compétences nécessaires à une meilleure compréhension des processus fondamentaux, des pratiques de gestion et des politiques qui contribueront à améliorer l'approvisionnement de la planète en eau douce et sa qualité.

Années	Faits.
1950	ressources mondiales : 17 000 m ³ d'eau par personne.
1980	10 mégapoles de plus de 10 millions d'habitants.
1995	ressources mondiales : 7 500 m ³ d'eau par personne.
2005	30% de la population n'a pas assez d'eau douce. 1,1 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable. 2,5 milliards de personnes n'ont pas de système d'assainissement. 450 millions de personnes confrontées aux problèmes de pénuries d'eau. 15 000 personnes meurent chaque jour d'un problème lié au manque d'eau potable.
2025	50% de la population n'a pas assez d'eau douce. 50 mégapoles de plus de 10 millions d'habitants. ressources mondiales : 5 100 m ³ d'eau par personne.
2050	2,5 milliards de personnes confrontées aux problèmes de pénuries d'eau.



La figure ci-dessus indique le coefficient de disponibilité en eau par rapport à la population. La comparaison mondiale de ces coefficients souligne les disparités entre les continents. On remarquera notamment les pressions exercées sur l'Asie qui abrite plus de la moitié de la population mondiale et ne possède que 36% des ressources en eau de la planète.

La répartition sur la Terre du cycle de l'eau est inégale selon les climats. Les régions équatoriales continentales qui connaissent le phénomène de mousson, la façade tropicale orientale des continents et les zones tempérées sont les plus arrosées. A l'inverse, les régions situées le long des tropiques sont marquées par l'aridité. Ainsi, près de la moitié de l'eau douce accessible sur Terre est répartie sur une dizaine de pays seulement : Brésil, Russie, Chine, Canada, Indonésie, Etats-Unis, Colombie, Zaïre. Tandis que, de nombreuses régions du monde au climat aride connaissent une situation de « stress hydrique » (= situation critique caractérisée par une disponibilité en eau comprise entre 1 000 et 1700 m³/hab/an).

Plus de 300 millions d'Africains n'ont pas accès à l'eau potable et les systèmes d'assainissement pour les eaux usées sont très peu développés. L'eau peut être aussi source de conflits quand les fleuves traversent plusieurs Etats : l'Egypte et le Soudan se partagent près de 90% des eaux du Nil, la Turquie contrôle 98% du débit de l'Euphrate, le Gange et l'Indus divisent le sous-continent indien.

Les différents usages de l'eau douce :

Les hommes utilisent de plus en plus l'eau pour des besoins croissants. La consommation augmente tous les vingt ans depuis les années 1950. En 2008, les prélèvements atteignent 3830 km³ soit 571 m³/hab./an.

Les ressources en eau sont utilisées différemment selon les pays. En effet, l'utilisation de l'eau à des fins industrielles augmente en fonction des revenus des pays. De 10 % dans les pays à faible revenu et à revenu moyen inférieur, elle passe à 59 % dans les pays à revenu élevé.

Ainsi, en France, la répartition est la suivante :

	% des prélèvements	% de la consommation nette par rapport au prélèvement
Agriculture	11	68
Industrie	12	5
Energie	59	3
Eau potable	18	24

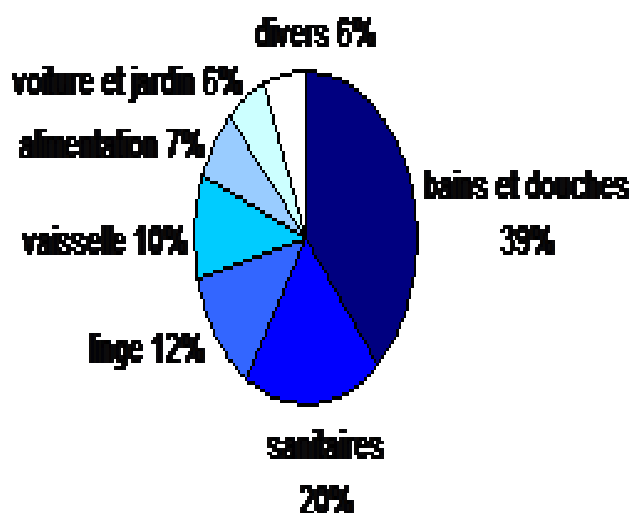
L'eau prélevée est en partie restituée comme le montre les données du tableau ci-dessus. Ainsi, d'importantes quantités d'eau sont prélevées pour la production d'énergie mais une grande partie est restituée dans la nature, avec un minimum de dégradation. Par contre, certaines cultures sont très consommatrices d'eau : par exemple, le maïs représente 50% de la **consommation agricole**.

Les secteurs industriels les plus consommateurs d'eau sont la métallurgie, la chimie, l'agroalimentaire, les raffineries de pétrole et la fabrication de la pâte à papier.

Exemples : 25 litres d'eau sont nécessaires pour fabriquer 1 litre de bière
 10 000 litres d'eau sont nécessaires pour fabriquer 1 automobile

Répartition des usages domestiques de la consommation d'un individu

(en moyenne 150 litres d'eau par individu et par jour)



La **consommation privée** n'est pas négligeable. En France, un individu consomme en moyenne 150 litres d'eau par jour pour ses divers usages domestiques (voir figure ci-dessus). Il faut y ajouter les consommations collectives (écoles, hôpital, lavage des rues...). Ainsi chacun consomme en moyenne 200 litres d'eau par jour. C'est 70 fois plus qu'un habitant du Ghana et 3 fois moins qu'un Américain.

La dégradation de la qualité de l'eau douce et ses conséquences :

La dégradation de la qualité de l'eau peut avoir de multiples sources.

Origines de la dégradation de l'eau douce :

La pollution agricole provient principalement des engrais (nitrates), lisiers et purins épandus. Les pesticides utilisés pour le traitement des cultures sont également une source connue de dégradation des ressources en eau. Sous l'appellation "produits phytosanitaires" se cachent en fait une multitude de substances, dont la rémanence dans l'eau peut varier d'une molécule à l'autre.

Les rejets industriels sont variés : matières organiques et graisses (abattoirs, productions alimentaires...), hydrocarbures (transports...), métaux (traitements des surfaces...), eaux chaudes (centrales thermiques). Dans les pays en développement, 70% des déchets industriels sont rejetés dans l'eau sans traitement préalable et polluent ainsi des ressources hydriques utilisables.

Les eaux usées domestiques contiennent des graisses, urines, fécès, savons et détergents.... Ces eaux sont ensuite généralement acheminées vers des stations d'épuration et, en sortie d'usine, la majorité des polluants sont éliminés. Le développement des équipements de collecte et de traitement des eaux usées (l'assainissement) vise précisément à réduire l'impact de la pollution domestique et d'une partie de la pollution industrielle. Malheureusement, une partie des polluants n'est pas traitée à ce jour.

La pollution atmosphérique, par le phénomène de lessivage, peut engendrer **des pluies acides***. Les pluies acides se forment lorsque les oxydes de soufre et d'azote s'associent à l'humidité de l'air pour libérer de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Le monoxyde d'azote NO provient des gaz d'échappement, le dioxyde de soufre SO₂ de la combustion des carburants fossiles, qui contiennent du soufre. Ce phénomène altère les eaux superficielles et souterraines, perturbant les écosystèmes aquatiques. Dans les Vosges, par exemple, on observe une acidification de certains ruisseaux. Cette acidification est progressive. Lorsque le pH diminue, à partir de pH 5,5 mais jusqu'à des valeurs très basses de 4,5 dans certains cas, on observe une modification de la flore et de la faune aquatique avec une raréfaction puis une disparition des poissons les plus recherchés (salmonidés). Cette pollution n'épargne pas les monuments historiques construits en roches calcaires. Ainsi, le Parthénon à Athènes, le Colisée à Rome et la plupart des monuments européens sont d'ores et déjà gravement endommagés par les pluies acides (au sens large, c'est-à-dire les précipitations humides et les dépôts secs).

Une mauvaise qualité de l'eau peut avoir :

- Des conséquences sanitaires :

Les *maladies hydriques* sont des maladies causées par la consommation d'une eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. Elles comprennent, entre autres, le choléra, la typhoïde, la polio, la méningite, l'hépatite A et E, la diarrhée. Ces maladies sont dues à la mauvaise qualité de l'eau, et la plupart peuvent être évitées si l'eau est traitée avant d'être utilisée.

Les *maladies d'origine aquatique* sont des maladies causées par des organismes aquatiques qui passent une partie de leur vie dans l'eau et une autre en tant que parasites.

- Des conséquences écologiques :

La pollution des ressources en eau se traduit par la dégradation des écosystèmes aquatiques. Comme tout milieu naturel, un écosystème aquatique dispose d'une capacité propre à éliminer la pollution qu'il subit : c'est sa capacité "d'autoépuration". Cependant, lorsque l'apport de substances indésirables est trop important, que cette capacité épuratoire est saturée, les conséquences écologiques peuvent être de différentes natures (eutrophisation, féminisation des gonades de poissons mâles, malformation de larves...).

Ainsi, un apport accidentel massif de substances toxiques peut provoquer une catastrophe écologique spectaculaire au niveau de la faune aquatique.

- Des conséquences économiques :

Les sociétés économiquement développées ont fini par prendre conscience, ces dernières décennies, que l'augmentation continue des pollutions et des prélèvements d'eau risquait de compromettre le développement futur. Par exemple, en France, dans les années 60, la situation des cours d'eau a fait craindre pour la croissance industrielle.

Les technologies pour palier aux besoins en eau douce :

Les trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts d'eau mais d'eau salée malheureusement. Ces réservoirs que sont les océans font rêver : et s'il était possible de transformer cette eau salée en eau douce ? Cela résoudrait en effet toutes les difficultés de pénurie d'eau que connaissent beaucoup de pays, car nombre d'entre eux ont un accès aux océans, quand ils ne disposent pas d'un littoral maritime conséquent.

En fait, dessaler l'eau de mer de manière à la rendre consommable est possible. On dispose même aujourd'hui de nombreux systèmes dont beaucoup ont atteint le stade industriel. Les deux procédés les plus couramment utilisés sont la distillation et l'osmose inverse. La technique du dessalement d'eau de mer est utilisée par Israël, l'Arabie saoudite ou le Koweït.

L'inconvénient majeur de ces systèmes est qu'ils sont très coûteux. Les installations sont peu rentables : les quantités d'énergie nécessaires au chauffage ou à la compression de l'eau sont trop élevées, et les volumes d'eau produits trop faibles. L'utilisation de cette technique de production d'eau potable reste donc encore très marginale. Actuellement, ce procédé produit moins de 1% de l'eau potable dans le monde puisque seuls certains pays ne disposant que de très faibles ressources en eau mais suffisamment riches (comme le Koweït et l'Arabie Saoudite), utilisent le dessalement de l'eau de mer pour produire l'eau douce destinée à la consommation humaine. La Chine a également commencé à dessaler l'eau de mer en 2004.

Il est également possible de déplacer la ressource en eau en pratiquant des « transferts d'eau ». Il s'agit de mettre en place des aménagements permettant de transférer l'eau entre bassins hydrographiques différents ou en provenance de sources souterraines vers une région dépourvue de ressources. Par exemple, l'eau du Rhône est transférée et alimente la ville de Barcelone.

Au Chili, de grands filets piègent chaque jour 60 000 litres d'eau des brumes matinales. Chaque capteur fournit assez d'eau pour irriguer un hectare de cultures.

Mais aujourd'hui, la maîtrise de l'eau consiste avant tout à stocker la ressource. Les techniques hydrauliques permettant ce stockage sont de plus en plus complexes par leur taille et le volume stocké. Les premiers barrages sont apparus dans les années 1930 comme Hoover aux Etats-Unis. Aujourd'hui, de grands pays émergents comme la Chine avec le barrage des Trois gorges ou des pays en développement comme le Cambodge continuent de lancer ces types d'aménagement pourtant controversés du point de vue environnemental.

Economiser l'eau douce :

Tous les petits gestes comptent :

Couper l'eau quand on se brosse les dents, quand on se lave les mains. Un robinet qui coule inutilement pendant 3 minutes transforme 36 L d'eau propre et potable en eau sale dans les conduites d'évacuation.

Préférer la douche au bain. Cela économise au moins 100 litres d'eau.

Arroser le soir, quand l'évaporation est faible, avec de l'eau de pluie récupérée.

Utiliser un arrosage au goutte à goutte : on obtient le même résultat avec quatre fois moins d'eau.

Contactez le service pédagogique de
l'E.C.O.L.E de la mer :
05 46 50 30 30
pedagogie@ecoledelamer.com

Un rendez-vous avec les enseignants du service éducatif permettra de construire ensemble votre projet pédagogique. Notre équipe est également à votre disposition pour toute demande particulière.