

Les éléments de l'hydrosphère

L'hydrosphère et les systèmes de la Terre

Cours

Cette fiche est une introduction à la partie « hydrosphère et systèmes de la Terre ». Elle inclut et souligne les idées importantes énoncées dans le syllabus et qui seront ensuite illustrées, développées dans les fiches sur les cours d'eau et l'océanographie, mais aussi dans les systèmes atmosphère, géosphère et biosphère.



La Terre est une planète entourée de deux **enveloppes fluides** : l'**atmosphère**, enveloppe gazeuse qui existe sur toutes les planètes sauf Mercure, et l'**hydrosphère**, enveloppe liquide discontinue, essentiellement constituée d'eau, et qui est l'une des originalités de la Terre « Planète Bleue ». L'eau provient du dégazage de la planète, au début de son histoire, et de la condensation qui s'est ensuivie. Elle est présente sur Terre sous ses trois états (liquide, solide, gazeux) grâce aux conditions de pression et de température qui règnent en surface, avec une température moyenne de 15°C au niveau de la mer, comprise dans la fenêtre de 0 à 100 °C (conditions d'existence de l'eau liquide à la

pression de 1 atmosphère), et avec des zones à moins de 0°C autorisant la présence de glace. Cette température moyenne est plus élevée que la température théorique d'équilibre entre l'énergie solaire incidente et le rayonnement infrarouge du globe terrestre (voir la fiche « Rayonnement » dans la partie *Atmosphère*) ; ceci est dû à l'effet de serre (lié à la présence dans l'atmosphère de gaz à effet de serre : CO₂, méthane... et vapeur d'eau !) sans lequel la Terre serait une planète gelée, incapable de porter la vie telle que nous la connaissons.

Où se répartit cette eau sur Terre ?

I - Une répartition inégale sur les continents et dans les océans

A - L'hydrosphère océanique occupe 72 % de la surface terrestre

Elle représente 97 % de l'hydrosphère, soit 360 millions de km², et 1350 millions de km³. Elle est inégalement répartie dans les deux hémisphères, selon la disposition des continents : l'hémisphère nord contient les 2/3 des terres émergées, mais la surface des océans y est quand même supérieure à celle des continents. La masse océanique mondiale est continue, mais chaque océan a ses caractéristiques propres (structure, composition, âge, origine, circulation des eaux). Une partie de l'eau des océans est gelée en surface au niveau de la **banquise** (quelques mètres d'épaisseur et de 3 à 5 millions de km², variable selon les années et les saisons).

Le niveau des océans, et donc leur surface, varie en relation avec la tectonique des plaques (volume total des dorsales océaniques) et les variations climatiques, qui jouent en particulier sur le volume d'eau immobilisé dans les glaces des **inlandsis** (les grandes calottes glaciaires sur les continents ; seuls deux existent actuellement, Groenland et Antarctique).

L'hydrosphère océanique est traitée dans les fiches concernant l'océanographie.

Les réservoirs	Les stocks (en km ³)
Océans	1 350 000 000
Eaux continentales	35 976 700
Glaciers	27 500 000
Eaux souterraines	8 200 000
Mers intérieures	105 000
Lacs d'eau douce	100 000
Humidité des sols	70 000
Rivières	1 700
Atmosphère (humidité de l'air)	13 000
Biosphère (cellules vivantes)	1 100

(d'après *L'eau*, Flammarion, 1995)

B- L'hydrosphère continentale est discontinue

Elle n'occupe qu'une petite partie de la **surface** des continents, sous forme d'eau de ruissellement, eau des rivières, mares, lacs, étangs, ainsi que de la glace des **inlandsis** (plusieurs milliers de mètres d'épaisseur de glace posée sur le continent) et des **glaciers** de montagne.

Par ailleurs, il existe des **eaux souterraines**, dont la disposition dépend des couches géologiques et de leurs propriétés (roches perméables ou imperméables, poreuses).

Ces différents éléments peuvent être partiellement en relation, formant des réseaux hydrographiques, mais globalement, la répartition de l'hydrosphère continentale n'est pas continue.

Enfin, la répartition de ces eaux dépend des climats, des saisons, de la météo, de la topographie... Entre abondance et rareté, d'une **disponibilité très variable**, l'eau constitue donc pour l'Homme et tous les êtres vivants une **ressource inégalement répartie** selon les pays et les régions. La gestion de l'eau est au cœur de nombreuses questions de développement durable.

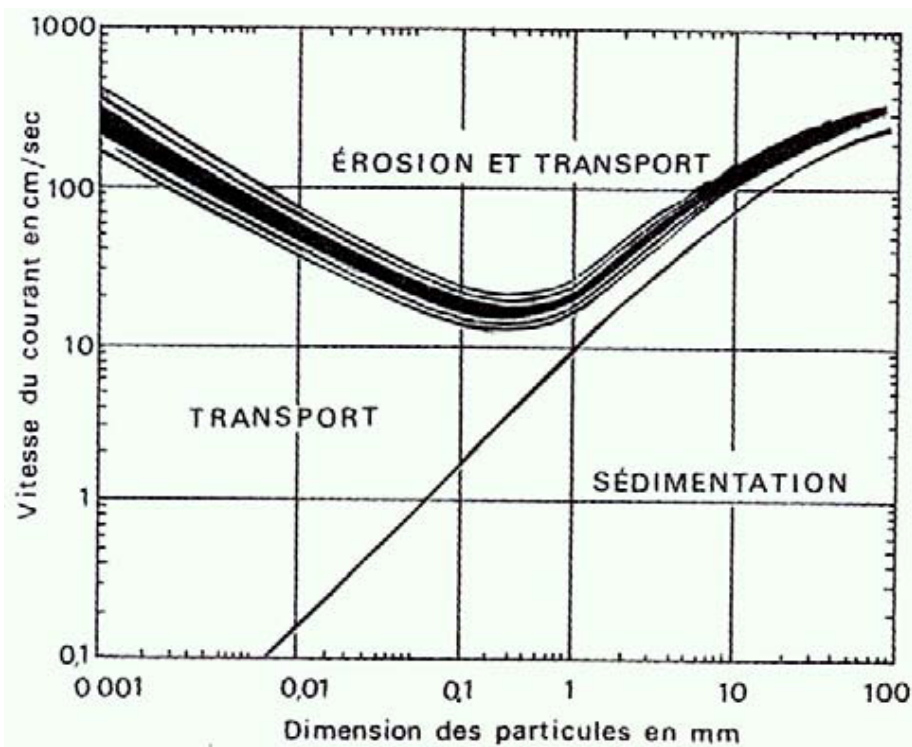
II- Une composition différente selon la localisation de l'eau

A-L'eau est une phase de dispersion

Des molécules assez petites et hydrophiles peuvent s'intégrer dans le réseau des molécules d'eau **sous forme dissoute**. C'est en particulier le cas des ions minéraux comme Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, invisibles au microscope. La quantité de molécules dissoutes est limitée par la saturation de la solution. A saturation, les éléments précipitent (c'est-à-dire donnent des formes solides) comme le « sel » (halite : NaCl). Les éléments en solution modifient les propriétés de l'eau : température de solidification (l'eau salée gèle à -1,9°C à la salinité moyenne de 35 g/l), densité, etc. (voir les fiches « Salinité » et « Propriétés physiques de l'eau »).

Par ailleurs, l'eau peut porter des particules figurées de plus grande taille (minéraux, fragments de roche) en suspension : c'est la **charge solide** ; il peut aussi s'agir d'êtres vivants, unicellulaires (comme les foraminifères, les radiolaires) ou pluricellulaires microscopiques ou de grande taille.

Les éléments sont mis en suspension ou sédimentent en fonction de différents facteurs : densité relative, agitation de l'eau, vitesse du courant (*voir fiches sur la sédimentation*).



Le diagramme de Hjulström : comportement des particules en fonction de leur taille et de la vitesse du courant (voir son utilisation dans la fiche « Origine des roches sédimentaires »)

B- La composition de l'eau dépend du cadre géologique et peut évoluer

Ce que contient l'eau dépend de son origine, du cadre géologique dans lequel elle a circulé et de son histoire.

Sur les **continents**, les eaux de ruissellements et les eaux d'infiltration se chargent au contact des roches des produits de la dissolution et de l'altération des roches. Leur contenu dépend donc de la composition des couches géologiques parcourues, mais aussi du climat qui contrôle le type d'altération, ou la vitesse de dissolution. La composition évolue le long du trajet.

Ces eaux alimentent les rivières. Elles sont en général peu minéralisées (**eaux « douces »**), en relation avec un renouvellement rapide de ces eaux, lié au cycle de l'eau.

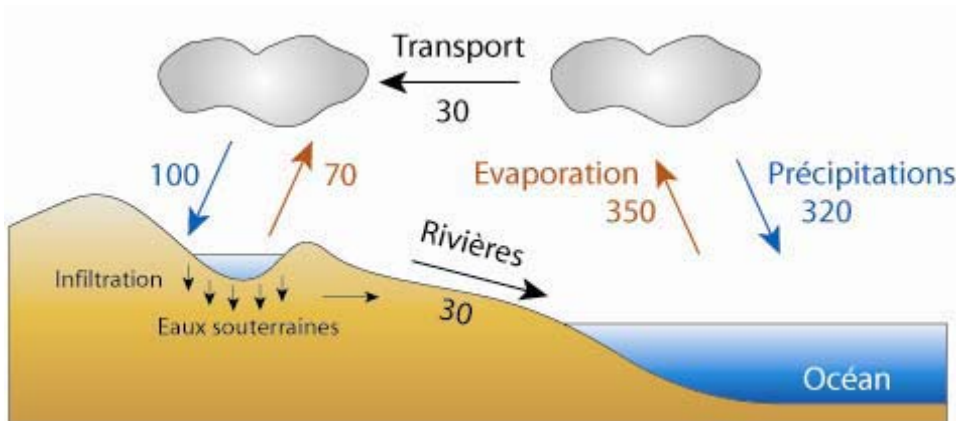
Par contre, les **océans** ont une **forte salinité** (35 g.l⁻¹) (voir la fiche du même nom). On supposait autrefois que l'hydrosphère initiale de la Terre était douce, et que la salinité que l'on constate actuellement est due au lessivage des continents. La composition de l'eau de mer aurait évolué progressivement, les ions s'accumulant dans les océans, alors que l'eau s'évapore sans les éléments minéraux qu'elle contient, est recyclée et retourne sur les continents par condensation (pluie, neige...) sous forme non minéralisée. Pour la majorité des scientifiques aujourd'hui, la salinité serait plutôt originelle, contemporaine du dégazage du manteau qui a conduit à la formation de l'atmosphère et de l'hydrosphère. Lors de la phase de différenciation de la planète, les différentes assises ont été lessivées, conduisant d'emblée à une forte salinité. Les océans auraient ensuite peu évolué, les entrées d'ions (eaux « douces » et circulation hydrothermale) étant compensées par les sorties (précipitations).

Cependant, ce type d'évolution correspond surtout aux régions humides, où de ruisseau en rivière et de rivière en fleuve, les eaux atteignent l'océan : les cours d'eau sont permanents dans ces **bassins exoréiques** (tournés vers l'extérieur, c'est-à-dire sur l'océan). Dans les pays semi-arides, où les écoulements sont temporaires, et quand la topographie empêche les cours d'eau d'atteindre la mer, les cours d'eau restent dans un **bassin endoréique**, où les eaux continentales peuvent être salées (cf le « grand lac salé » près de Salt Lake City), et permettre, si elles atteignent la saturation, le dépôt de roches salines (voir la fiche « Origine des roches sédimentaires »).

III- L'hydrosphère, une enveloppe fluide en mouvement

A-Sur les continents, une circulation liée au cycle de l'eau et aux propriétés de l'eau

L'eau peut changer d'état. En particulier, grâce à l'énergie solaire, elle peut s'évaporer et charger l'atmosphère. Cette **évaporation**, qui peut se produire sur toute interface air/eau (atmosphère/hydrosphère), est particulièrement importante au niveau des océans (à cause de leur surface) et dans les régions chaudes. Les végétaux terrestres participent de façon très importante au retour de l'eau dans l'atmosphère, les feuilles constituant une immense surface d'échanges : c'est l'**évapotranspiration**.



Cycle de l'eau : flux indiqués en milliers de km³ par an.

En relation avec les mouvements atmosphériques, la vapeur d'eau, ou l'eau condensée dans les nuages, se déplace ; elle retombe sous forme de pluies ou de neige, grâce à la gravité, en partie sur les continents. Toujours avec la gravité comme moteur, et grâce à sa fluidité, elle s'infiltré dans les sols, et les roches perméables, ou ruisselle en surface si le sol est imperméable (riche en argile, déjà gorgé d'eau) ou si la pluie est trop violente, ne laissant pas le temps nécessaire à l'infiltration.

Les eaux circulent toujours vers les points bas, entraînant avec elles les éléments en solution ou en suspension. Elles tendent à se regrouper en rivière et, si la topographie le permet, elles circulent jusqu'aux océans. L'ensemble des aires alimentant un cours d'eau constitue son **bassin versant** (voir les principaux bassins versants européens ci-contre). La limite entre deux bassins versants est appelée **ligne de partage des eaux** ; elle correspond le plus souvent à une crête (cf. fiche « Morphologie des cours d'eau »).



B- Dans les océans les courants océaniques

Les océans sont parcourus par des courants qui trouvent leur origine dans les interactions avec l'atmosphère, et dans les variations de densité des eaux (les eaux plus froides et plus salées sont plus denses et tendent à couler...). Ces aspects seront détaillés dans les fiches sur les océans.

IV- L'hydrosphère interagit avec les autres systèmes terrestres

A – interactions entre hydrosphère et géosphère

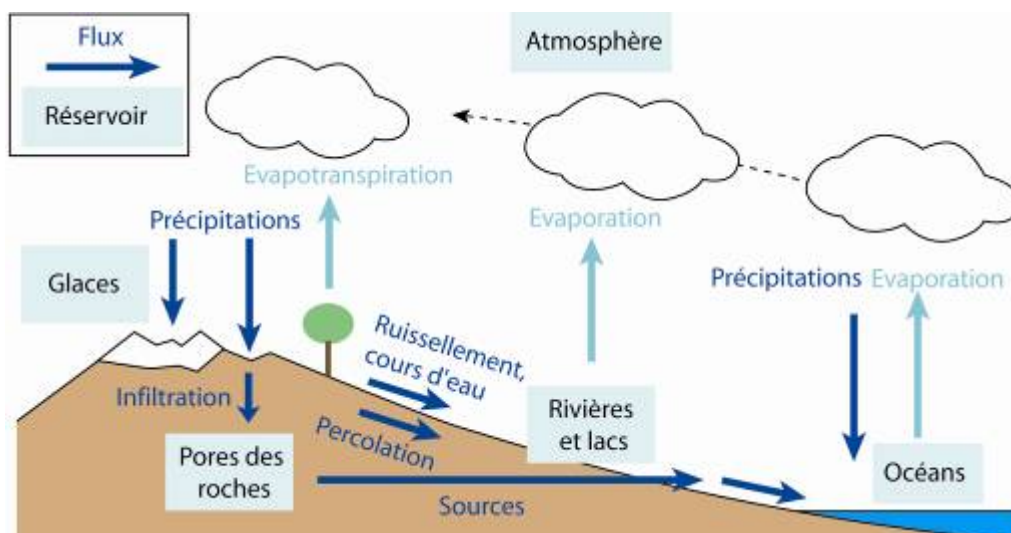
- **la géosphère conditionne la composition et la circulation de l'eau** : comme nous l'avons vu, la composition de l'eau de l'hydrosphère dépend de la composition des roches en contact avec elle lors de sa circulation, la disponibilité de l'eau dépend quant à elle des structures géologiques (associations de roches aux propriétés différentes, plis, failles) qui conditionnent les possibilités de circulation ou de rétention de l'eau. Des processus géologiques comme les séismes peuvent provoquer des mouvements de l'hydrosphère comme les **tsunamis**.

- **l'hydrosphère intervient dans des processus géologiques** : l'eau de l'hydrosphère participe à de nombreux processus géologiques par ses propriétés physico-chimiques et sa circulation. Elle intervient par exemple dans les processus **d'altération et de dissolution** des roches, dans les phénomènes **d'érosion, de transport et de sédimentation**. Par ses changements d'états (vaporisation, condensation, solidification) et leur participation au cycle de l'eau, elle conditionne aussi le **niveau des mers** en relation avec le volume des inlandsis. Les milieux aquatiques - qui se trouvent toujours dans des zones relativement basses puisque l'eau s'y accumule par gravité - sont aussi un **lieu d'accumulation de sédiments**, qui déterminent les caractéristiques lithologiques et paléontologiques des formations sédimentaires.

Or la répartition de l'hydrosphère étant très inégale à la surface de la Terre, les processus géologiques sont très marqués par la disponibilité locale de l'eau, qui dépend elle-même de différents facteurs (climat, topographie, végétation) ...

B- Hydrosphère et atmosphère

- **hydrosphère et atmosphère sont impliquées ensemble dans le cycle de l'eau** en relation avec les changements d'état de l'eau. Les processus et phénomènes atmosphériques influent sur la dispersion de l'eau et la forme, la fréquence, l'abondance des précipitations, sur les climats et les saisons avec des conséquences sur la géosphère, en particulier au niveau des formes d'altération et de l'érosion.



Le cycle de l'eau (SaE)

- les **circulations océaniques et atmosphériques sont couplées** : les circulations océaniques sont conditionnées en partie par les mouvements atmosphériques, de façon continue ou catastrophique (comme dans les ouragans). Inversement, ces circulations de l'hydrosphère ont-elles-même des conséquences sur des phénomènes météorologiques (*phénomène El Nino*).

C- Hydrosphère, biosphère et impact des actions humaines

- L'hydrosphère fournit des **milieux de vie aquatiques** où vivent des êtres vivants de la biosphère adaptés à des conditions physico-chimiques diversifiées (salinité, courants, températures...).

- Par ailleurs, quels que soient les milieux, **l'eau est une ressource indispensable à la vie**. La **disponibilité de l'eau**, problème crucial en milieu aérien, conditionne la répartition des êtres vivants, dont l'Homme. Elle dépend de facteurs atmosphériques (précipitations), géologiques (taille et répartition des continents sur le globe, composition des sols et roches, fracturation des roches, perméabilité, porosité, infiltration, ruissellement, circulation et rétention de l'eau), biosphériques (composition du sol, nature et abondance de la végétation). Le manque d'eau limite considérablement le développement de la biosphère (zones arides désertiques).

- Inversement, l'excès d'eau peut aussi nuire au développement de la biosphère : c'est le cas lors d'**inondations**, qui dépendent de conditions atmosphériques, mais aussi du contexte géologique et de l'action humaine : par exemple, lors de précipitations abondantes, les surfaces bétonnées ou bituminées, toujours plus étendues, empêchent l'infiltration de l'eau dans les sols, processus qui joue un rôle régulateur. Les eaux ruissellent alors rapidement en surface, avec des conséquences catastrophiques sur la biosphère et la géosphère (érosion).

- Les **végétaux limitent l'impact érosif** des pluies d'orage, dont les eaux n'ont pas le temps de s'infiltrer et ruissellent. La répartition des végétaux dépend elle-même de l'abondance des précipitations et de leur répartition sur l'année. Par ailleurs, l'Homme, en contrôlant la végétation, conditionne indirectement l'impact de l'hydrosphère sur la géosphère. Par exemple, la déforestation en milieu équatorial a souvent des conséquences catastrophiques : érosion des sols, formation d'une croûte latéritique stérile, coulées de boues...

- **L'Homme peut aussi modifier la répartition et la circulation de l'hydrosphère** par la construction de plans d'eau, de canaux artificiels, de digues, de barrages... Toutes ces actions ont des conséquences sur la géosphère. Par exemple, les barrages diminuent la vitesse du courant en amont, d'où une sédimentation, tandis qu'en aval, la circulation de substances dissoutes est privilégiée. L'abondance des barrages, véritable pièges à sédiments, a provoqué un changement du type de sédimentation sur les plateaux continentaux océaniques où arrivent les fleuves ; la baisse de l'apport d'éléments en suspension, à l'origine d'une sédimentation détritique, est une des causes avérées du recul des rivages.

- **L'Homme peut aussi agir sur la composition chimique de l'hydrosphère** par ses activités, entre autre par la pollution. Par exemple, les engrais (nitrates), lessivés par les eaux d'infiltration, chargent les eaux des rivières et des côtes, modifiant les équilibres des écosystèmes (développement des algues vertes sur le littoral, eutrophisation des lacs). Par exemple, le méthylmercure, issu de l'industrie, enrichit les eaux marines ; la concentration dans les chaînes alimentaires de ces substances conduit à des catastrophes biologiques (maladie de Minamata au Japon dans les populations se nourrissant de poissons contaminés).

- Nous avons donc vu que l'Homme agit sur la répartition et la composition de l'hydrosphère Or la **quantité d'eau disponible pour la consommation humaine est globalement limitée, et localement très variable**. Des actions incontrôlées peuvent conduire à des dommages irréversibles à l'échelle de temps de la vie humaine : désertifications, eaux

impropres à la consommation ou à la vie. Ces dommages pourraient être contournés par des processus d'adaptation de la biosphère, mais ils demandent beaucoup plus de temps et sont aléatoires.

Toute activité humaine doit donc être suivie avec des études d'impact sur les caractéristiques des différents systèmes de la Terre (hydrosphère, atmosphère, géosphère et biosphère), et les conséquences environnementales envisagées doivent être modulées dans le cadre d'un développement durable (« *sustainable* »).

Il apparaît donc que le système Hydrosphère est totalement imbriqué avec les autres systèmes terrestres. Toute modification de l'un entraîne des variations dans les autres, et donc dans l'environnement humain. L'Homme lui-même est un acteur dans ces processus, et peut être responsable de problèmes environnementaux. Il s'agit donc d'identifier ces problèmes et de proposer des solutions. Cette démarche passe par une bonne compréhension des systèmes terrestres : dans cette partie, nous étudierons plus particulièrement l'hydrosphère et surtout les océans, en raison de leur volume majoritaire dans l'hydrosphère et des liens prédominants avec l'Homme.