

L'eau douce



l'eau douce

Une exposition de la cité des Sciences et de l'Industrie



Conception :
Pierre Lefort
Rédaction :
Dominique Vitale
avec la collaboration
de Michel Emeriaud
et d'Ariane Ferry
Iconographie :
Dominique Alfonsi
Graphisme :
Studio graphique CSI
Peintures :
Alexandre Hollan
Coordination :
Cellule Itinérance CSI

Commencement de l'eau



L'eau est plus vieille que la Terre. Elle existait déjà dans l'univers quand la Terre s'est formée il y a 4 milliards et demi d'années.

Débuts de la Terre. C'est encore une sphère chaude où se mêlent de nombreux éléments.

L'eau est déjà là, enfermée dans les roches des profondeurs. Jaillissant par les volcans, c'est sous forme de vapeur qu'elle se sépare des éléments solides pour former, avec d'autres gaz, la première atmosphère de la Terre.

Puis la planète se refroidit et la vapeur se condense en pluies diluviennes : pendant des millions d'années, l'eau ruisselle sur le sol.

Elle emporte au passage tellement de sels minéraux qu'elle est devenue "eau de mer" lorsqu'elle s'accumule en océans.

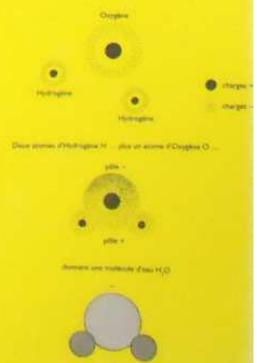
Pendant ce temps, dans l'atmosphère, les pluies et la vapeur d'eau, moins riches en minéraux, constituent les premières réserves d'eau douce.

Gaz s'échappant d'un volcan. Outre les vapeurs d'eau, les éruptions peuvent libérer du gaz carbonique, du chlore, du gaz sulfureux... A l'origine de la Terre, l'activité volcanique était beaucoup plus intense qu'aujourd'hui.

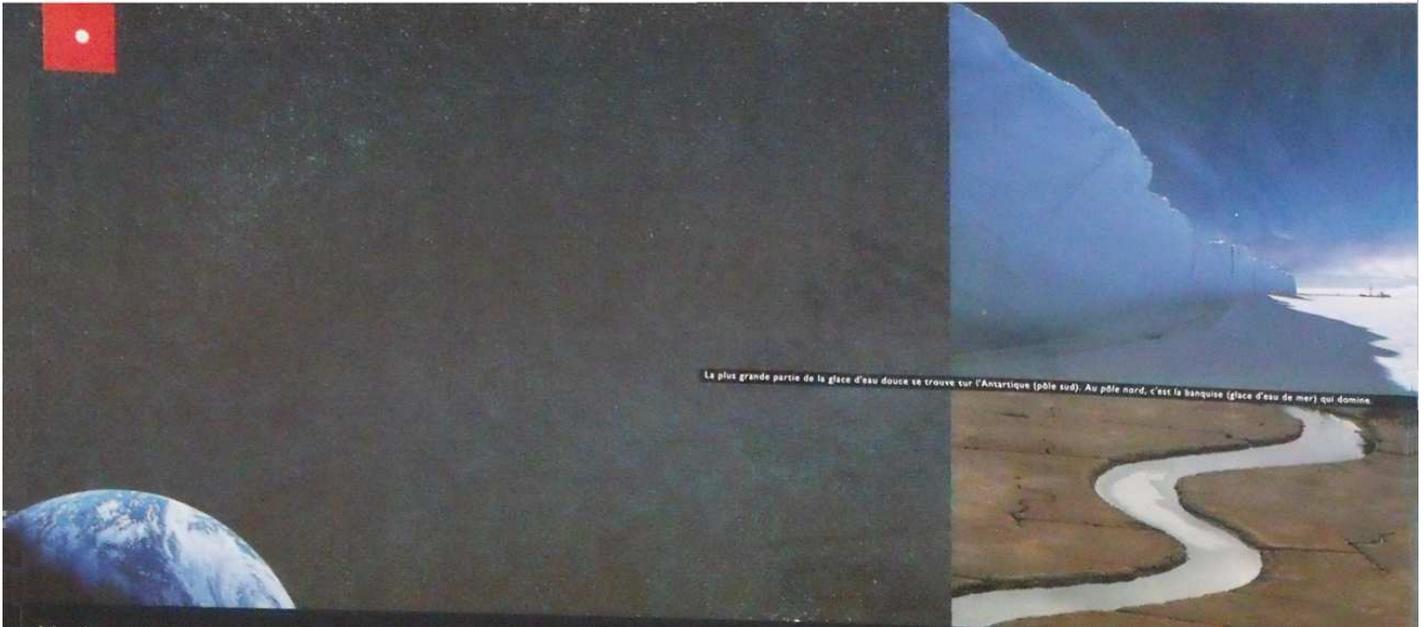


Molécule d'eau

Chaque atome possède un noyau central qui porte des charges électriques $+$ et $-$ et des électrons périphériques qui portent des charges $-$. Quand les atomes sont réunis en molécule, ils se partagent certains de leurs électrons. L'atome d'oxygène attire plus les électrons que les 2 atomes d'hydrogène. Ce déséquilibre crée un pôle électrique $-$ du côté de l'oxygène et un pôle $+$ du côté des hydrogènes : la molécule d'eau est une molécule "polaire" (bien d'autres molécules le sont aussi).



Toute l'eau de la Terre



La plus grande partie de la glace d'eau douce se trouve sur l'Antarctique (pôle sud). Au pôle nord, c'est la banquise (glace d'eau de mer) qui domine.

Il faudrait un cube de plus de mille kilomètres de côté pour contenir l'eau de la planète. Mais l'eau de notre terre est salée à 97%.

La masse totale de l'eau terrienne ne varie pas, mais l'eau circule en permanence entre la mer, le ciel et la terre ferme. Les ressources en eau douce de chaque région du monde dépendent étroitement de cette circulation.

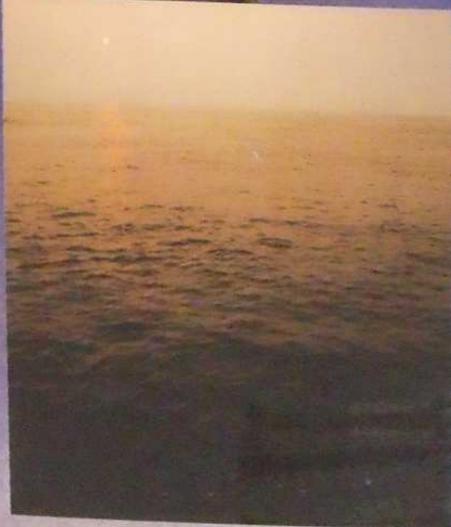
Nous ne pouvons pas mesurer directement la quantité d'eau présente sur Terre.

Les calculs permettent cependant de proposer une estimation : plus d'un milliard de km³.

L'eau douce est très minoritaire : seulement 3% de la masse globale. Encore les 3/4 sont-ils gelés aux deux pôles. Restent 8 millions de km³ d'eau douce liquide, on serait tenté d'ajouter : une goutte d'eau !

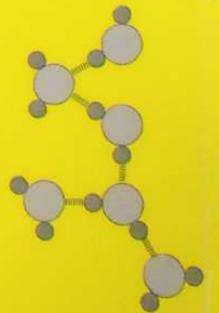


Dépôt naturel de sel dans la mer Morse, en Israël.

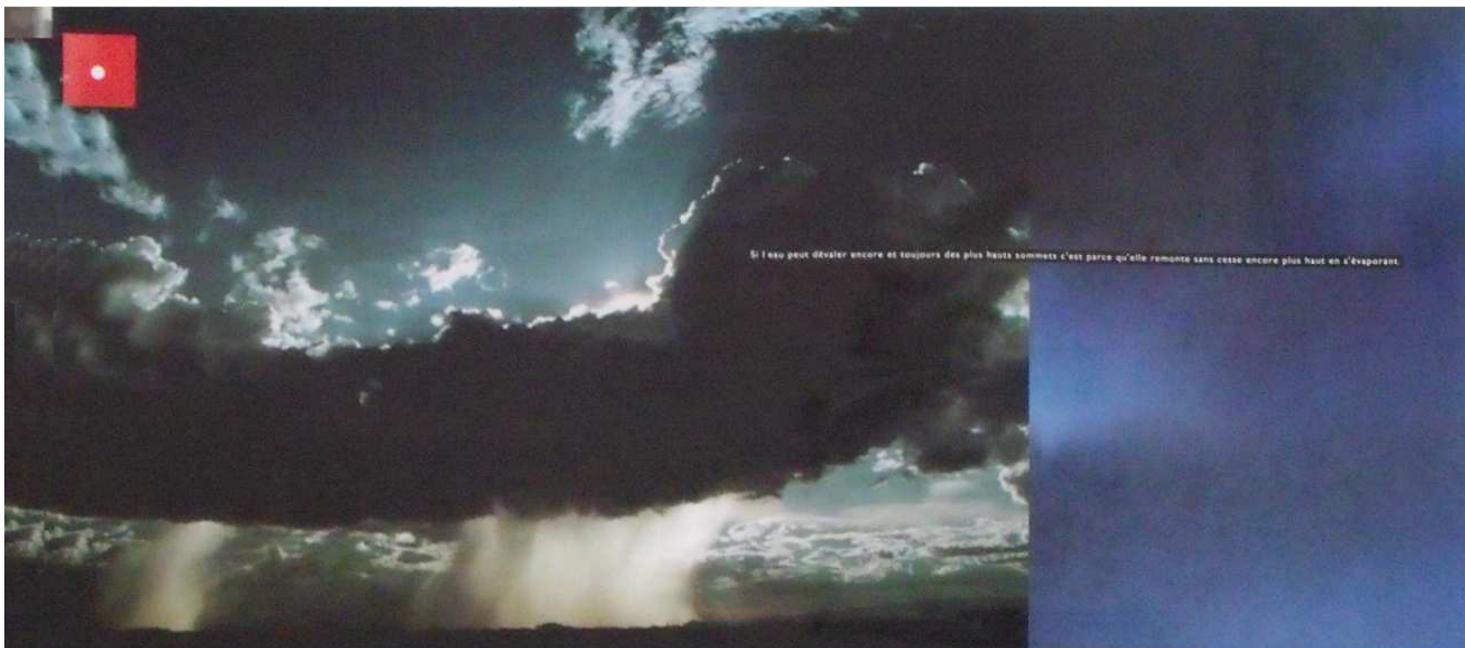


Liaison hydrogène

Dans la moindre goutte d'eau il y a des milliers de milliards de milliards de molécules d'eau. Comme leurs pôles "+" et leurs pôles "-" s'attirent, les molécules se rapprochent de façon à ce que chaque hydrogène de l'une se place près de l'oxygène d'une voisine. Cette liaison O...H entre deux molécules différentes s'appelle "liaison hydrogène". Elle a une direction privilégiée et une longueur précise. Elle est moins forte que les liaisons entre atomes d'une même molécule.



Eau vole !



Si l'eau peut dévaler encore et toujours des plus hauts sommets c'est parce qu'elle remonte sans cesse encore plus haut en s'évaporant.

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau monte, invisible, dans l'atmosphère. Cette ascension fait d'elle un réservoir d'énergie pour la Terre.

Chaque jour, mille kilomètres cubes d'eau s'évaporent des océans. Mélangée à l'air, l'invisible vapeur est poussée par les vents tout autour de la Terre.

En s'évaporant l'eau emmagasine de la chaleur. Parce qu'elle a pris de la hauteur, elle va pouvoir également libérer, par sa chute, l'énergie de son propre poids.

Tôt ou tard, sous l'action du froid rencontré en altitude, la vapeur se condense : l'eau libère sa chaleur et redevient visible.

Les gouttelettes sont d'abord microscopiques; elles se rassemblent en nuages, en brouillard. Puis elles s'unissent en gouttes plus grosses. Leur poids finit par les faire tomber en pluie.

Atmosphère saturée d'eau

Goutte de rosée

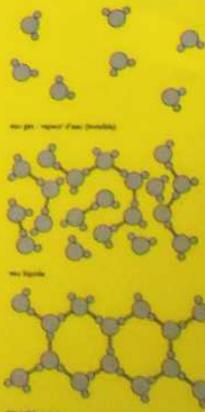
La neige, une des formes de redescente de l'eau sur terre.

Gaz, liquide, solide

Vapeur d'eau : les molécules d'eau sont éloignées les unes des autres, elles se déplacent en tout sens et s'entrechoquent sans cesse.

Eau liquide : les molécules d'eau sont en contact, elles "roulent" les unes sur les autres et se lient en petits groupes qui se font et se défont continuellement.

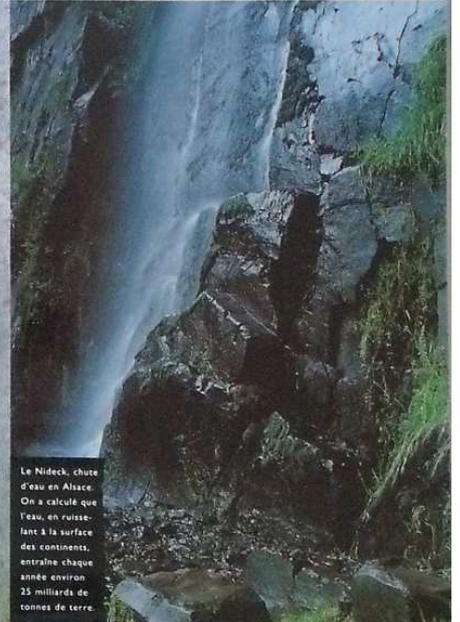
Glace : les molécules d'eau ne peuvent plus se déplacer mais seulement vibrer. Elles forment une construction régulière, un cristal, car leurs liaisons hydrogène deviennent permanentes et les maintiennent toutes à distance fixe les unes des autres.



Après la pluie



Rivière en crue. Les inondations font partie du rythme naturel d'un cours d'eau. L'eau s'infiltra dans le sol, y dépose le limon (très fines particules de terre) et s'accumule dans le sous-sol.



Le Nidéc, chute d'eau en Alsace. On a calculé que l'eau, en ruisseant à la surface des continents, entraîne chaque année environ 25 milliards de tonnes de terre.

Ruisseaux, rivières, fleuves... L'eau modèle nos paysages. Des profondeurs de la terre à l'air libre, elle poursuit sa vie secrète.

Entraînée par son propre poids, l'eau suit les pentes du relief. Au passage, elle décompose les roches en une terre fertile qu'elle charrie avec elle.

Devenue rivière, elle dépose ce limon dans la vallée.

Avec les ans, le fleuve travaille et modifie son cours. Au fil des saisons, il échange de l'eau avec son sous-sol.

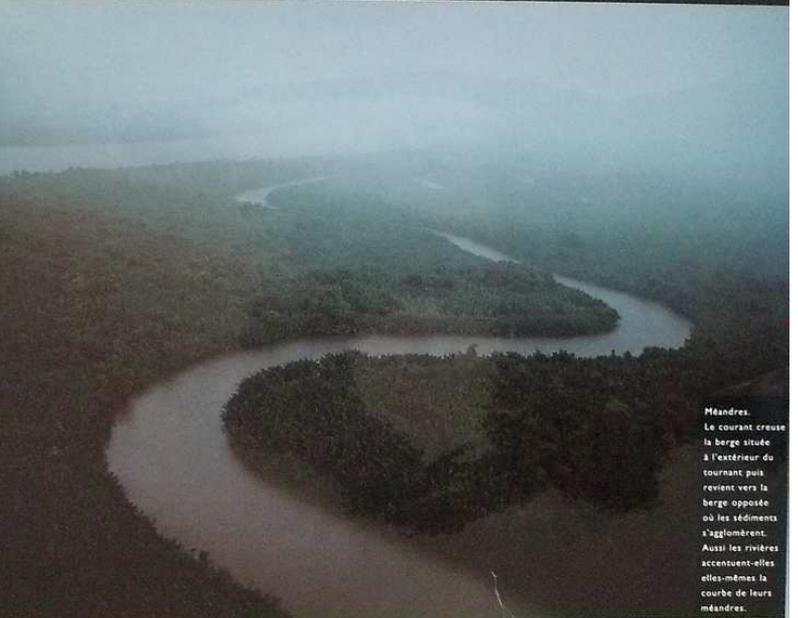
Pour les hommes, les cours d'eau sont des repères fixes. Nous leur donnons des noms, nous connaissons leur tracé.

Pourtant la présence d'eau à tel endroit est la conséquence d'un équilibre instable entre les pluies, l'eau souterraine et la vapeur qui s'échappe du lit des rivières.



Ci-contre : rivière au Québec. Les gaz industriels répandus dans l'atmosphère sont entraînés par l'eau de pluie. Le sol résiste mieux que les lacs et les rivières. Ce sont eux qui, les premiers, ont révélé le phénomène des pluies acides.

Ci-dessous : estuaire au Japon. En fin de parcours, l'eau du fleuve s'écoule lentement. Les sédiments les plus fins achèvent de se déposer. Au contact de l'eau de mer, ils se regroupent en flocons.

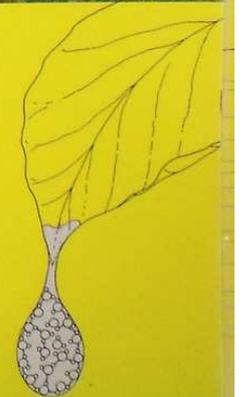


Méandres. Le courant creuse la berge située à l'extérieur du tournant puis revient vers la berge opposée où les sédiments s'agglomèrent. Aussi les rivières accentuent-elles elles-mêmes la courbe de leurs méandres.

Tension superficielle

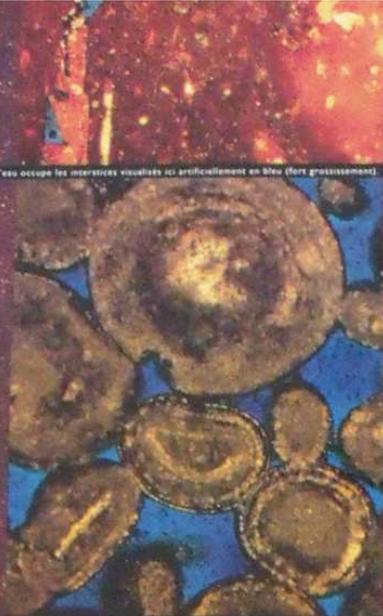
Dans les liquides, les molécules s'attirent fortement les unes les autres. Celles de la surface ne sont attirées par leurs voisines que latéralement et vers l'intérieur du liquide. Elles forment ainsi une sorte de "peau" élastique tendue à la surface.

Cette tension superficielle est particulièrement grande dans le cas de l'eau, à cause des liaisons hydrogène qui lient fortement les molécules entre elles. Elle permet à l'eau de former des gouttes plus grosses que d'autres liquides.



Sous nos pieds

Différentes coupes dans une roche aquifère. L'eau occupe les interstices visualisés ici artificiellement en bleu (fort grossissement).



L'eau du sous-sol est aussi une eau vive qui circule, s'enfonce ou rejaille au gré des événements qui se produisent là-haut, à la surface.

Sous le sol, l'eau n'est pas immobile. A raison d'un mètre ou d'un kilomètre par jour, elle s'enfonce jusqu'à buter sur un terrain imperméable. Ainsi se constitue une "nappe". Celle-ci n'a rien d'un lac souterrain.

L'eau imbibe la pierre ou se glisse dans ses fissures. A ce contact, l'une et l'autre échangent des sels minéraux.

L'eau progresse en suivant le profil de sa roche-réservoir.

Là où celle-ci affleure, la nappe est en contact avec l'atmosphère, le soleil et les pluies.

Ici elle se remplit, là elle s'écoule sous forme de source :

la nappe se renouvelle.

Ailleurs l'eau se trouve piégée, parfois très profondément, sous une couche de roche imperméable. Dans ce cas le renouvellement est si lent que certaines nappes sont plusieurs fois centenaires.

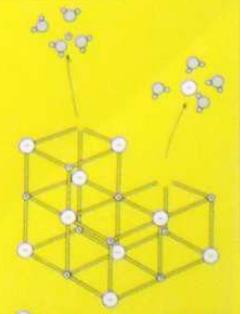


Une stalactite d'aragonite, sorte de calcaire. En ruisselant l'eau dépose à l'extrémité de l'aiguille les minéraux qu'elle a dissout plus haut.

Pouvoir solvant

Les atomes qui composent le sel de cuisine, sodium et chlore, ne sont pas neutres électriquement. Ils sont à l'état d'ions + et d'ions -.

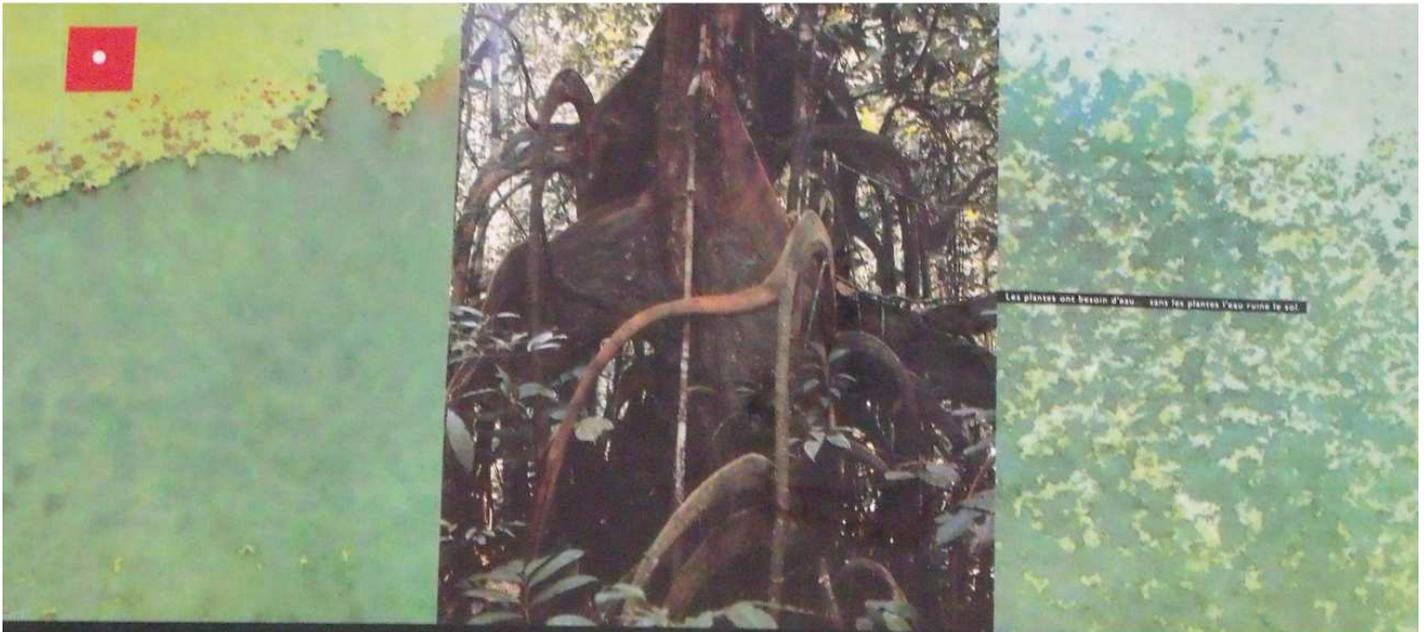
Les molécules d'eau peuvent grâce à leurs pôles électrostatiques, séparer les ions en entourant chacun d'eux : le sel se désagrège, ses ions sont dispersés dans l'eau. Il est dissous. L'eau est en général un bon solvant des solides, liquides et gaz au point qu'il est très difficile de la purifier complètement.



● Chlore (Cl⁻)
○ Sodium (Na⁺)
● Molécule d'eau (H₂O)

Sur l'échelle des pages

L'eau en herbe



Les plantes ont besoin d'eau... sans les plantes l'eau ruine le sol.

Des usines silencieuses pompent sans trêve l'eau du sol. Pour répondre au besoin des plantes, l'eau voyage entre terre et ciel.

Là où pousse une plante, de l'eau monte du sol vers l'atmosphère. Le long de minuscules vaisseaux, elle irrigue chaque rameau, fût-il perché à 40 mètres de hauteur.

Mais la plante ne retient qu'une infime partie de cette eau pour se nourrir de sels minéraux et gonfler ses cellules. Elle en libère 99% sous forme de vapeur, par les stomates, petits orifices situés sous les feuilles. Ceux-ci restent en effet ouverts pour laisser sortir l'oxygène et entrer le gaz carbonique. Un arbre exhale ainsi chaque jour quelques centaines de litres d'eau. Pour cette raison l'air est humide au-dessus des forêts, ce qui favorise les pluies.



Dans les forêts équatoriales, l'évaporation du sol et la transpiration des plantes sont telles que l'air est en permanence saturé de vapeur d'eau.



Stomates sur une feuille d'iris observés au microscope.



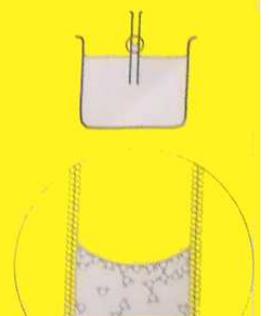
Alchemille vulgaire (Rosacées). L'eau qui transpire des feuilles sort ici directement sous forme liquide.



La sève monte à travers des milliers de cellules alignées bout à bout, et dont il ne reste que la paroi.

Capillarité

L'eau mouille la paroi des tubes et s'adhère en s'étalant vers le haut. À l'intérieur du tube, la surface qui sépare la terre (eau superficielle) est assez petite pour être alors sous pression soulevée par ses bords, d'où la forme en ménisque. Les molécules d'eau adhèrent en des sous-solides l'ascension de la surface. Quand le poids de la colonne d'eau fixée dans le tube devient égal aux forces d'attraction entre paroi et molécules d'eau,



Eau dedans, eau dehors



Crustacé vivant dans l'eau douce des cavernes. On trouve des crustacés dans tous les milieux aquatiques quelle que soit leur salinité.

Ce mille-pattes, le lule, reste dans l'humidité du bois et du sol car son épiderme ne le protège qu'imparfaitement de la dessiccation.



Depuis qu'ils ont quitté la mer, les animaux cherchent à se préserver de l'air qui les dessèche et de l'eau douce qui les fait gonfler.

Tous les animaux contiennent de l'eau, aussi riche en sels que la mer.

Ceux qui vivent en eau douce affrontent donc un milieu beaucoup moins concentré et l'eau tend à entrer dans leur corps comme pour rétablir l'équilibre. Ils compensent cette intrusion en produisant une urine abondante et très diluée.

Les animaux terrestres ont le problème inverse : ils doivent lutter pour garder leur eau. Ceux dont l'enveloppe est perméable ne quittent guère les lieux humides. Les mieux adaptés possèdent une paroi imperméable.

Dans les déserts, certains peuvent réduire presque totalement leurs pertes d'eau. Ailleurs, au creux des mousses et des mares asséchées, de nombreux animaux vivent au ralenti jusqu'au retour de la pluie.

Un coléoptère se penche en avant. L'eau qui recouvre son corps s'écoule alors jusqu'à sa bouche.



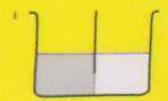
Escargot de Bourgogne. Le mucus qui recouvre son corps le protège de la sécheresse mais en cas de besoin (jours secs d'été ou d'hiver) il renforce sa protection en fermant sa coquille.



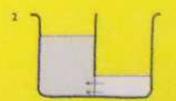
Grenouille rousse. Elle respire en partie par la peau à condition que celle-ci soit humidifiée en permanence.

Osmose

Les molécules de sucre sont plus grosses que celles de l'eau : elles ne peuvent franchir la membrane. C'est l'eau qui passe vers le mélange sucré. Ce phénomène, appelé "osmose", se produit chaque fois qu'une membrane est perméable à l'eau mais pas aux substances qui s'y trouvent. C'est le cas pour les parois des cellules des êtres vivants.



La membrane laisse passer l'eau, mais pas le sucre.



Porteurs d'eau



Fœtus. Chaque
de nous s'est
igné dans l'air.
A la naissance,
nous sommes
cachés sous
notre peau, notre
mer intérieure.

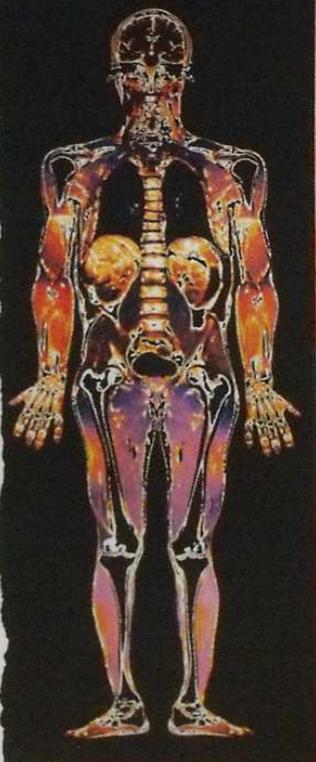
L'eau ne se contente pas d'irriguer notre corps. Elle est le corps. Sans elle, aucune production de matière ni d'énergie ne se ferait.

Une "usine à eau" tourne en permanence dans notre organisme : le rein. Des milliers de filtres où passe et repasse l'eau du sang. Grâce à eux le rein traite et ajuste la quantité d'eau nécessaire au bon fonctionnement de notre corps.

Le sang ne contient qu'à peine 10 % de notre eau totale : c'est en effet à l'intérieur de nos cellules que se trouve la plus grande part.

L'eau assure la dissolution des aliments et de nos molécules organiques (sucres, protéines et ADN). Un fois liée à ces molécules, l'eau les rend capables de réagir, de s'assembler, de stocker ou libérer leur énergie.

Ces réactions produisent une chaleur qui élèverait dangereusement la température de notre corps si l'eau n'assumait une fonction régulatrice. C'est parce que l'eau du sang la véhicule du centre du corps vers sa surface, où elle est évacuée.



Les territoires de l'eau. A partir de signaux émis par les atomes d'hydrogène du corps, la technique de résonance magnétique nucléaire donne une image précise des différents tissus mous.

Capillaires sanguins. Leur fine paroi est une tresse tressée par l'eau qui va et vient du sang aux cellules.



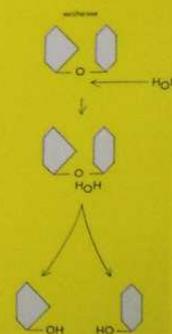
Cellules de l'intestin. Elles transfèrent chaque jour les nutriments et l'eau nécessaires à notre digestion.



Hydrolyse

Dans la réaction ci-contre, l'eau se lie fortement à deux molécules et les sépare en se brisant elle-même en deux. C'est une "hydrolyse" (cassure par l'eau). Inversement, les deux molécules en s'unissant redonnent une molécule d'eau.

Chez les êtres vivants, l'eau agit ainsi comme réactif chimique pour faire ou défaire les réserves de sucres, les protéines et l'ADN mais les réactions se produisent à des vitesses beaucoup plus grandes grâce aux enzymes.



Les manèges de l'eau



Le manque : Désertification en Casamance, Sénégal.



L'équilibre : Un étang dans les Landes.

Combien de fois l'eau repasse-t-elle sous un pont ? Ce que nous appelons le cycle de l'eau est l'entrelacement de trajets multiples.

L'eau traverse la Terre et ses habitants de part en part. Mais son itinéraire ne se réduit pas aux étapes atmosphère, pluies, rivières et océans.

L'eau accomplit un nombre incalculable de petits circuits qui se croisent les uns les autres selon des influences diverses, le relief et la température par exemple.

Ici, aucune pluie océanique ne vient arroser la côte parce qu'un courant marin froid la longe.

Là, le désert côtoie sans transition la forêt équatoriale parce qu'un relief arrête les pluies.

Ailleurs, l'eau ne peut pénétrer dans le sol gelé et s'évapore rapidement sous l'action du vent...

La circulation de l'eau dans le monde n'a rien d'uniforme et d'une région à l'autre, même voisine, les ressources en eau varient considérablement.



Excès : La mousson en Inde.



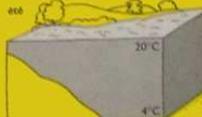
4°C

Quand un liquide est chauffé, l'agitation de ses molécules croît : il se dilate et sa densité diminue.

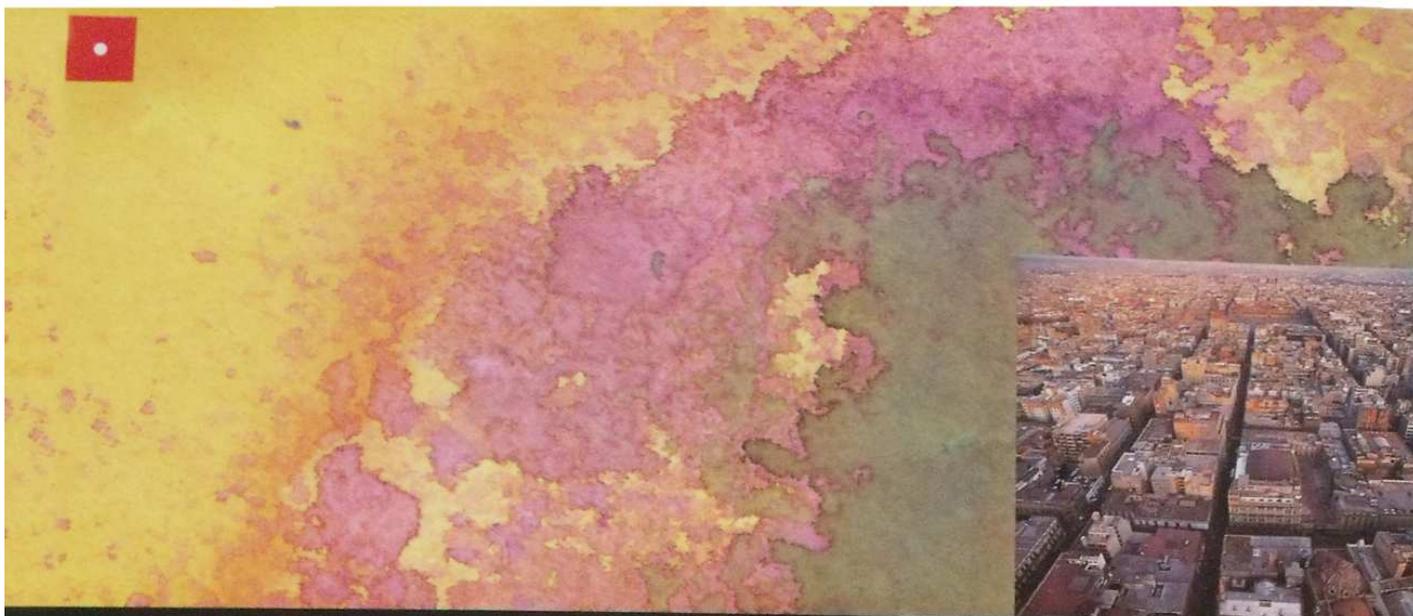
Or, si on chauffe de l'eau à zéro degré elle commence, au contraire, par se contracter. En effet, à ce moment, le nombre de liaisons hydrogène diminue et les molécules libérées se rapprochent des autres.

A partir de 4 degrés, les processus normaux de dilatation reprennent le dessus et la densité de l'eau diminue.

Au bord des lacs des régions tempérées, si le fond de l'eau est assez profond, l'eau est à 4°C en hiver même.



L'eau partagée



Il y a toujours eu la même quantité d'eau sur Terre. Mais, aujourd'hui, nous sommes 5 milliards à l'utiliser.

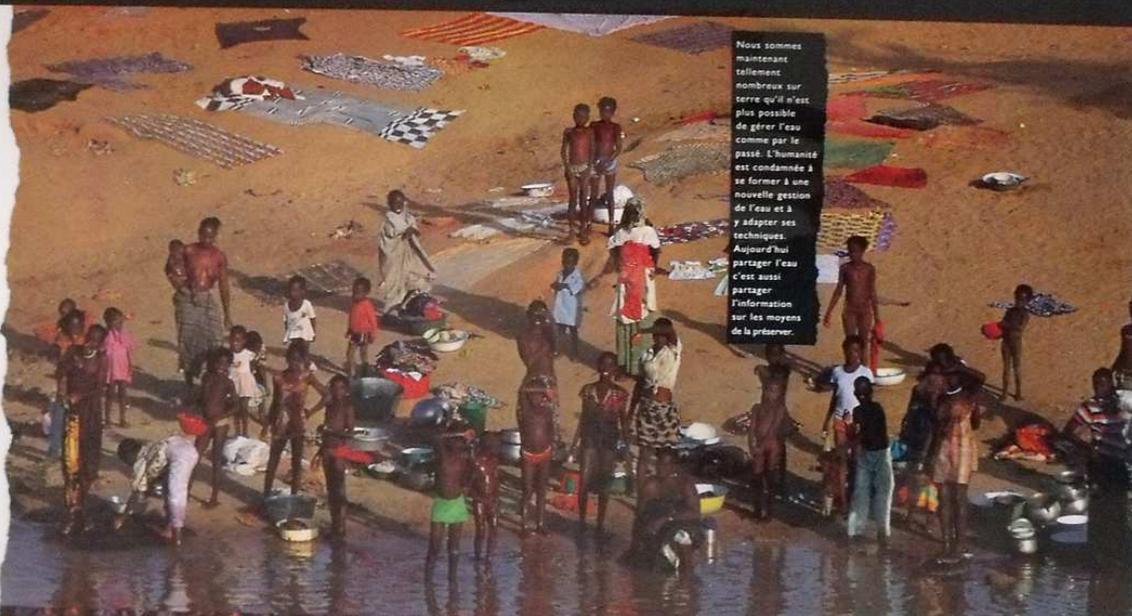
Les premiers hommes ont cheminé en suivant les fleuves, stationné autour des lacs, repéré les sources. En inventant l'agriculture ils conçurent aussi des dispositifs permettant de modifier le cours de l'eau.

A techniques nouvelles, besoins toujours nouveaux : eau qui produit un travail, eau qui lave, eau partout, en libre service, gaspillée souvent.

On multiplie les travaux d'adduction d'eau pour un nombre croissant d'agriculteurs, de citadins et d'industriels.

Au premier siècle de notre ère, la population mondiale a compté 250 millions de personnes ; le chiffre s'était élevé à un milliard au XIX^{ème} siècle.

Aujourd'hui nous sommes cinq milliards à partager la même eau. C'est dire l'enjeu que représentent pour le XXI^{ème} siècle la répartition de l'eau et son utilisation.



Nous sommes maintenant tellement nombreux sur terre qu'il n'est plus possible de gérer l'eau comme par le passé. L'humanité est condamnée à se former à une nouvelle gestion de l'eau et à y adapter ses techniques. Aujourd'hui partager l'eau c'est aussi partager l'information sur les moyens de la préserver.



L'étalon-eau

L'eau a servi de repère pour établir plusieurs unités de mesure actuelles ou anciennes.

■ Degré Celsius

Dans l'échelle Celsius, les repères sont la température de la glace qui fond et celle de l'eau qui bout. On les appelle arbitrairement "zéro" et "cent". Le degré Celsius (en abrégé : °C) s'obtient alors en divisant cet espace en 100 intervalles égaux.

■ Kelvin

Dans l'échelle Kelvin, on utilise un autre repère, plus facile à reproduire avec une grande exactitude : le "point triple" de l'eau. C'est le moment où, au sein d'une masse d'eau, le liquide, la vapeur et la glace coexistent. Dans cette échelle, le degré zéro (0 K) est le "zéro absolu", température où les molécules n'ont plus aucune agitation (0 K = -273,15°C).

■ Calorie

Quantité de chaleur capable d'élever la température d'un gramme d'eau de un degré (exactement de 14,5°C à 15,5°C).

■ Densité d'un liquide ou d'un solide

C'est le rapport entre la masse d'un volume donné de matière liquide ou solide et celle du même volume d'eau à 4°C.

Eau en stock



Barrage de Tignes sur l'Isère : 180 m de haut, capacité : 200 millions de m³. Pour comparaison : la majorité des barrages construits dans le monde, dont environ la moitié en Chine, ont moins de 30 m de haut.



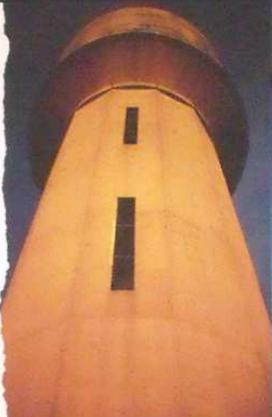
Qu'elles soient naturelles ou artificielles, les réserves d'eau restent tributaires des pluies.

Les nappes d'eau souterraines constituent nos réserves naturelles. On y accède par les sources et par des forages. Leur renouvellement nécessite de quelques mois... à quelques siècles, pour les nappes les plus profondes.

Pour satisfaire des débits importants, comme en exige l'industrie, on exploite de préférence les fleuves et les lacs. Si l'on veut disposer d'autres réserves, il faut les créer artificiellement.

On dénombre près de 35 000 barrages dans le monde. Les pays industrialisés ont d'ores et déjà équipé presque tous leurs sites utilisables.

Les châteaux d'eau et réservoirs souterrains, réserves locales insérées dans l'habitat, ont une capacité réduite, n'excédant pas une journée de consommation. Ils sont continuellement remplis et vidés d'eau potable.



Parce qu'il est placé en hauteur, ce type de réservoir peut délivrer en continu une eau sous pression quelle que soit la consommation domestique.

Au moyen d'un forage on peut aller chercher l'eau à plus de 1000 m en profondeur. Tout forage a une répercussion sur l'ensemble de la nappe concernée.



Captage de source dans le midi de la France.



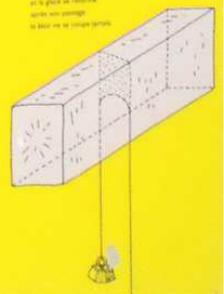
Réservoir souterrain à Fécamp. Les réservoirs sont placés sous étroite surveillance et fréquemment nettoyés.

Pression sur la glace

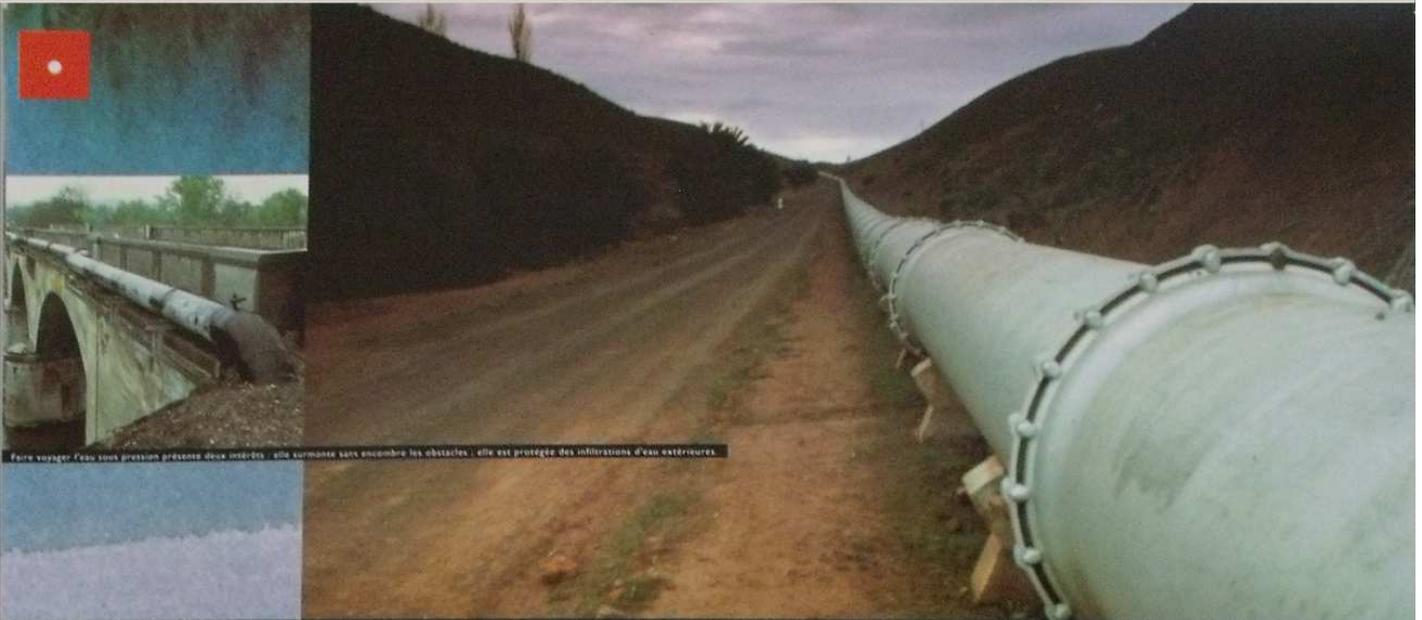
La lame des patins à glace soumet celle-ci à une forte pression. Là où elle appuie, des lanières hydrogène sont rompues : la glace fond et les patins glissent sur un film d'eau liquide à moins de 0°C. Dès que la pression de la lame se porte plus loin, l'eau regèle.

Sous les glaciers, où la pression est énorme, la base du glacier est également fondue : en particulier au contact d'un obstacle au sol, une mince couche d'eau liquide s'écoule, contourne l'obstacle et regèle en aval où la pression est moindre.

La pression de la lame sur la glace se traduit par la formation d'un film d'eau liquide.



Réseaux



Faire voyager l'eau sous pression présente deux inconvénients : elle surmonte sans encombre les obstacles ; elle est protégée des infiltrations d'eau extérieures.

Enfouies dans le sol, des artères artificielles drainent l'eau jusqu'à nos pieds, dessinant sur le monde la carte invisible de l'eau domestiquée.

Pour alimenter une ville, il faut plusieurs dizaines de points de captage situés à l'écart dans une zone protégée.

On y contrôle l'eau avant de l'envoyer sous pression dans le réseau urbain.

Dans les régions très urbanisées, il arrive qu'on connecte entre eux les réseaux alimentés par deux fleuves différents.

Pour alimenter un village, un ou deux points de pompage suffisent.

L'eau, après contrôle, est envoyée sous pression au sommet du château d'eau. Elle descend, dynamisée par son propre poids, jusqu'aux robinets des usagers.

L'eau potable fait des kilomètres dans des tuyaux de métal, de béton ou de plastique avant de nous parvenir. Pour limiter les pertes en eau sur ce parcours (jusqu'à 30%), il faut entretenir en permanence les canalisations.

L'usine de traitement des eaux à Orly. L'eau usagée est filtrée, clarifiée par un repos dans les bassins de décantation, puis stérilisée.



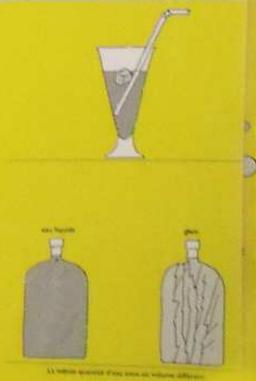
Château d'eau : on profite des périodes nocturnes où l'énergie est moins chère pour le remplir.



Dans les stations de pompage - des hortiques combinées à des capteurs de pression ou de niveau assurent la mise en route et l'arrêt des pompes.

La glace flotte

Lorsque l'eau gèle, toutes ses molécules établissent entre elles le maximum de liaisons hydrogène possible. Les molécules sont toutes écartées les unes des autres et laissent entre elles des lacunes qui, dans le liquide, n'existaient pas. Ainsi, en gelant, une même quantité d'eau occupe un volume plus grand : elle peut faire éclater les roches où elle est infiltrée et, comme elle est moins dense, elle flotte sur l'eau liquide.



La même quantité d'eau dans un volume différent.

L'eau du robinet



Traitement de l'eau dans l'installation pilote de Maisons-Laffitte - le "département Recherche" propre à toute industrie de pointe.

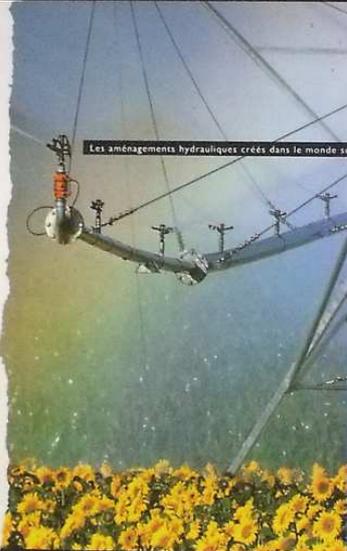
Stockée, transportée, traitée, analysée, l'eau de tous les jours mérite le label "haute qualité".

L'eau qui nous parvient a traversé des roches et s'est chargée en minéraux. Mais elle a pu se mêler à des eaux de pluie ou de rivière exposées, elles, à toutes les pollutions. Il peut aussi arriver que des eaux usées s'infiltrent dans la nappe. L'industrie et l'agriculture sont les principaux utilisateurs de cette eau "brute".

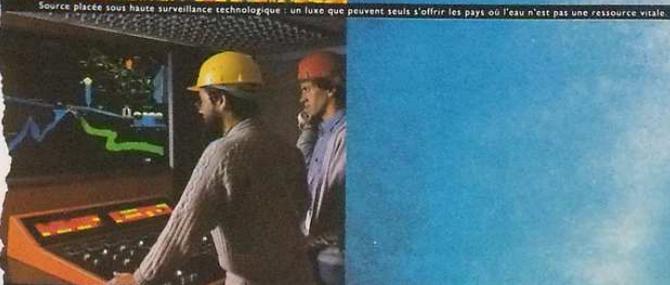
Mais pour tous ses autres usages, l'eau est contrôlée et, s'il le faut, traitée avant d'être déclarée potable.

Les normes enregistrent des variations selon les pays ; mais partout elles statuent sur son aspect (couleur, odeur, goût, température) et sur son contenu (microbes, substances utiles, tolérables ou toxiques).

L'eau que nous utilisons indifféremment pour tous nos usages domestiques est donc bonne à boire.



Les aménagements hydrauliques créés dans le monde sont encore largement destinés à l'irrigation des cultures.



Source placée sous haute surveillance technologique : un luxe que peuvent seuls s'offrir les pays où l'eau n'est pas une ressource vitale.

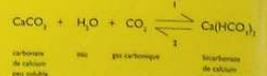
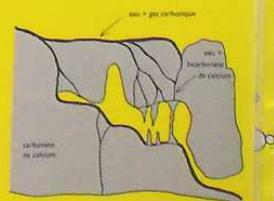


Dans cette enceinte, l'ozone a été substitué au chlore dans le processus de désinfection de l'eau.

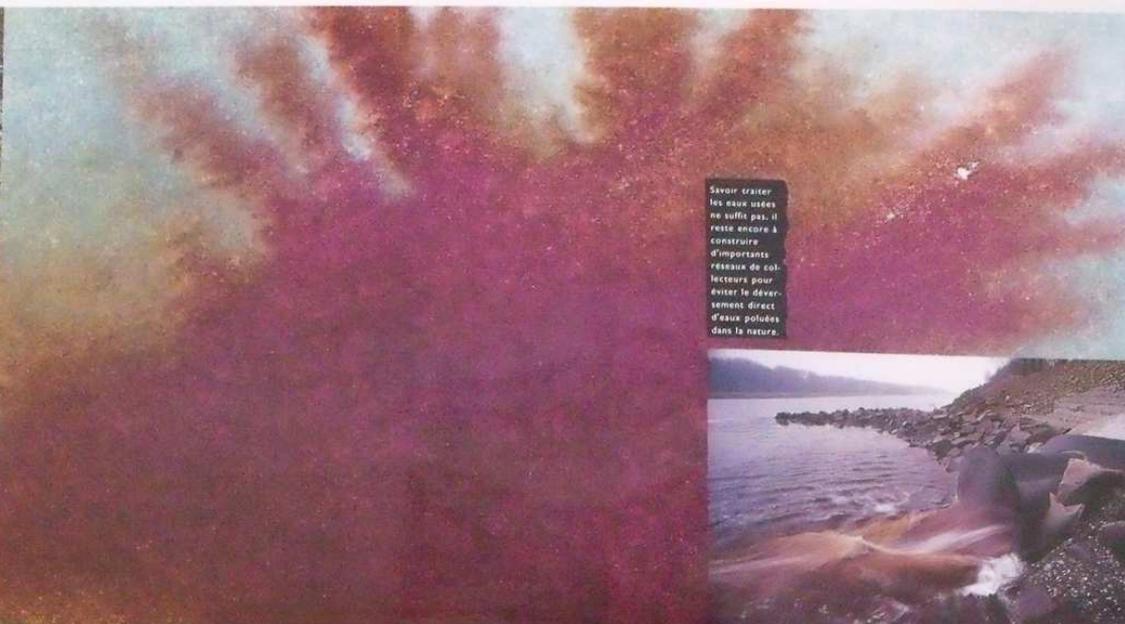
L'eau dure

1. L'eau dissout les roches calcaires qu'elle traverse. Les minéraux, ainsi libérés, se combinent à l'eau et au gaz carbonique qu'elle contient pour former divers sels de calcium et de magnésium, solubles dans l'eau. S'il y en a beaucoup, l'eau est "dure" (elle ne mousse pas avec le savon).

2. La réaction peut s'inverser, surtout si l'eau est chaude ou agitée, et redonner du calcaire (carbonate de calcium) qui, lui, est très peu soluble dans l'eau. C'est ce calcaire qui forme les stalactites et stalagmites des grottes et le tartre des tuyaux.



Retour à la terre



Savoir traiter les eaux usées ne suffit pas, il reste encore à construire d'importants réseaux de collecteurs pour éviter le déversement direct d'eaux polluées dans la nature.



Une ville rejette d'immenses volumes d'eau usagée. La pluie ne se résorbe pas toujours dans le sol. Où passe toute cette eau ?

Toute ville moderne produit chaque jour, par centaines de milliers, par millions de litres, de l'eau sale charriant :

- objets, sable, boue ;
- substances organiques : déchets humains, restes de nourriture ;
- microbes qui vivaient en nous ;
- produits chimiques.

On ne peut plus traiter sur place les eaux usées dès lors que les habitations sont trop concentrées. La pluie, polluée, doit également pouvoir s'écouler quelque part.

On conduit donc l'eau sale plus loin à travers des kilomètres de canalisations.

Elle y circule comme l'eau potable : entraînée par son propre poids, ou pompée quand se présente un relief.

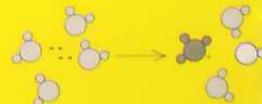
Un réseau de plus à surveiller pour éviter les obstructions ou les débordements, en cas de pluies abondantes.

Selon les villes les eaux de pluie et les eaux fluviales sont évacuées ensemble ou séparément. Egoûts de Paris. Un réseau d'égoûts coûte très cher : les villes y sont contraintes. Ailleurs l'assainissement individuel est parfois plus adapté.



Acide, basique, neutre

Dans l'eau, il arrive qu'un atome d'hydrogène passe d'une molécule à l'autre. Cet échange transforme les deux molécules H_2O en deux "ions" dont l'un a un excès de charge " - " , c'est un ion OH^- et l'autre un excès de charge " + " , c'est un ion H_3O^+ . L'eau pure contient autant d'ions OH^- que d'ions H_3O^+ , on dit qu'elle est "neutre".



Quand une substance est dissoute dans l'eau, l'équilibre entre le nombre d'ions H_3O^+ et OH^- peut être modifié. Si il y a plus d'ions H_3O^+ que dans l'eau pure



Comment laver l'eau



Avant de rendre l'eau à la nature, l'homme élimine le plus gros de la pollution. Aux rivières et au sol d'achever le travail...

E purer l'eau n'a pas pour objectif de la rendre potable, mais de la faire réaccepter par la nature.

- Cela signifie, dans un premier temps, la débarrasser par filtrage des objets et débris qu'elle peut véhiculer.
- L'élimination des graisses est pratiquée immédiatement après.
- On laisse alors décanter l'eau afin que les petites particules solides, par leur seul poids, se déposent.
- Ce premier "toiletage" reste insuffisant. On envoie donc des bactéries détruire les ultimes déchets : elles vont s'en nourrir.
- On récupère les boues ainsi produites.
- Si des substances polluantes ont échappé à l'opération, elles sont neutralisées par traitement chimique, ainsi que les microbes d'origine humaine.
- L'eau, enfin propre, est relâchée dans la nature.

Cet assainissement est mené à son terme dans les stations d'épuration ou, naturellement, dans des lagunes surveillées. Le procédé requiert plus de temps et d'espace, mais moins d'énergie.



Une phase de décanation précède le travail des bactéries, une autre le suit.



L'eau est perpétuellement aérée pour favoriser le travail et la multiplication des bactéries.



Les boues une fois traitées donnent du gaz méthane et parfois des engrais agricoles.



Les eaux épurées s'écoulent dans la rivière.

Hydrophobe

Certaines molécules sont incapables de former des liaisons hydrogène avec l'eau car elles ne possèdent pas de pôles électriques. Plongées dans l'eau, elles ne peuvent s'intégrer à son réseau de liaisons hydrogène et finissent par se regrouper. Ces substances qui ne se mélangent pas à l'eau sont dites "hydrophobes" (qui n'aime pas l'eau). C'est le cas des graisses et des dérivés du pétrole.



Les molécules de graisse plongées dans l'eau.



L'eau forte

Ici c'est la canalisation et non plus le barrage lui-même qui crée la chute d'eau exploitée par l'usine en contre-bas.

A Iguaçu, au Brésil, 275 chutes de 55 à 72 m de haut se jettent dans un gouffre de 4 km de large.



Un litre d'eau pèse un kilo. Imaginons la force d'un million de litres tombant de 40 mètres de hauteur.

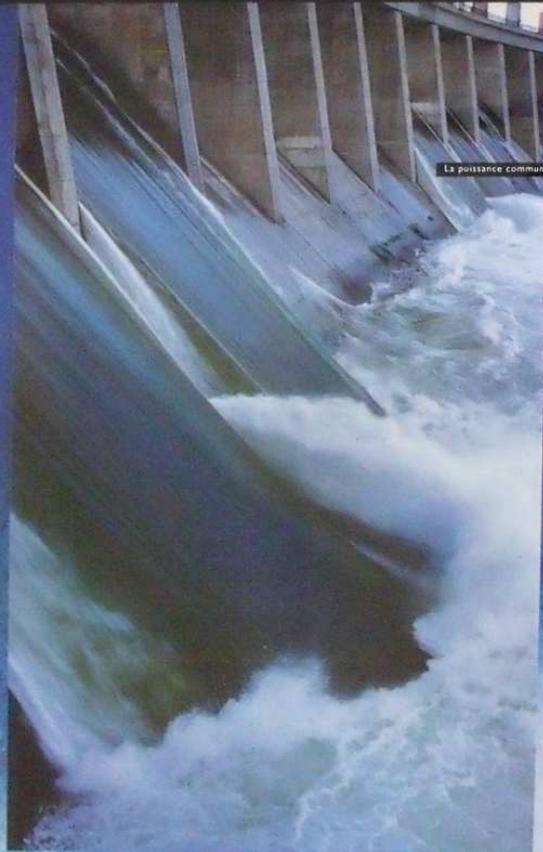
Depuis des siècles, on fait tomber l'eau sur des roues pour recueillir sa force.

Maintenant, les roues se sont modifiées en turbines et la puissance de l'eau se mesure en courant électrique :

- un kilowatt c'est la puissance de 100 litres d'eau tombant de un mètre en une seconde ;
- un kilowatt-heure, c'est l'énergie accumulée ainsi pendant une heure.

Un barrage peut produire des milliards de kilowatt-heure par an et ce n'est qu'une partie de la puissance du fleuve !

Parfois, on peut faire tomber l'eau d'encore plus haut ; on la force à passer du barrage dans d'énormes conduites qui descendent les flancs de la vallée : l'eau dévale plusieurs centaines de mètres et arrive sur les turbines...



La puissance commune des deux barrages construits sur le Saint-Laurent atteint 3,5 milliards de watt.

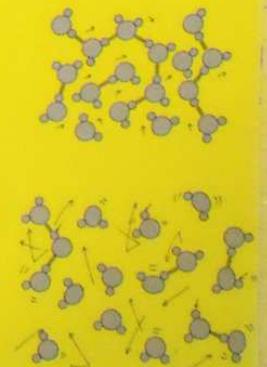
Turbine pour chute de grande hauteur. En fonctionnement la roue est horizontale et capte 2 à 3000 watt par m³ d'eau reçu.



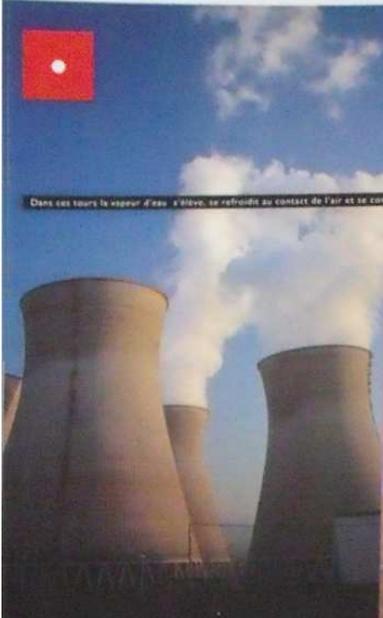
Capacité calorifique

Quand on chauffe de l'eau, l'énergie apportée est emmagasinée sous forme de mouvements par les molécules d'eau : elles se déplacent plus vite, elles tournent sur elles-mêmes, elles se déforment.

Pour élever la température, l'eau a besoin de plus de chaleur que beaucoup d'autres substances car il lui faut, en plus, briser ses liaisons hydrogène : elle a une grande capacité calorifique.



L'eau au travail



Dans ces tours la vapeur d'eau s'élève, se refroidit au contact de l'air et se condense, une partie retombe en pluie et peut être recyclée. Centrale nucléaire du Bugey.



L'eau est utilisée dans les centrales nucléaires pour contrôler la réaction elle-même.

Quel est le point commun entre une bicyclette, un médicament, un litre d'essence ? L'eau... Y a-t-il encore une fabrication "non hydratée" ?

L'eau joue son rôle sur la scène industrielle, des premiers emplois aux plus modestes : refroidir, dissoudre, séparer les constituants, éliminer les résidus. Elle sait tout faire. Et on la voit toujours réapparaître, associée aux procédés d'avant-garde.

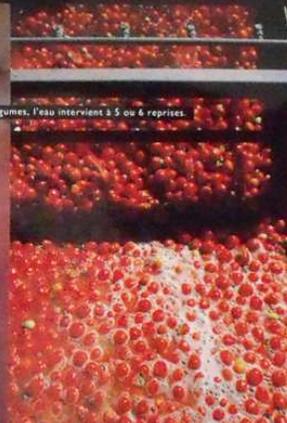
Chaud-froid : les turbines des centrales électriques (thermiques et nucléaires) tournent grâce à de la vapeur d'eau. Pour la récupérer, on la refroidit avec de l'eau pompée dans les rivières.

L'eau-outil : un mince jet d'eau envoyé à très forte pression perce le métal et la pierre ou découpe avec précision le carton et le cuir.

Chambre à eau : d'énormes engins de travaux publics ou agricoles sont lestés d'eau. On en remplit les pneus pour accroître leur stabilité sur terrain accidenté.



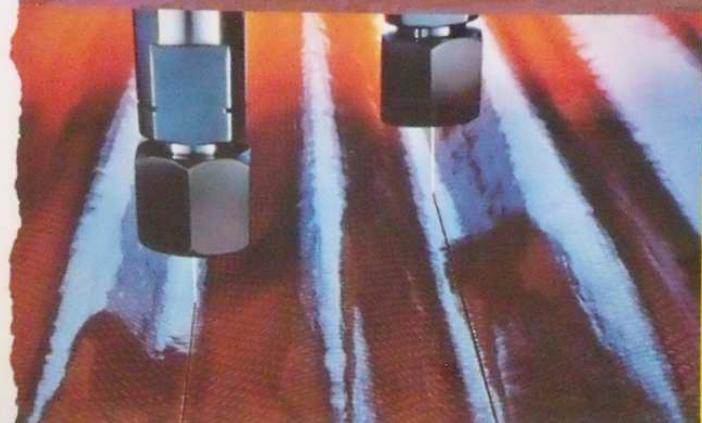
Sur une chaîne de conserverie de légumes, l'eau intervient à 5 ou 6 reprises.



Pour lester un tracteur, on remplit d'eau la chambre à air des pneus, aux trois-quarts ou totalement.

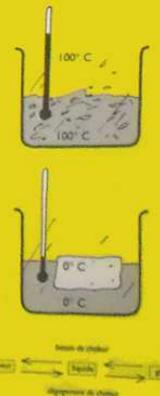


Fabrication d'un pneu par découpe au jet d'eau.



Chaleur latente

Pour bouillir, l'eau doit absorber de la chaleur, pourtant sa température reste la même. De même, quand la glace fond elle prend de la chaleur à l'extérieur mais l'eau de fonte n'est pas plus chaude que la glace. Dans les deux cas, l'eau emploie antérieurement cette énergie à changer d'état et comme elle doit, pour cela, briser ses liaisons hydrogène, il lui faut plus d'énergie qu'à d'autres substances. Elle libère cette "chaleur latente" en se condensant... ou en gelant !



Paysages



Cascade à Hawaï. Des sables pour fendre la montagne ?

Barrage à Bon-les-Ormes sur la Dordogne. Son étendue est celle d'un lac, mais c'est l'homme qui décide de son rythme de vie : remplissage, vidange.

Canal parallèle à la Loire. Une occasion de rencontre pour l'hydraulique et l'écologie ?

Des montagnes à la mer, les eaux laissent les marques de leur passage... Mais leur action sur le paysage est sans cesse corrigée par les hommes.

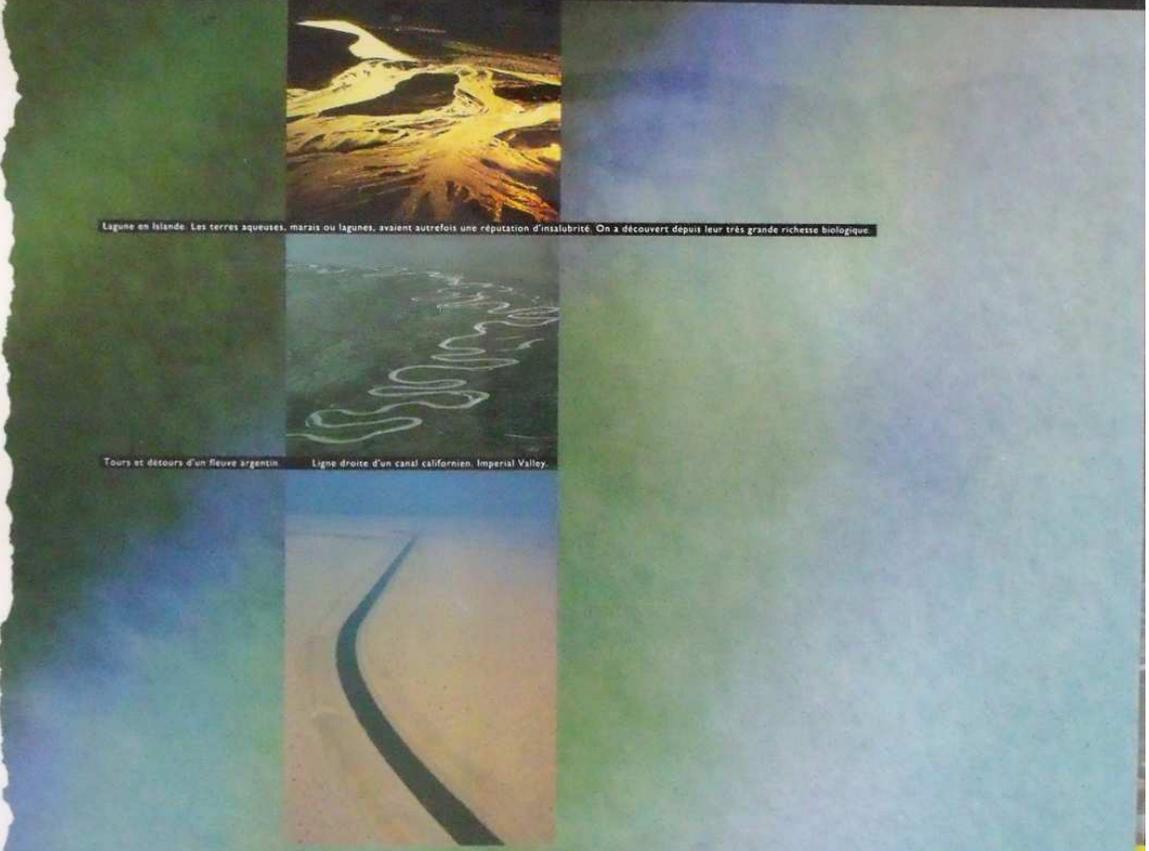
Les paysages sculptés par l'eau n'ont rien d'immuable.

Les fleuves redessinent leurs méandres et partout l'eau transforme les reliefs, aplanissant les "bosses" et comblant les creux. La surface de la Terre bouge et l'eau ne cesse son œuvre.

L'homme fait son œuvre lui aussi. Les circuits en sont simplifiés : si l'eau d'un fleuve est constamment en situation d'échange avec le sous-sol, il n'en est pas de même avec les eaux d'un canal.

Les crues, porteuses de limon, fertilisent les vallées et réalimentent en eau les nappes souterraines. Un barrage au contraire retient le limon et l'évaporation lui fait perdre partiellement de ses eaux.

En cherchant à étendre notre maîtrise sur le mouvement des eaux, nous apprenons à mesurer sa complexité.



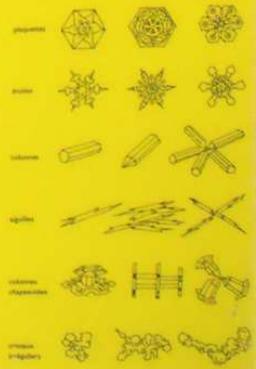
Lagune en Islande. Les terres aqueuses, marais ou lagunes, avaient autrefois une réputation d'insalubrité. On a découvert depuis leur très grande richesse biologique.

Tours et détours d'un fleuve argentin. Ligne droite d'un canal californien, Imperial Valley.

La neige

La neige se forme dans les nuages en atmosphère très calme. Le point de départ est une micro-gouttelette d'eau qui gèle en s'élevant dans l'air froid. La minuscule cristalle de glace, ainsi formé, croît lentement par congélation de la vapeur d'eau alentour. C'est là qu'il prend sa structure hexagonale caractéristique de la neige. Il en existe des dizaines de variétés différentes. Au cours de leur chute, les cristaux entrent en collision et s'agglomèrent en formant les flocons de neige.

Chaque élément d'un flocon de neige est caractérisé selon une symétrie hexagonale, mais à six axes possibles.



Niveau d'eau, niveau de vie



Les jeux d'eau
séduisent l'immense
des villes
modernes qui
ne peut plus se
baigner dans les
rivières.
La construction
d'installations de
parcs à thème
naturel, mais au
prix d'installations
moins coûteuses.
Paradoxalement
les pays qui
peuvent s'offrir
ce luxe ne sont
pas ceux ayant
le plus de
problèmes d'eau
potable.

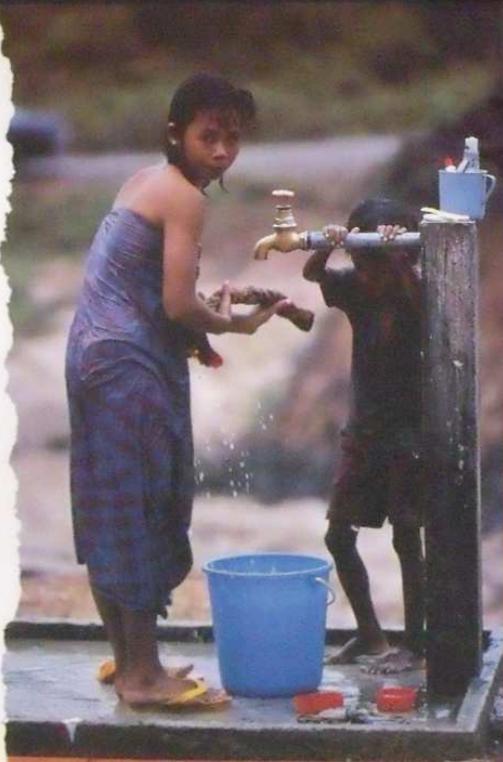


D'un pays à l'autre, d'une décennie à l'autre, qu'est-ce qu'une consommation d'eau normale ?

Nous avons tous besoin pour survivre de 2 à 3 litres d'eau par jour. Et pour le reste ? 40 litres d'eau par jour ? 1000 litres ? 400 litres ? Ce besoin-là dépend des possibilités techniques et, bien sûr, de nos idées sur le confort, le loisir, le progrès.

C'est ainsi qu'en certains points du monde les vannes de la consommation d'eau s'ouvrent en grand. Ailleurs c'est le minimum qui n'est pas assuré. Souvent, il s'agit moins de la quantité d'eau disponible que de sa qualité. L'approvisionnement d'une région en eau potable dépend des techniques, des politiques locales mais aussi, et de plus en plus, d'accords et d'échanges internationaux.

L'équilibre de la planète est aussi celui des ressources en eau.



L'eau insalubre
fait des centaines
de milliers de
victimes de par
le monde.
Stopper la contamination relève
moins de la
médecine que de
l'aménagement.
Il faut protéger
les sources et
canaliser les
déchets.
Préserver l'eau.
C'est poser les
fondations de la
santé et du développement.

Eau pure et eau naturelle

L'eau naturelle est toujours un mélange d'eau pure et d'autres substances (solides, liquides ou gaz dissous).

■ dans l'eau de mer on en trouve en moyenne 35 grammes par litre (mais l'eau est capable d'en dissoudre dix fois plus).

■ dans l'eau douce ces substances sont en plus faible quantité.

Pour obtenir de l'eau pure, on doit la fabriquer. Elle n'est utilisée que dans certaines industries et laboratoires.



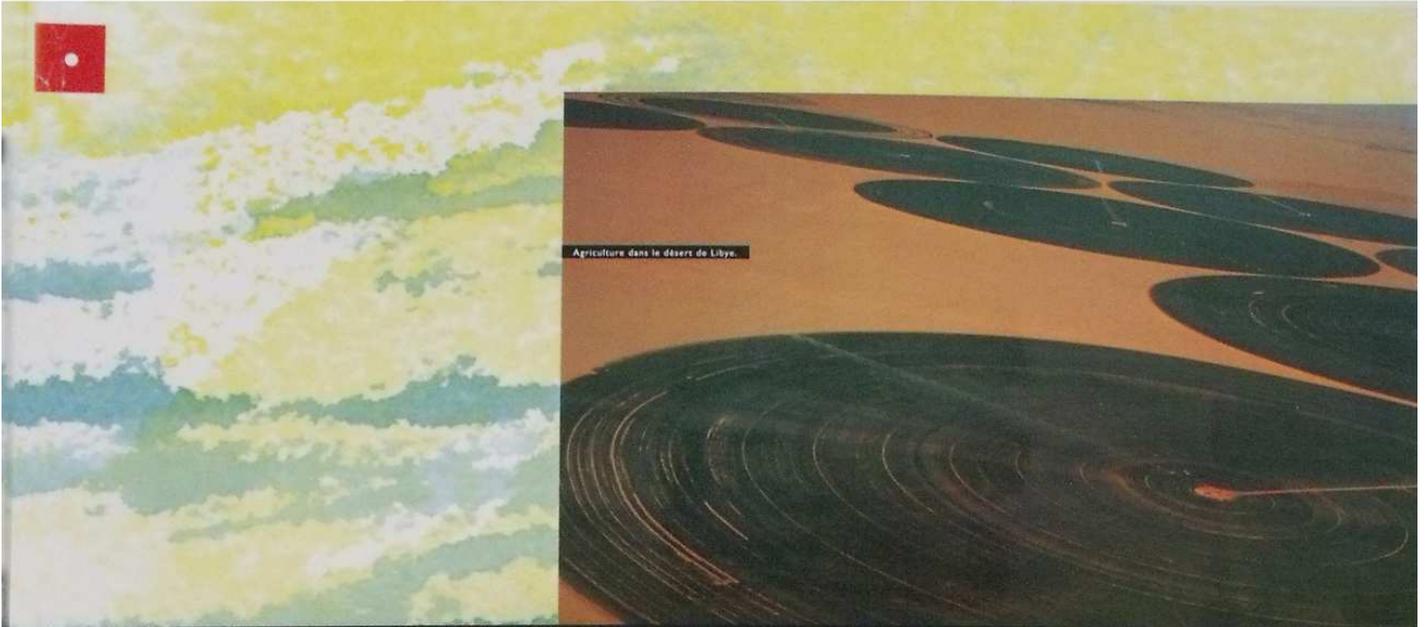
Eau de mer : molécules d'eau et dissous de substances diverses



Eau douce : molécules d'eau et quelques ions minéraux dissous



L'eau à venir



Agriculture dans le désert de Libye.

Nos besoins en eau augmentent. Nous portons le regard vers de nouvelles réserves, de nouvelles techniques et vers nos propres comportements.

Nous avons plusieurs moyens d'avoir "plus d'eau" à disposition.

- Utiliser des réserves d'eau supplémentaires : dessalement de l'eau de mer, voire remorquage d'icebergs d'eau douce pour les faire fondre.
- Imaginer des techniques pour utiliser plus complètement l'eau dont nous disposons : membranes pour filtrer individuellement les eaux brutes, robinets économiseurs, circuits de recyclage de l'eau peu sale pour des usages plus sales.
- Adopter des comportements différents pour dépenser moins d'eau, ce qui ne veut pas dire nous priver mais penser aux gestes et aux techniques qui l'épargnent, veiller sur l'eau.



Piège à brouillard dans une zone désertique du Chili : 200 litres d'eau par jour.

Le transport d'iceberg : une technique étudiée depuis plusieurs années déjà.

Pompe à eau dans le désert : à Riyad l'eau potable vient de l'usine de dessalement d'eau de mer.