

eau

Carnet de terrain



*Les objets présentés dans cet ouvrage sont reproduits à taille réelle.
Ils sont conservés au Musée Saint Raymond que nous remercions pour
son aimable contribution, ainsi qu'au Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse.*

Jacques Higelin la voit tomber du ciel à travers les nuages,
Jacques Prévert trouve que la Seine se la coule douce,
Charles Trenet imagine la mer danser le long des golfes clairs,
Jacques Brel la voit comme un dernier terrain vague,
Arthur Rimbaud parle des clapotements furieux des marées...

L'eau, cette réserve d'inspiration sans fin est aujourd'hui
une ressource précieuse à partager.

Avec ce carnet de terrain, découvrez sa grande histoire
et faites un bon voyage !

CHAPITRE I

L'eau, c'est la vie



Une molécule si simple...

L'eau de la Terre, c'est la pluie, les fleuves, les océans, mais aussi le liquide qui irrigue notre corps et fait pousser les plantes. Cette simple substance chimique possède des propriétés exceptionnelles, pas de doute...

Une structure insolite

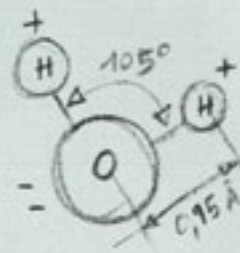
En la comparant avec des molécules qui lui sont proches, on s'attendrait à ce que l'eau soit un gaz, tellement elle est simple et légère.

Le secret tient à sa structure spécifique en « tête de Mickey » :

un gros atome d'oxygène surmonté de deux petits atomes d'hydrogène, formant du dihydrogène d'oxygène ou encore du monoxyde de dihydrogène : les noms savants de ce que nous appelons l'eau, ou encore H_2O .

LA MOLÉCULE D'EAU

Un atome d'oxygène chargé négativement, lié à deux atomes d'hydrogène chargés positivement : une des molécules les plus simples...



Des liens qui les unissent

Cette structure sépare de façon permanente une zone de charge électrique positive d'une zone négative.

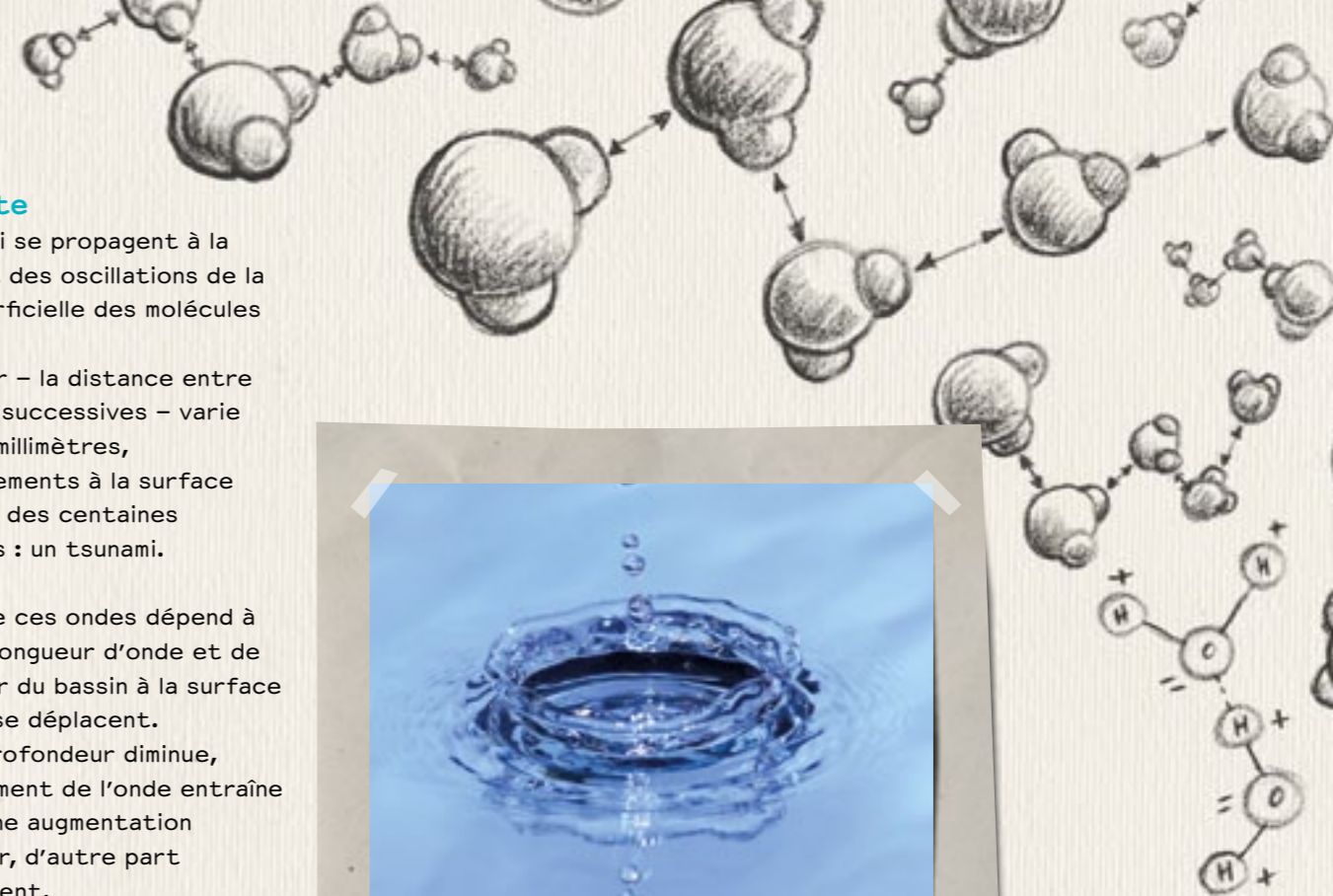
Grâce à ces charges, chaque molécule d'eau agit comme un aimant électrique qui attire les molécules voisines, jusqu'à former d'immenses chaînes emmêlées les unes dans les autres. Voilà pourquoi l'eau existe sur Terre sous forme liquide et non uniquement gazeuse. Elle est aussi capable en plus de dissoudre d'autres molécules. Elle peut transporter ainsi tout ce dont a besoin la vie pour se développer, comme dans le sang ou la sève.

Eau vibrante

Les ondes qui se propagent à la surface sont des oscillations de la couche superficielle des molécules d'eau.

Leur longueur – la distance entre deux crêtes successives – varie de quelques millimètres, des frissonnements à la surface d'un étang, à des centaines de kilomètres : un tsunami.

La vitesse de ces ondes dépend à la fois de la longueur d'onde et de la profondeur du bassin à la surface duquel elles se déplacent. Lorsque la profondeur diminue, le ralentissement de l'onde entraîne d'une part une augmentation de sa hauteur, d'autre part son déferlement. Ces deux phénomènes sont responsables de l'effet destructeur des tsunamis à l'approche des côtes.



Eau, une affaire d'état !

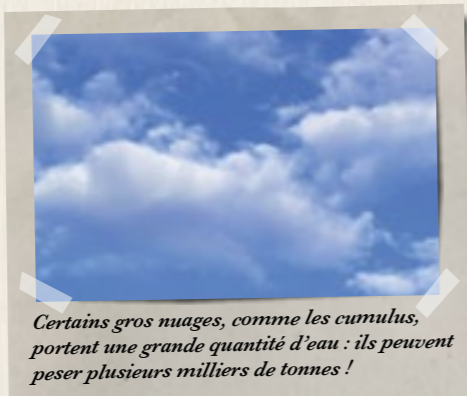
Sur Terre, l'eau se trouve aussi bien à l'état solide qu'à l'état liquide ou encore de vapeur... Une diversité liée à des variations de température dans l'atmosphère.

D'une forme à l'autre

Solide dans les glaciers, les banquises et les calottes continentales, liquide dans les océans, les lacs, les rivières, gazeuse dans l'atmosphère : cette diversité des états de l'eau n'est possible que grâce aux variations de températures. Cela tient aussi à la nature de notre atmosphère, assez dense pour emmagasiner et transporter la vapeur d'eau sur de longues distances et en grandes quantités d'un point à un autre de la planète.

Eau gazeuse

La vapeur d'eau est présente partout dans notre atmosphère,



Certains gros nuages, comme les cumulus, portent une grande quantité d'eau : ils peuvent peser plusieurs milliers de tonnes !

mais elle est... invisible. Ce ne sont donc pas les nuages qui la révèlent. Contrairement aux idées reçues, ils sont constitués d'eau liquide (sous forme de microgouttelettes) ou solide (des cristaux de glace - neige, grêlons). Ainsi, lorsque la température d'une masse d'air humide baisse, la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère

se condense en fines particules qui forment alors des nuages.

Eau liquide

Entre 0 °C et 100 °C, l'eau se trouve sous forme liquide. Mais cet état n'est pas qu'une affaire de température : les forces existant



La pluie : la vapeur d'eau atmosphérique retombe en liquide sur Terre.

autour des molécules les obligent aussi à se rassembler sous des formes diverses.

Voilà pourquoi les gouttes de pluie n'ont pas toujours la même forme selon leur taille.

UNE STRUCTURE MOUVANTE



En dessous de 2 mm, sous la force de la tension superficielle, les gouttes d'eau sont quasiment sphériques. Entre 2 et 5 mm, elles s'aplatissent dans leur chute sous l'effet de la résistance de l'air. Au-dessus de 5 mm, la résistance étant plus forte que la tension superficielle, les gouttes se divisent.

Eau solide

Les icebergs sont des grands blocs de glace formés d'eau douce, détachés de la banquise et flottant sur la mer. Mais pourquoi ne coulent-ils pas ? L'eau gelée est plus légère que l'eau liquide.

La transformation de l'eau en glace - quelques degrés en dessous de 0°C pour l'eau salée - s'accompagne d'une augmentation de son volume et d'une diminution de sa densité. Voilà pourquoi les icebergs flottent.



La partie émergée d'un iceberg ne représente qu'environ 10 % de son volume total.

Eau universelle

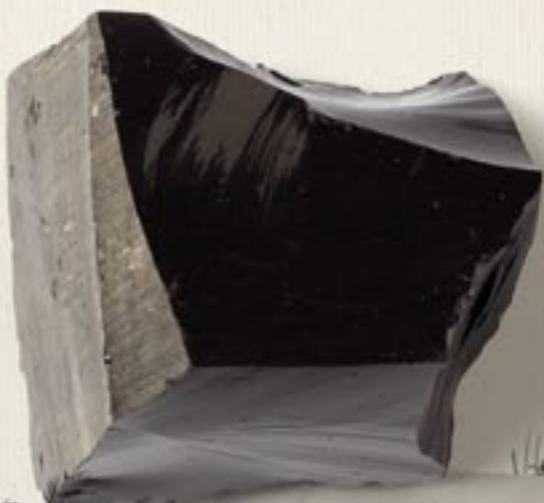
Présente pas uniquement sur notre planète, l'eau se retrouve un peu partout dans l'Univers, sous des formes inhabituelles...

Multiples formes

L'eau ne représente qu'un millionnième de la masse visible de l'Univers. Elle en est cependant un constituant important, présent sous forme libre ou dans des structures froides solides, allant du grain de poussière à des objets imposants comme les comètes. L'eau était ainsi assez abondante dans le nuage primitif d'où est né notre système solaire... incluant la Terre.

L'eau terrestre, une origine extraterrestre ?

Elle provient en partie des constituants initiaux dont l'agglomération a formé les planètes. Par la suite, les chutes de météorites cométaires qui se produisirent en apportèrent également. Le réchauffement initial a évaporé l'eau contenue dans les roches, puis le refroidissement progressif a entraîné la condensation de toute



Les bulles emprisonnées dans cette obsidienne volcanique sont constituées de gaz, dont de la vapeur d'eau. Une fois libérée et condensée, elle a participé à la présence d'eau liquide sur Terre.

cette vapeur en pluies diluviennes. Elles ont arrosé et érodé la surface terrestre durant des millions d'années. Ainsi est né l'océan primitif.

La Terre, la plus riche...

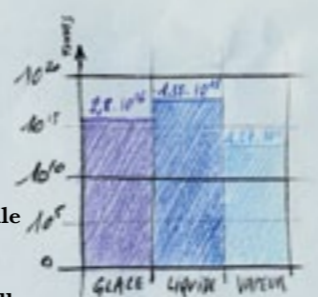
Pourquoi notre planète est-elle beaucoup plus riche en eau que

ses voisines ? Sans doute Vénus et Mars ont-elles eu des débuts semblables au nôtre, avec une force de gravité insuffisante pour Mars et une proximité solaire légèrement supérieure à la nôtre pour Vénus. Cela pourrait expliquer des évolutions vraiment très différentes.



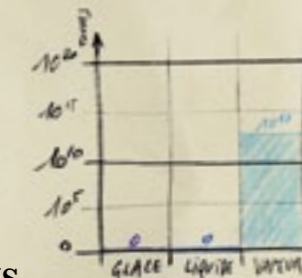
L'EAU sur TERRE

La planète bleue est la seule à posséder de l'eau sous ses trois formes : glace, liquide et vapeur. Cette eau circule continuellement entre ses différents réservoirs et joue un rôle primordial dans la dynamique de la surface terrestre, l'érodant et la recouvrant d'alluvions en permanence.



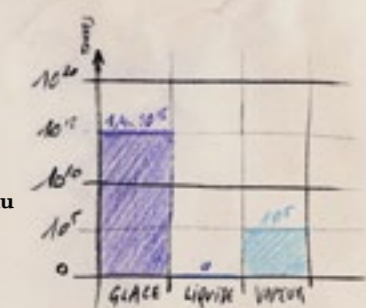
L'EAU sur VÉNUS

La plus proche sœur de la Terre, est très différente. Une température de surface voisine de 460 °C combinée à une atmosphère acide très riche en gaz carbonique ont entraîné une quasi-disparition de l'eau. Ce qu'il en reste, sous forme de vapeur, formerait, à l'état liquide, une couche de 2,5 cm d'épaisseur.



L'EAU sur MARS

Mars a sans doute connu dans sa jeunesse une époque riche en eau liquide qui a circulé et érodé le sol, comme le prouvent les vallées profondes encore visibles. Ce temps est révolu : il ne reste plus aujourd'hui qu'une calotte de glace visible au pôle Nord et une eau gelée enfouie dans le sol, révélé par les robots.



Planète bleue

Nous le savons depuis une cinquantaine d'années grâce aux images des satellites : vue de l'espace, notre Terre n'est pas brune, mais bleue... Un cas unique dans notre système solaire.

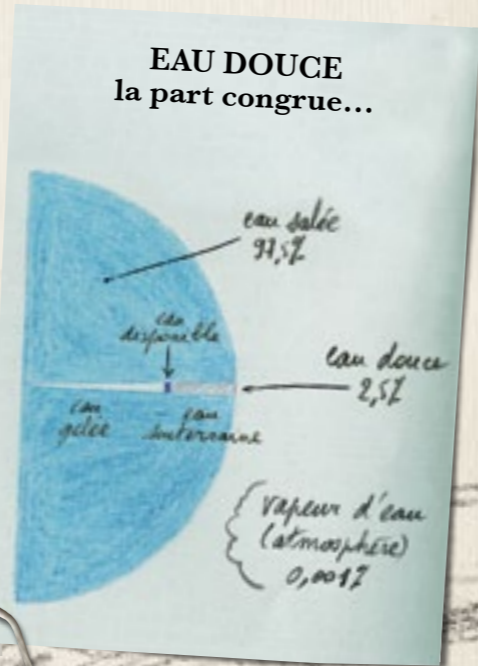
Prépondérante... ou pas

Après une naissance tumultueuse, la Terre s'est stabilisée et s'est trouvée couverte quasi uniformément d'une couche d'eau. Son volume n'a guère varié depuis 4 milliards d'années, son image non plus puisque les eaux couvrent

plus de 70 % de la surface terrestre. Ainsi a pu apparaître et se développer la vie... du moins en surface.



Les océans couvrent 71 % de la surface de la Terre et contiennent 97 % du volume d'eau de notre planète.



Car l'eau que nous croyons omniprésente sur Terre ne constitue qu'une toute petite fraction de la masse terrestre, environ 2/10 000°. Mais elle est répartie sur toute sa surface, lui conférant cette couleur unique.

Petite « planète Eau »

Si l'on regroupait toute l'eau de la Terre (océans, lacs, eaux souterraines, calottes glaciaires, atmosphère...), cela correspondrait à une petite sphère bleue qui mesurerait 1 390 km de diamètre pour un volume de 1,4 milliard de km³. Soit 9 fois moins que le diamètre terrestre, ou encore la moitié de celui de la Lune.

GRANDS et PETITS RÉSERVOIRS

ORIGINE	km ³	%
Océans	1 335 000 000	96,7
GLACIERS	28 220 000	2,18
EAUX SOUTERRAINES	15 000 000	1,1
LACS, MERS INTÉRIEURES	281 000	0,0206
HUMIDITÉ DES SOLS	122 000	0,0081
HUMIDITÉ DE L'AIR	12 700	0,00092
RIVIÈRES	1 700	0,00012
EAU DES CELLULES VIVANTES	1 100	0,00008
TOTAL	1 378 638 500	100

Eau, créatrice de paysages

Vastes vallées, falaises, plages de sable, grottes, plaines alluviales... Le visage changeant de notre planète doit beaucoup au travail continu de l'eau.

Un facteur majeur

La surface terrestre est en perpétuelle évolution. L'eau est un facteur majeur de ce toilettage que subit notre sol depuis ses origines. Grâce à elle, les rivières dessinent de profondes vallées bordées de grandes falaises. Les vagues marines entament en permanence les côtes

les plus escarpées, les grottes se creusent et s'habillent de concrétions. L'eau calme dépose en aval ce qu'elle a emporté en amont, formant de vastes plaines d'alluvions.

La glace qui érode

En montagne, l'eau glacée prend la forme de glaciers. Au fil des pentes, ils charrient d'énormes quantités de glaces mêlées à des débris rocheux.

Les traces rectilignes laissées sur les roches témoignent du sens de déplacement de ces glaciers voyageurs.



L'eau qui creuse

En hiver, l'eau infiltrée dans les roches fissurées gèle. La glace, plus volumineuse que l'eau liquide, peut conduire à un éclatement de ces roches.

Tout au long de l'année, l'eau qui s'infiltré érode les roches : par usure mécanique, cela crée les falaises des bords de mer ou les formes arrondies des lits de torrent. Par action chimique, l'eau, légèrement acide, forme les



grottes et les gouffres dans les massifs calcaires.

L'eau qui polit

Les roches arrachées des sommets des montagnes sont emportées par les torrents, les rivières et les fleuves vers l'aval. Elles s'entrechoquent et sont modelées au fil de leur voyage. Progressivement, leur surface se lisse jusqu'à donner des galets parfaitement arrondis.

L'eau qui sculpte

Lors de son infiltration à travers la roche dans les massifs calcaires, l'eau dissout des sels minéraux, qui s'accumulent et se cristallisent. Ils forment les stalactites, qui descendent de la voûte des cavités souterraines. Par le même phénomène, sur le sol de ces grottes profondes, se forment des stalagmites.



Eau, source de vie

Aucun être vivant ne pourrait exister en absence d'eau, principal constituant de son corps : la relation de la vie à l'eau reste toujours fusionnelle.

L'œuf protecteur

Chez de nombreuses espèces animales, le développement de l'embryon se déroule dans un milieu fermé et hydrique, l'œuf amniotique. À l'issue de ce développement,

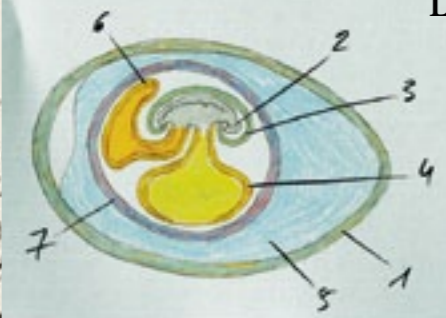
l'organisme est suffisamment structuré pour affronter le milieu aérien. Il quitte l'œuf et découvre la respiration aérobie. Cette phase initiale fut sans doute la meilleure façon de s'adapter à la

sortie des eaux, il y a 500 millions d'années, après 3 milliards d'années de développement de la vie, uniquement dans les océans.

Ventre aquatique

Lorsque nous étions embryon devenant progressivement fœtus, nous grandissions dans le ventre de notre mère, plongé dans le liquide amniotique protecteur. Comme pour le têtard dans sa mare, cette immersion est une étape indispensable à notre développement.

L'ŒUF AMNIOTIQUE



- 1. coquille
- 2. embryon
- 3. amnios
- 4. sac vitellin
- 5. albumine
- 6. allantoïde
- 7. chorion

UN CORPS AQUATIQUE

Les deux tiers de notre corps sont formés d'eau, soit environ 40 l pour une personne de 60 kg. Nous en éliminons quotidiennement au moins 2 l, par transpiration, excrétion et respiration. Nous devons les remplacer en permanence en buvant et en mangeant. Une partie de l'eau circule

dans le sang, le système lymphatique et le tube digestif. L'autre part, logée au cœur de nos cellules, est plus sédentaire. Mais le mécanisme de l'osmose permet des échanges constants, assurant l'élimination des déchets et le renouvellement des stocks de tous les réservoirs.



Notre naissance nous a fait sortir de ces eaux, et nous avons commencé à respirer...

Écosystème autonome

Cette sphère de verre fermée et emplies d'eau est un monde miniature autonome qui représente de manière synthétique l'interaction entre la faune et la flore. La lumière, associée au gaz carbonique de l'eau, constitue

la base nécessaire pour que les algues produisent de l'oxygène. Les crevettes respirent cet oxygène de l'eau et se nourrissent des algues et des bactéries. À leur tour, ces dernières transforment les déchets animaux en nutriments consommés par les algues.

Ce monde miniature, Écosphère®, résume d'une manière très simple l'interaction entre le monde animal, le monde végétal et l'eau.



Milieus extrêmes...

Déserts chauds et régions polaires ont un point commun : l'eau accessible y est rare. Pourtant la faune et la flore sont parfaitement adaptées à ces milieux arides.

Faire des réserves

Le meilleur moyen de lutter contre le manque d'eau est d'en stocker dans son corps.

Ainsi, le dromadaire, animal du désert, peut en absorber

ponctuellement plus de 100 litres en quelques minutes et tenir plusieurs semaines sans boire.

Entrer en dormance

Certaines espèces survivent aux sécheresses en ralentissant considérablement leurs fonctions vitales dans l'attente de périodes plus favorables où elles pourront « renaître ».

C'est le cas de la rose de Jéricho, capable de se passer d'eau pendant

quelques mois en se déshydratant presque totalement.

Récolter la rosée

L'humidité ambiante de l'air se condense la nuit. Cette ressource disponible temporairement permet la survie du ténébrion du désert. Ce petit scarabée de Namibie se positionne tête en bas, en haut des dunes en attendant que la

Le ténébrion du désert.



rosée se condense sur son corps. L'eau formée peut alors aisément couler vers sa bouche.

Être bien isolé

La fourrure des animaux constitue une excellente protection contre le froid. L'air emprisonné entre les poils crée une isolation thermique entre le corps et l'extérieur. Ainsi, le renard polaire peut résister à des températures de - 70 °C grâce à sa fourrure, la plus chaude au monde.

S'engraisser

La graisse des animaux polaires constitue une réserve d'énergie et

une paroi isolant le corps des températures glaciales.

Le phoque du Groenland emmagasine un maximum de nourriture lors des périodes propices afin de se constituer une épaisse couche de graisse.

Le poids d'un adulte peut ainsi varier de 85 à 180 kg suivant l'époque de l'année.

Avoir l'esprit de groupe

Pour garder leur chaleur corporelle lors des tempêtes, les manchots royaux se blottissent les uns contre les autres.

Le poisson trépiéd.



Produire de l'antigel

Les eaux des mers polaires gèlent, en surface, vers - 2 °C. Certaines espèces de poissons ont su évoluer pour survivre en développant leur propre antigel. Le poisson trépiéd sécrète dans son sang des protéines antigel qui freinent le développement des cristaux de glace qui lui seraient fatals.



En profondeur

Vivre dans l'eau, mais totalement sombre, froide et avec des pressions très fortes, impossible ? Pas du tout, le fond des océans regorge de vie...

LE GRANDGOUSIER LUMINEUX

Ce poisson qui porte bien son nom est pourvu d'une grande gueule extensible lui permettant d'avaler des proies plus grosses que lui. L'extrémité de sa queue présente un organe bioluminescent qui serait un appât ou un appareil de communication pour ses congénères.



Profondeur maximale connue : 7 625 m.

Les grands fonds

Dans les océans, à partir de 150 m de profondeur, 99 % de la lumière solaire a été absorbée. Au-delà de 1 000 m, l'obscurité totale règne, la température est proche de 0 °C et la pression énorme. Ce sont les abysses.

LES VERS RÉCHAUFFÉS

Les vers rifting vivent en colonies à proximité des sources chaudes dans des eaux atteignant 5 à 15 °C. Leur habitat est saturé en sulfures qu'ils utilisent comme source d'énergie pour fabriquer des sucres grâce à des bactéries présentes dans leur organisme.



Profondeur maximale connue : 2 850 m.

La vie malgré tout

Ici, la seule lumière provient de la bioluminescence générée par quelques poissons, des céphalopodes ou des bactéries. Il n'y a pas de plantes, mais les organismes morts, en chute constante depuis la surface, servent de nourriture. Dans les profondeurs, près de sources chaudes, une faune exubérante exceptionnelle se développe...

L'ARAIGNÉE GÉANTE

Le crabe-araignée géant est le plus grand représentant vivant des arthropodes. Il évolue dans les abysses, sur les fonds marins proches du Japon. Un adulte peut atteindre 4 m d'envergure pour 20 kg. L'espèce pourrait vivre jusqu'à 100 ans.



Profondeur maximale connue : 400 m.

COMMUNICATION

Les sons émis par certains cétacés, comme les baleines à bosse mâles, sont communément appelés « chants des baleines ». Ces séquences sonores sont d'une étonnante complexité jouant sur la fréquence et l'amplitude. Il s'agirait de chants de séduction.



LE POISSON TRÉPIED BIEN STABLE

Parmi les espèces abyssales, le poisson trépiéd est un animal solitaire vivant sur le fond des océans. L'extension de ses nageoires lui assure une stabilisation dans les sédiments marins.



Profondeur maximale connue : 2 800 m.

L'eau sonore

L'eau est un milieu fluide et élastique dans lequel les ondes sonores se propagent avec peu d'atténuation, à une vitesse cinq fois plus grande que dans l'air. Souvent qualifiés de « monde du silence », les océans sont pourtant remplis de sons émis et reçus par les nombreux représentants de la faune aquatique. Ces sons constituent pour eux un véritable outil de communication ou de localisation, en particulier dans les fonds que la lumière n'atteint pas.

CHAPITRE II

Eau ressource



Visages d'un fleuve

De sa source à son estuaire, un fleuve présente une multitude de paysages : milieux naturels, mais aussi patrimoine façonné par des siècles d'activités humaines.



La Garonne, surgissant en Espagne, rentrant sous terre avant de rejaillir 4 km plus loin, en France.

De la source...

Au départ du plus grand des fleuves, il y a une petite source et des zones humides. Imprégnées d'eau, elles jouent un rôle majeur dans la vie du fleuve en contribuant à l'autoépuration. Elles absorbent également une bonne partie de son trop-plein lors des crues, les restituant aux nappes souterraines et au fleuve en période de sécheresse.

...à l'estuaire

Le cours d'une rivière est en constante évolution selon la quantité d'eau et de sédiments qu'il reçoit... pour peu qu'il ne soit pas excessivement canalisé. L'estuaire, entre fleuve et océan, est un milieu spécifique, entre eau salée et eau douce, abritant des espèces endémiques. C'est aussi un passage obligé pour tous les poissons migrateurs.

Le fleuve et la ville

Axe de navigation, le fleuve a été jusqu'au XIX^e siècle un puissant moteur économique.

Les villes s'installaient près des gués, véritables ponts naturels en basses eaux. Puis le chemin de fer détrôna la navigation fluviale. Depuis les années 1990, on observe un renouveau, avec différents aménagements mettant l'accent sur les loisirs et les zones naturelles, changeant le regard sur les fleuves et les voies d'eau, pour les restituer aux habitants. Cependant, les fleuves souffrent depuis ces modifications de débits très bas l'été, voire de sécheresses chroniques.

Le port fluvial

Dès l'époque romaine, des villes bénéficient de la présence des fleuves pour se développer, grâce à une activité portuaire. Celle-ci migre au XIX^e siècle



Le quai de la Daurade, à Toulouse, en 1901...



... et aujourd'hui.

en aval des villes fluviales, y laissant des hangars et des bâtiments obsolètes. De grands travaux de réhabilitation des espaces fluviaux sont engagés depuis une quinzaine d'années, pour redonner aux habitants un accès à leur fleuve.

Le desman des Pyrénées est emblématique d'un milieu préservé. Ce petit mammifère aquatique ne vit que dans les rivières pyrénéennes, on dit qu'il est endémique.



Eau précieuse...

De tous temps, l'épanouissement des civilisations a été directement lié au contrôle de l'approvisionnement en eau, à partir des rivières savamment détournées et canalisées.



SENTINELLES NATURELLES

La pollution de l'eau peut avoir de multiples origines : industrielles, agricoles, domestiques... Toutes les espèces animales et végétales en pâtissent. Certaines y sont plus sensibles que d'autres : ce sont des « espèces sentinelles », comme le cincle plongeur ou l'éphémère.

Des chercheurs s'appuient sur la présence du cincle plongeur pour déterminer la qualité de l'eau et, donc, la santé des écosystèmes.

Un long circuit

Conduire l'eau jusqu'à la ville n'est déjà pas une mince affaire. Cela ne constitue pourtant qu'une étape vers son utilisation. Il faut au préalable capter une source dont le débit soit suffisant ; puis une fois l'eau amenée dans la cité, en assurer un traitement pour en garantir la qualité et une distribution au plus près des utilisateurs.

Reste ensuite le retraitement des eaux usées avant de les « redonner » au fleuve, en limitant au minimum les nuisances pour l'environnement, mais aussi pour les riverains : canalisations enterrées,

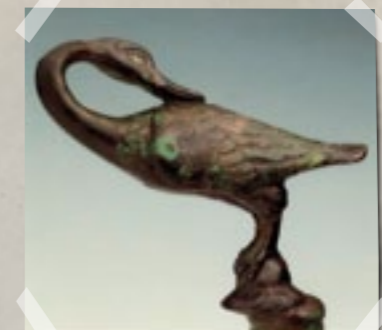


Longtemps, les eaux usagées ont été rejetées telles quelles dans les milieux naturels... Depuis une trentaine d'années en France, l'épuration est obligatoire.

traitement de l'air pour réduire les odeurs, traitement des boues de dépollution...

Tous concernés

Les fleuves doivent être gérés de manière solidaire et cohérente, en intégrant les différents enjeux locaux. De nombreux acteurs doivent donc s'associer pour en assurer l'équilibre écologique et sa bonne gouvernance. Depuis l'État, les collectivités territoriales, le comité de bassin et les agences de l'eau, EDF, jusqu'aux autres exploitants et usagers que sont les industriels, agriculteurs, associations de protection de la nature, fédérations de pêche et de chasse...



Tête de robinet, bronze, Haut-Empire romain, musée Saint Raymond, Toulouse.

Cette tête de robinet témoigne du souci de maîtriser l'eau - et du raffinement - chez les Romains. Thermes, jardins et fontaines publics nécessitaient procédés techniques et ouvrages d'art comme les aqueducs pour acheminer l'eau jusque dans les villes.

EAU COMPTABILISÉE

Les compteurs sont utilisés en Europe depuis le milieu du XIX^e siècle. Le volume mesuré permet de facturer l'eau en fonction de la consommation. Le prix comprend, entre autres, le coût d'approvisionnement en eau potable et de dépollution.



Force naturelle... à maîtriser

En dévalant les pentes, l'eau peut être violente et destructrice. Soigneusement canalisée, cette énergie fournit de l'électricité.

Vivre avec les inondations

Première cause de catastrophes naturelles, les inondations résultent du débordement d'un



À Toulouse, la plus importante crue s'est produite en juin 1875. Elle a provoqué la mort de 209 personnes et la destruction de 3 ponts et de 1 140 maisons.

cours d'eau lors d'une crue provoquée par de fortes pluies ou par la fonte des neiges. Afin de protéger les populations, des quais et des digues ont été édifiés dans les agglomérations et un plan de maîtrise de l'urbanisation des zones inondables a été mis en place. Cependant, la prévention passe par un réseau de surveillance et de prévisions météorologiques.

Tsunamis destructeurs

Ces puissants raz de marée sont le plus souvent provoqués par un séisme sous-marin de grande envergure.

La masse d'eau déplacée engendre une série de vagues dont la longueur d'onde peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres. Elle se propage à une vitesse excédant les 500 km/h. Celui du 11 mars 2011, qui a touché les côtes du Japon, a provoqué des



La ville d'Otsuchi (Japon), une semaine après le passage du raz de marée de 2011.



Les centrales nucléaires n'utilisent pas l'énergie des fleuves, elles se servent de leur eau comme source de vapeur et pour refroidir leurs réacteurs.

pertes humaines, matérielles et économiques considérables.

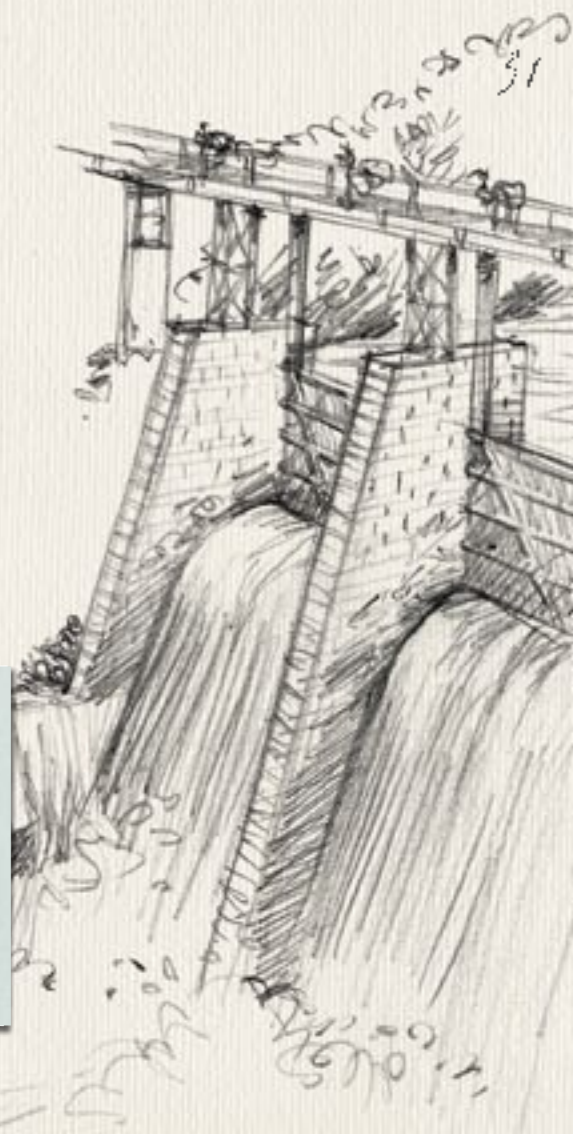
Énergie retenue

Renouvelable, l'énergie hydraulique est une source de production d'électricité essentielle. Respectueuse de l'environnement – par absence d'émission de gaz carbonique –, l'hydroélectricité

prend sa place dans le cycle naturel de l'eau en retenant celle-ci dans des lacs de barrage, puis en l'utilisant pour faire tourner des turbines et produire du courant électrique. Si l'on ne peut stocker l'électricité à grande échelle, on peut retenir l'eau dans de grands réservoirs et emmagasiner ainsi de l'énergie potentielle. En relâchant l'eau retenue, on libère cette énergie qui est d'autant plus grande que la hauteur de la chute d'eau et le débit sont importants.

BARRAGE HYDROÉLECTRIQUE

Il existe une grande diversité de centrales hydrauliques : usines de haute chute en montagne, de moyenne chute sur les rivières à gros débit, centrales au fil de l'eau sur les fleuves à gros débit, usines marémotrices fonctionnant grâce aux marées.



Eau symbolique

Indispensable à la vie, l'eau est un élément bienfaiteur qui nous accompagne depuis toujours, de la naissance jusqu'à la mort.

Naissance

L'image de Vénus, rayonnant dans toute sa beauté, traduit le symbole de pureté que porte l'eau. Ce milieu indispensable à la vie est aussi celui de la fécondité

car c'est la femme qui porte et développe dans son eau intérieure l'enfant qui va naître. Cette image de l'eau liée à la création existe dans de nombreuses religions. Par exemple, dans la Genèse, le monde est, dès son origine, formé essentiellement d'eau.

Vie

L'immersion est, au sens strict, un acte de lavage du corps. Mais c'est aussi un acte de purification de l'esprit, comme le pratiquent les millions d'Hindous venant faire leurs ablutions dans le Gange, le fleuve sacré. De façon tout aussi

symbolique, l'eau peut également devenir porteuse de forces



Chez les Dogons du Mali, les êtres nommo doivent habiter les puits pour qu'il y ait de l'eau. Ceci souligne le caractère capital de l'accès à cette ressource et son contrôle dans les régions sahéliennes.



La Naissance de Vénus, 1485, Sandro Botticelli, Galerie des Offices, Florence.

destructrices lorsque les hommes déclenchent le courroux divin, comme dans l'épisode du Déluge de la Bible.

Même si, pour beaucoup, l'aspect religieux n'est plus vraiment présent aujourd'hui, le culte de l'eau, des sources thermales aux plages, ne s'est pas effacé.

Mort

Image récurrente d'innombrables mythologies, une barque menée par son pilote traverse de sombres rivières et achemine vers le rivage du pays des morts sa cargaison d'âmes défuntes. L'eau y représente non pas un engloutissement, mais un passage incontournable et irréversible de la vie vers la mort. Ce voyage funèbre est souvent nocturne



Charon transportant des âmes des morts sur la rivière Stix, 1861, par Alexander Dmitrievich Litovchenko, musée Russe de St. Petersbourg

et tragique. Certaines religions en font au contraire un passage vers le soleil, et la barque devient alors un vaisseau portant des êtres sereins, baignés de lumière.

Toujours plus loin...

Depuis toujours, les hommes ont essayé de transformer l'obstacle des océans en un lien entre eux ou vers l'ailleurs, en même temps qu'ils ont voulu en découvrir les secrets.

Le long des côtes

Les premiers voyageurs osant affronter les vastes océans ne datent pas d'hier : au IV^e millénaire av. J.-C., les Océaniens peuplèrent les îles du Pacifique grâce à leurs embarcations multicoques. Un millénaire plus tard, en

Méditerranée, les Phéniciens, habiles navigateurs, partent sur les mers, sans oser toutefois dépasser le simple cabotage...

Et les Vikings furent bien courageux quand, dès le X^e siècle, ils partirent vers l'ouest découvrir le Vinland.

Grandes traversées

Dans la première moitié du XV^e siècle, les Portugais, poussés



1507, la première carte sur laquelle apparaît le nom « Amérique » est publiée.

par des envies de conquêtes, entreprennent l'exploration des côtes de l'Afrique.

Puis vint la Renaissance. En 1492, Christophe Colomb aborde très à l'ouest, sur des

îles qu'il croit être à proximité de l'Asie, l'Amérique est découverte. Quelques années plus tard, Vasco de Gama gagne les Indes en contournant l'Afrique par le sud. Puis en 1522, un des bateaux de l'expédition commandée par Magellan apporte la preuve qu'il est possible de faire le tour de la Terre par la voie maritime.

Expéditions lointaines

Le XVIII^e siècle marque une nouvelle étape : celle des expéditions savantes. La soif d'or et d'épices cède la place à celle des sciences, la botanique et la géographie sont les nouveaux enjeux de voyages au long cours. Objectif : découvrir l'intégralité de notre Terre, en passant par les

voies de communication naturelles que sont les mers et les fleuves. La fin du XIX^e siècle permet d'aborder les derniers espaces vierges : les régions polaires.

L'exploration continue

Après les découvertes « de surface », le XX^e siècle sera celui des missions sous-marines. Le scaphandre autonome est inventé en 1943 ; et en 1960, le point le plus profond de notre planète est atteint par le submersible *Trieste*, dans la fosse des Mariannes à l'ouest des Philippines : - 10 916 m...



Le Nautilus, sous-marin habité de l'Ifremer, peut observer et expérimenter jusqu'à 6 000 m de profondeur.

Si les profondeurs des océans restent encore aujourd'hui en grande partie à explorer, notre « planète mer » est depuis une trentaine d'années bien surveillée par l'intermédiaire des images satellites...

Au milieu du XVIII^e siècle, le sextant est utilisé pour évaluer l'altitude d'une étoile, qui donne la latitude (position nord-sud). Associé à l'horloge marine, il permet de déterminer la longitude (position est-ouest).



CHAPITRE III

De l'eau et des hommes



Ressource inégale...

1,1 milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable, bien qu'il y ait de l'eau douce presque partout sur Terre...

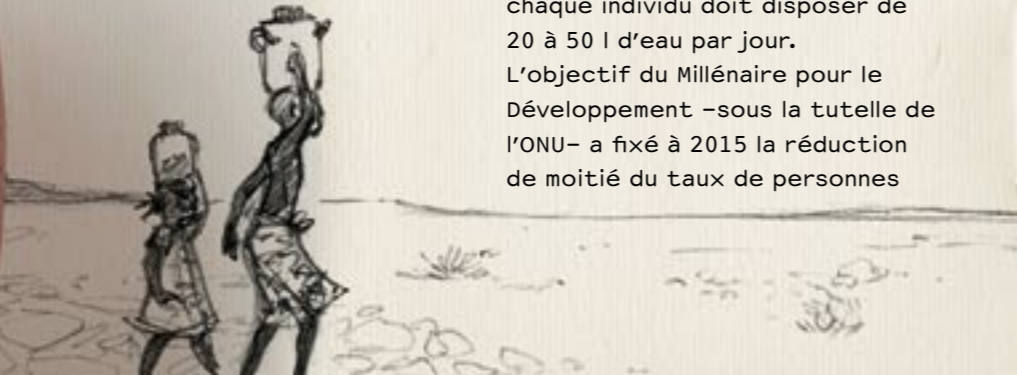
Récipient en terre cuite, conçu pour le transport de l'eau aux îles Fidji.



Pauvreté en eau
Dans le monde, 165 nations connaissent, au moins localement, des problèmes d'approvisionnement en eau. D'autre part, depuis le début du XX^e siècle, la consommation a été multipliée par sept. Avec l'augmentation de la population, les quantités d'eau douce partageables sont passées d'une moyenne de 12 900 m³ par

habitant et par an en 1970, à 6 800 m³ en 2004. Au rythme actuel de la croissance démographique et de l'évolution de la consommation, la population vivant sous le seuil de rareté absolue (soit 500 m³ par habitant et par an) approcherait alors 1,8 milliard en 2025.

La quête de l'eau
Pour assurer ses besoins vitaux, chaque individu doit disposer de 20 à 50 l d'eau par jour. L'objectif du Millénaire pour le Développement - sous la tutelle de l'ONU - a fixé à 2015 la réduction de moitié du taux de personnes



n'ayant pas accès à l'eau potable salubre et vitale.

Eau néfaste...
Eau douce ne signifie pas eau potable ou saine !
Le manque important de services d'assainissement développe de nombreuses maladies hydriques - choléra, paludisme, hépatite... - qui tuent 3 à 5 millions de personnes chaque année...

La guerre de l'eau
L'énorme disparité d'accès fait que l'approvisionnement en eau saine et utilisable se produit souvent au détriment des autres populations. Depuis le village jusqu'au continent, les causes de conflits sont multiples : exploitation d'un fleuve en amont, pollution incontrôlée, surexploitation pour l'agriculture ou l'industrie, stockage non consensuel... La prise de conscience



Le choléra, causé par la consommation d'une eau contaminée par des matières fécales, se manifeste par de forts troubles intestinaux menant parfois à une déshydratation mortelle.

globale de cette situation et l'instauration de règles strictes, appliquées au niveau mondial, sont impératives pour éviter de nouvelles guerres.



L'indice de pauvreté en eau (IPE) permet d'évaluer la situation d'un pays. Il prend en compte la répartition physique de l'eau ainsi que des variables socio-économiques.



Eau dégradée

Au cours de son trajet, l'eau s'épure de toutes sortes d'éléments. Or, avec les interventions humaines, les processus naturels de dépollution ne suffisent parfois plus.

Ces coraux sont devenus blancs avec le réchauffement des eaux. Ils meurent et seul reste leur squelette calcaire...



Pollutions de l'eau et des milieux

En Europe, le Rhin a longtemps charrié près de 4 000 tonnes de métaux lourds et environ 7 000 tonnes d'hydrocarbures chaque année, avant que des efforts importants soient consentis. Cependant à l'échelle mondiale,

environ 90 % des eaux usées urbaines sont toujours rejetées dans les fleuves, sans le moindre traitement... Le déversement d'hydrocarbures dans les océans, lors de marées noires par exemple, constitue un désastre écologique. Les espèces marines ne sont pas les seules à



Échoué sur une plage, le fioul peut rester caché des années dans le sable et réapparaître avec les mouvements des marées.

être touchées puisque les nappes atteignent quasiment toujours les côtes et leurs écosystèmes.

Eaux trop chaudes

Les récifs coralliens sont extrêmement sensibles aux variations de leurs conditions environnementales. La récente augmentation des pollutions et de la température des océans provoque ainsi le dépérissement alarmant des coraux qui, une fois morts, deviennent blancs.

Déchets abondants

L'accumulation des déchets non biodégradables dans les fleuves et les océans est un fléau pour la biodiversité. Des filets abandonnés aux microparticules toxiques, en passant par les sacs plastique que les tortues luth prennent pour des proies, les océans deviennent

LA MER D'ARAL ASSÉCHÉE

Dans les années 1960, les fleuves alimentant ce lac géant salé d'Asie centrale ont été détournés pour les besoins de l'agriculture intensive du coton. En quarante ans, sa superficie a diminué de moitié, entraînant la disparition de nombreuses espèces.

Les pesticides drainés par les fleuves ont fortement pollué ces eaux et le sol. Aujourd'hui, grâce à l'installation de digues, couplée à une réduction des prélèvements pour l'irrigation, le processus d'assèchement du lac semble reculer.

des décharges mortelles... et quasiment non nettoyables. En 2009, une mission scientifique dans l'Antarctique a mesuré le

nombre de microparticules de plastique flottant en surface : plusieurs dizaines de milliers par km²...



Bouleversements mondiaux

Le changement climatique qu'on observe aujourd'hui a des conséquences perceptibles sur la circulation de l'eau. Tour du monde des effets déjà visibles...

Alaska, péril sur Shishmaref

Cette île est située en Alaska, au nord du détroit de Béring. Le réchauffement climatique fait fondre la couche de glace sur laquelle le village est construit. Accentuée par la fonte de la banquise qui ne protège plus le village, l'érosion devient telle que les habitants sont

condamnés à déménager leur village d'ici une quinzaine d'années.

Allemagne, sentinelles en mer du Nord

Les îles Halligen sont le fruit des sédiments charriés par les marées. Mais pour les 330 habitants, y vivre est un combat perpétuel contre la mer. De 10 à 20 fois par an, au moment des grandes marées conjuguées aux tempêtes, la mer prend possession de l'archipel.

Bengladesh, le grand débordement

D'ici la fin du siècle, des millions de Bangladaïses seront contraints de quitter leur terre à cause

de la montée des eaux due au réchauffement climatique.

Chine, la colère du dragon jaune

Longbaoshan, village de 900 âmes situé à 75 kilomètres au nord-ouest de Pékin, vit au rythme des vents de sable qui emportent ses hommes



La Chine, touchée par la désertification.

en quête de travail. La Chine est l'un des pays les plus touchés par la désertification.

Maldives, un archipel à fleur d'eau

Ici, on compte 2 000 îles, dont 200 sont habitées. Loin des digues de protection de la capitale, elles sont menacées par l'érosion due à la montée des eaux. Leurs habitants seront les premiers réfugiés climatiques des Maldives.

Népal, horizons perdus

Les glaciers de l'Himalaya font partie de ceux qui se réduisent le plus vite. Cette fonte accélérée présente de multiples dangers pour les Népalais. Dans les 5 à 10 prochaines années, plus de 20 lacs glaciaires vont se gorger d'eau. Sous la pression, les barrages naturels vont rompre...

Nouvelle-Orléans, l'adieu à Big Easy

Le 29 août 2005, le cyclone Katrina dévaste de très nombreux quartiers de la Nouvelle-Orléans. Plus des deux tiers de ses habitants quittent la ville dans des conditions effroyables. Ils sont relogés dans tous les États-Unis et notamment à Houston où plus de 100 000 d'entre eux sont encore installés.

Tchad, marée basse sur le lac

Quatrième réserve d'eau douce d'Afrique, le lac Tchad a perdu 90 % de sa surface en un peu moins de quarante ans. Certaines années, l'affaiblissement de la mousson africaine est tel que le lac ne parvient pas aux frontières du Nigeria et du Niger, privant ces pays de leur accès à l'eau.

Tuvalu, requiem polynésien

Le réchauffement climatique menace directement l'État de Tuvalu. Si les calculs scientifiques les plus pessimistes se vérifient, ce micro-État polynésien aura disparu dans moins d'un siècle.



Tuvalu, île polynésienne menacée par la montée des eaux.



L'île de Shishmaref en Alaska.

L'eau virtuelle

Toute marchandise, alimentaire ou industrielle, nécessite une certaine quantité d'eau lors de sa fabrication.

Prise de conscience

Cette eau virtuelle, qui n'est pas forcément présente dans le produit fini, a pourtant bien été utilisée, et en quantité, lors de toutes les étapes de la chaîne de production.

Et parfois même beaucoup ! Prendre conscience de l'existence de cette eau cachée nous éclaire un peu plus sur nos modes de consommation et sur l'empreinte que nous laissons sur cette précieuse ressource...

Pour produire UNE TASSE de CAFÉ

- Il faut :
- 21 000 l d'eau pour 1 kg de café ;
 - 140 l d'eau pour 7 g de café torréfié.

Pour produire 1 KG de BŒUF

- Pour un bœuf entier, il faut :
- 1 300 kg de céréales ;
 - 7 200 kg de fourrage ;
 - 24 000 l d'eau de boisson ;
 - 7 000 l d'eau pour l'entretien.

Soit 15 500 l d'eau pour 1 kg de bœuf.

Minerai d'aluminium.

Il faut 80 l d'eau pour produire 1 kg d'acier, 1 250 l pour 1 kg d'aluminium (bien que cela n'ait pas un sens très précis) et 8 600 l pour produire une carte mémoire de six pouces.

Pour produire 1 KG de BLÉ

- Il faut :
- 1 300 l d'eau (= 12 % de l'eau totale utilisée pour les cultures agricoles).

Pour produire 1 TEE-SHIRT en COTON

- Il faut :
- 11 000 l d'eau pour 1 kg de fibre 100 % coton ;
 - 2 700 l pour les différentes étapes de fabrication d'un tee-shirt de 250 g.
- Total : 13 700 l d'eau.

Interdépendances

Les pays en pénurie d'eau n'ont pas les ressources hydriques nécessaires pour produire tous leurs biens de consommation. Ils doivent donc importer des marchandises et, par extension,

l'eau utilisée dans leur production, puisée sur les réserves du pays exportateur. Ce commerce de l'eau virtuelle est susceptible d'engendrer des déséquilibres entre nations, et être sources de tensions et de conflits.

ET ENCORE...

- Pour 1 KG de SALADE : 25 l d'eau ;
- Pour 1 KG de FROMAGE : 5 000 l d'eau ;
- Pour 1 KG de RIZ : 3 400 l d'eau ;
- Pour 125 ML de VIN : 120 l d'eau en moyenne ;
- Pour UNE VOITURE : 400 000 l d'eau en moyenne ;
- Pour LE PAPIER de ce LIVRE : 6 l d'eau environ.



Tous aquacitoyens ?

De nombreuses activités humaines génèrent aujourd'hui des gaspillages d'eau importants. Y remédier dépend de chacun d'entre nous, chacun à son échelle.

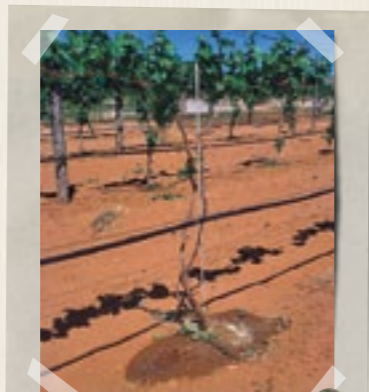
Ne pas perdre en route...

Avoir des canalisations d'approvisionnement est une nécessité pour amener de l'eau potable à tous ses citoyens... et ne pas en perdre en route ! Dans les pays latino-américains, ces pertes seraient de 40 %, et jusqu'à 60 % à Ryad, la capitale d'Arabie Saoudite, alors que cette eau est produite à grands frais par dessalement...

Les solutions existent pourtant : en surveillant ses canalisations, entre 1975 et 1998, la ville de Québec a réduit d'un tiers ses pertes.

Irrigation = évaporation...

Principale utilisatrice d'eau, l'activité agricole pourrait économiser environ 60 % de sa consommation si l'arrosage ne se faisait pas par écoulement. La majeure partie de l'eau, ainsi



Dans le désert du Néguev, la micro-irrigation permet des cultures sobres en eau.

déversée, s'évapore ou s'infiltré sans abreuver les plantes.

Des systèmes d'arrosage par aspersion permettent de réduire 30 % à 50 % d'eau.

Mieux encore : la micro-irrigation, qui apporte l'eau goutte à goutte au pied des plantes, est si efficace qu'elle permet des cultures jusque dans les déserts.

Chacun à son échelle...

Si la consommation des particuliers ne représente que 8 % de toute l'eau utilisée en France, il n'en est pas moins sûr que chacun à son échelle peut agir pour réduire sa



consommation... et faire des économies importantes, qui peuvent atteindre 40 %.

Gestes simples et efficaces

■ une vérification régulière du compteur permet de détecter d'éventuelles fuites ;

■ une douchette économe diminue le volume d'eau utilisé ;

■ une chasse d'eau à double commande évite la « perte » de 12 l à chaque usage ;

■ un réducteur de débit placé sur les becs des robinets permet d'échapper aux éclaboussures inutiles... ;

■ remplacer les anciens lave-linge et lave-vaisselle par des modèles récents économes en eau et en énergie ;

■ récupérer l'eau de pluie pour arroser son jardin et laver sa voiture est simple et gratuit ;

■ arroser le soir, directement au pied des plantes.

CHOIX ALIMENTAIRES

En considérant l'eau virtuelle, il faut en moyenne 3 000 l pour produire l'alimentation quotidienne d'un individu. Mais un végétarien nécessitera 1 500 l d'eau pour sa ration journalière, alors qu'un amateur de viande, particulièrement si elle est rouge, consommera 4 000 l.

Et demain ?

Nous serons 9 milliards d'individus d'ici 2050.

Il est temps de réfléchir à notre rapport à l'eau, pour le construire plus riche...
quitte à rêver un peu.

Mieux gérer

Avec l'augmentation de la population à venir, il est impératif de résoudre dès aujourd'hui les questions d'approvisionnement en eau potable, d'irrigation des cultures et de sécurité alimentaire. Tout cela passe d'abord par une bonne gestion des ressources existantes ; des solutions peuvent aussi venir de nouvelles « sources »...

Trouver d'autres idées

■ Dessaler l'eau de mer : idéale dans les régions arides ou pour les îles éloignées des côtes, cette solution est déjà mise en pratique dans plusieurs pays du Moyen-Orient, ou sur l'archipel des Canaries.

■ Capturer l'eau douce en pleine mer : depuis l'Antiquité, les marins connaissent l'existence de sources sous-marines le long des côtes méditerranéennes.

Au large, ces résurgences d'eau terrestre, peuvent désormais être exploitées selon un procédé écologique et peu coûteux.

■ La glace, de l'eau douce à bien exploiter ? Dans les années 1970,



L'usine de désalinisation de Jebel Ali (Émirats arabes Unis), la plus grande du monde, peut produire 900 000 m³ d'eau potable par jour.

plusieurs projets de transport d'icebergs ont vu le jour ; venus d'Antarctique, ces réserves immenses d'eau douce gelées étaient jusque-là inutilisées. Mais pour des raisons techniques et de coûts, cette technique ne s'est toujours pas concrétisée.

Vivre dans les océans...

À l'avenir, l'augmentation des migrants environnementaux, liée notamment au changement climatique, pourrait poser des problèmes de disponibilité de surfaces habitables. Sachant que les océans représentent plus de 70 % de la surface de notre planète, les mondes de la science, du design ou



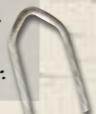
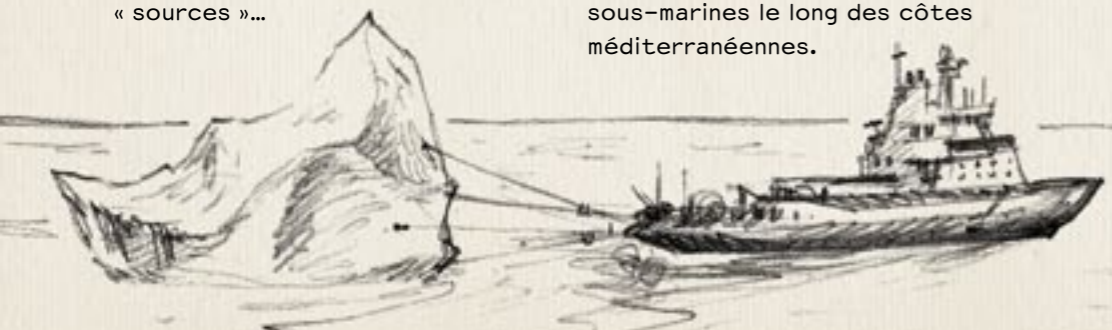
La ville flottante en forme de nénuphar géant, du projet Lylipad, habitat au bilan énergétique positif et totalement autosuffisant, pourrait accueillir 50 000 personnes.

de l'architecture y réfléchissent et proposent des alternatives innovantes, techniques et quelquefois visionnaires... Les villes flottantes, imaginées dès les années 1960, proposent des structures ancrées près des

côtes (à l'image des antiques cités lacustres...), ou encore des « vaisseaux » habités, dérivant sur les mers au gré des courants, permettant ainsi la conquête de nouveaux espaces au large. Les « aquanautes » – personnes vivant sous l'eau au moins 24h sans remonter à la surface – pourraient ainsi y vivre.



La ville sous-marine du projet Sub-Biosphere 2 est conçue pour utiliser au maximum les ressources de l'océan, en autonomie.



Une publication du Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse.

Responsable éditorial : M-D LABAILS, Muséum de Toulouse

Coordination éditoriale : R. MAILHAC, Muséum de Toulouse

Validations scientifique et révisions : J. MATRICON

Contributions institutionnelles : P. OSSELIN, M.-M. GALAUP, Collectif Argos.

Ce livre a été réalisé, pour le compte du Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse, par les Éditions Plume de carotte (Frédéric Lisak, Audrey Calvo-Guiochet, Geneviève Démereau), 28 impasse des bons amis, 31200 Toulouse. www.plumedecarotte.com.

Henri Taverner l'a corrigé. Les objets ont été photographiés par Yannick Fourié. Titwane a fait les illustrations.

Crédits photographiques :

© Fotolia : 10 d : Andrew Doran, g : Artmann Witte, 11 : Jan Will, 14 : Maxime Loskutnikov, 16 g : Reinhardt, d : Danuta Kania et Sébastien

Closs, 20 g : Siegfried Schnepf, d : Muskox, 23 : hd : Fins'n' Flukes, 31 : Quentin Jourdan, 39 : TMAX.

© Biosphoto : 19 : Densey Clyne, 23 g : Mark Conlin, 41 : Planet observer / Science Photo library.

© Smeag, Didier Taillefer, 26. © Philippe Valette : 27 b. © IFREMER 35 Eric Lacoupelle.

© AKG- Images Erich Lessing 32, g.

© Collectif Argos : 42 g : Hélène David, d : Eleonore Henry de Frahan, 43 : Laurent Weyl.

© NASA/NSSDC : images page 13.

© Library of Congress, Geography and Map Division : 34

© VINCENT CALLEBAUT ARCHITECTURES : 49

© 2010 Pauley Interactive – Phil Pauley et Pauley Interactive : 49 b

© Muséum de Toulouse – Eugène Trutat : 27 h, 30 g

© U.S. Navy photo by Mass Communication Specialist 3rd Class Dylan McCord : 30 d

Autres clichés : photothèque Plume de Carotte.

Cet ouvrage a été imprimé en janvier 2012 sur les presses de l'imprimerie Art et Caractère (Lavaur, 81), avec des encres à base d'huile végétale, et avec du papier issu de forêts gérées durablement.

Dépôt légal : février 2012, ISBN 978-2-906702-22-6



Depuis 2008, Plume de carotte est certifiée qualité environnementale ISO 14001, sur son activité de conception et de réalisation de livres.

Ainsi, tous nos livres sont conçus et fabriqués : ■ avec des papiers plus respectueux de l'environnement ■ avec des encres à base d'huile végétale

■ chez des imprimeurs situés à moins de 800 km de nos locaux et de ceux de notre distributeur.

Pour en savoir plus : www.plumedecarotte.com, rubrique « Notre ligne éditoriale ».