

## Partie 2 : L'Hydrosphère

L'eau est composée de 2 éléments chimiques (?) H et O. Soit 2 atomes d'hydrogène et 1 oxygène :  $H_2O$ .

H est très abondant dans l'univers : élément primordial.

L'oxygène est créé au cœur des étoiles par nucléosynthèse. La molécule d'eau est fréquemment observée dans l'univers.

### I L'origine de l'eau terrestre.

Les analyses isotopiques montrent que l'essentiel de l'eau sur Terre provient du bombardement des comètes et des micrométéorites (chondrites carbonées, constituées de poussières collées aux molécules d'eau) et du dégazage interne autour de 4.5 Ga.

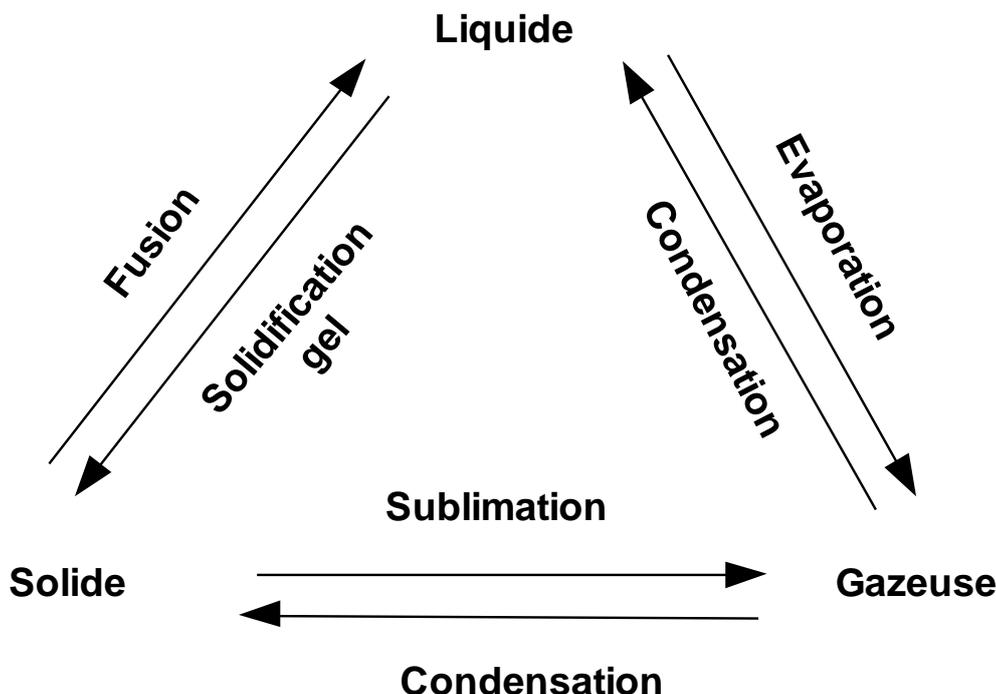
A 4.2 Ga, le refroidissement de la surface terrestre entraîne la condensation de la vapeur d'eau de la protoatmosphère et la création d'un proto-océan. L'océan ne deviendra "habitable" qu'à 4 milliards d'a.

Les comètes proviennent de la ceinture de Kuiper (entre 30 et 55 UA (150 million de km, soleil terre)) et du nuage d'Oort (20 000 à 100 000 UA)). **Diapo 2**

### II-Les phases et changements de phases

Sous quelles formes la rencontre-t-on (?). On parlera de phases.

Phase liquide, solide, gazeuse. **Diapo 3** (après schéma au tableau)



### III Les réserves

Le stock total d'eau sur Terre est à peu près constant (en fait on estime la perte en eau à 3 m en 4 Ga par radiations solaires). **Diapo 4**

A la surface du globe il y a 97% d'eau salée et 3% d'eau douce. Les sels proviennent de la décomposition des roches, notamment Na, Mg, Cl etc. L'eau salée contient en moyenne 35 g/l de sels dissous.

L'eau se regroupe dans deux réservoirs principaux :

- L'eau des réservoirs profonds, dans la croûte et manteau : 393 million km<sup>3</sup>
- L'eau des réservoirs de surface (croûte superficielle et atmosphère) : 1720 millions km<sup>3</sup>

**Diapo 5**

Réservoir	Ensemble (%)	Eau douce (%)
Océans	97,1	0
Glaces	1,7	59,9
Eaux souterraines très superficielles	1,2	39,9
Eaux de surface	0,01	0,2
Atmosphère	0,001	0,3
Eau biologique	0,0001	0,003

-Les océans représentent 71 % de la surface du globe

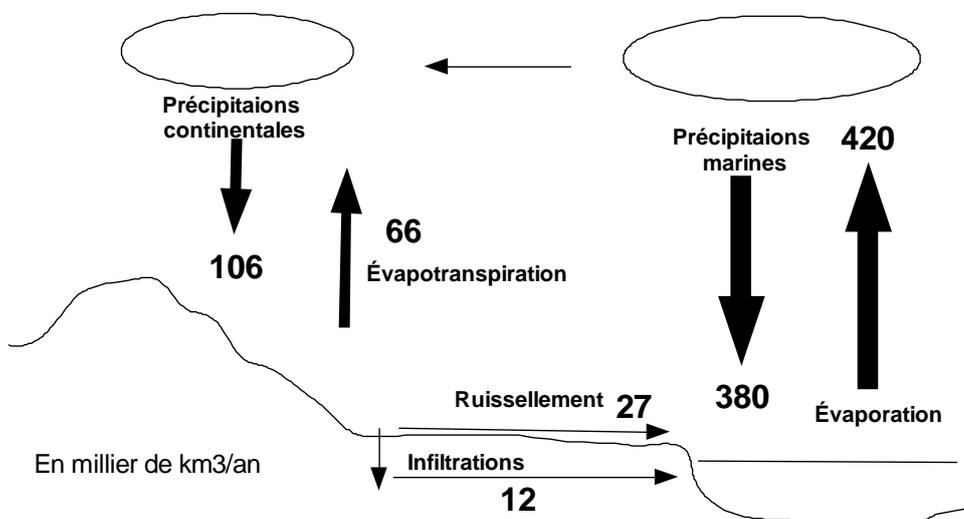
-Les réserves d'eau douce représentent environ 36 millions de km<sup>3</sup>.

Faire révision km<sup>3</sup> en m<sup>3</sup> etc... 1km<sup>3</sup> donne 1 000 000 000 m<sup>3</sup>. Faire m<sup>3</sup> en litre.

**IV le cycle de l'eau**

Les philosophes grecs se sont posé la question : pourquoi les océans ne débordent-ils pas (?) Ils pensaient qu'un souterrain les remontait aux sources (mais pourquoi elles n'étaient plus salées?). Les romains pensaient que l'eau s'écoulait au bord du monde.

**Diapo 6 (après schéma au tableau)**



## V La circulation océanique générale

La circulation océanique est en lien avec la géodynamique des continents. La circulation telle que nous la connaissons aujourd'hui est d'acquisition récente. Il existe des périodes au cours de l'histoire du globe pendant lesquelles la répartition des masses continentales a entraîné des changements majeurs dans les circulations océaniques. **Diapo 7**

De plus, au travers de processus de condensation et d'évaporation (changements de phases), les masses d'eaux océaniques ont un impact majeur sur le climat. Il existe un couplage mécanique entre l'océan et l'atmosphère par l'intermédiaire des vents.

L'océan régule le climat et les changements dus à la dérive des continents modifient par conséquent la dynamique des climats et les processus géologiques de surface qui lui sont liés (érosion, altération, sédimentation carbonatée, de la matière organique...).

Il y a en gros 2 types de circulation océanique :

La circulation thermohaline

Les grands courants de "surface".

### 1-La circulation thermohaline

De thermo température et haline sel.

Le moteur de cette circulation est la différence de densité entre les masses d'eau.

Une **froide et salée** va naturellement **plonger**, une eau **chaude moins salée** va **remonter** à la surface. **Diapo 8**

Les eaux chaudes circulent à la surface, les eaux froides dans les fonds océaniques

Dans l'Atlantique Nord, la prise des glaces de mer favorise le refroidissement et la sursalure des eaux de surface (la glace est dessalée) et le plongement des eaux, qui alimentent la circulation thermohaline de l'océan profond. Ces courants sont déviés par la **force de Coriolis** (faire rappel).

Ce type de circulation est **fortement discutée** par certains, pensant qu'elle n'existe pas.

### 2- Les grands courants de surface

Le mouvement des masses d'air met en mouvement par friction les masses d'eaux océaniques. En général, les circulations océaniques de surface sont donc similaires à celles des masses d'air. Par exemple :

-Le Gulf Stream, qui permet à l'Europe océanique d'avoir un climat tempéré. **Diapo 9**

-Les alizées NE : courant nord équatorial, SE : sud équatorial. **Diapo 10**

Ces courants sont déviés par la **force de Coriolis** (faire rappel).

L'ensemble de ces déplacements des masses d'eau joue un rôle central dans la régulation thermique du climat terrestre.

## **VI Les glaciations, l'insolation et le niveau eustatique**

De façon schématique 3 grands paramètres conditionnent les variations du climat à grande échelle, suivant la théorie de Milutin Milankovič. :

- La précession des équinoxes
- L'obliquité
- La variation de l'orbite terrestre

### **1- La précession des équinoxes**

L'axe de rotation de la Terre qui est incliné de  $23,27^\circ$  (alternance des saisons). Mais son axe varie au cours du temps en décrivant un cône : les saisons se déplacent sur l'orbite terrestre.

La périodicité de la précession est de 25 000 ans (pour décrire le cône). **Diapo 11**

### **2- L'obliquité**

L'axe de rotation de la Terre est actuellement incliné de  $23^\circ 27'$ . Mais elle varie entre  $21^\circ 59'$  et  $24^\circ 50'$ . Cette fluctuation agit sur la répartition de l'énergie reçue aux différentes latitudes suivant les saisons.

Plus l'axe est incliné, plus les étés sont chauds, en particulier aux hautes latitudes où les jours sont longs (fonte des calottes). Inversement, moins il est incliné, plus les étés sont frais (glaciation). La période est de 41000 années.

### **3-La variation de l'orbite terrestre**

La masse du Soleil commande le mouvement de la Terre dans l'espace, mais la présence des autres planètes (surtout Jupiter) du Système Solaire perturbe ce mouvement et entraîne des variations de l'orbite de la Terre, modifiant l'excentricité de l'orbite. Il y a une période de 400 000 ans et une de 100 000 ans.

### **4-Les conséquences**

Ces variations ont une influence majeure sur le climat mondial.

Très tôt dans l'histoire de la Terre une alternance de périodes glaciaire et interglaciaires rythme le climat. **Diapo 12**

Durant le quaternaire, l'étude de ces cycles devient de plus en plus précise. **Diapo 13**

Ces épisodes agissent sur les circulations océaniques en **stoppant la circulation thermohaline**, (froid au nord, chaud au sud) et le niveau général des océans : **le niveau eustatique**.

La dernière glaciation du quaternaire était à son maximum il y a -18000 ans. Le niveau eustatique était à l'époque à -120m **Diapo 14**, modifiant le contour des continents que nous connaissons, établissant des ponts entre Asie et Amérique, Australie et Tasmanie. **Diapo 15**

Pour déterminer le niveau eustatique passé, on se base sur les paléorivages. Mais au cours du temps les domaines continentaux sont soumis à la tectonique des plaques. Celle-ci va modifier l'altitude des terres émergées. De plus, l'apparition d'une dorsale océanique par effet de volume, fait monter le niveau eustatique **Diapo 16**. Il est ainsi difficile de faire la part entre tectonique et eustatisme.

De plus lorsque les glaces envahissent le continent, celui-ci s'alourdit : il va s'enfoncer dans le manteau. Au contraire lors de la fonte, il s'allège et va remonter. C'est l'**isostasie**, qui s'ajoute ou se retranche à la variation du niveau eustatique dans la modification des traits de côtes. **Diapo 17**

## **VII Les upwellings et downwellings**

### **1-Le transport d'Ekman**

Le frottement du vent sur la surface de l'eau (pendant plusieurs semaines) induit un courant d'eau à la surface. Mais les transmissions successives des frottements fait que ce courant est en moyenne perpendiculaire au vent : à gauche dans l'hémisphère sud, à droite dans l'hémisphère nord, dû à la force de **Coriolis**. C'est le transport d'Ekman. **Diapo 18**

Si le vent souffle parallèlement à une côte, ainsi se crée-t-il un courant perpendiculaire à la rive. 2 cas se présentent : **Diapo 19**

Soit le courant va vers la terre : les eaux côtières sont chassées vers le bas, c'est le **downwelling**.

Soit le courant va vers le large : les eaux côtières sont aspirées vers le haut, c'est l'**upwelling**.

### **2-Cas des vents de terre**

Les upwellings peuvent dans certains cas être issus du frottement direct de forts vents côtiers : ils chassent les eaux de surface vers le large, celles-ci sont remplacées par des eaux profondes. **Diapo 20**

### **3-Cas de l'upwelling équatorial**

Les alizés vont provoquer un courant qui va obliquer vers le nord dans l'hémisphère nord (vers la droite) et vers le sud dans l'hémisphère sud (vers la gauche) dus à la force de Coriolis. L'écartement des eaux de la zone équatoriale provoque une remontée des eaux profondes. **Diapo 21**

Les upwellings ont une grande importance économiques, voire vivrière locale : les eaux qui remontent du fond sont très chargées en nutriments, permettant une explosion du plancton et de toute la chaîne alimentaire qui lui est associée. **Diapo 22**

### **VIII Le phénomène El Niño ou ENSO (El Niño-Southern Oscillation)**

Les côtes du Chili, du Pérou et de l'Équateur sont balayées par les alizés, qui soufflent du Sud-Est vers le Nord-Ouest. L'eau chauffée en surface s'accumule près des côtes australiennes et est remplacée par de l'eau froide profonde riche en nutriments du courant de Humbolt remontant vers le nord près des côtes ouest de l'Amérique du sud (upwelling).

#### **Diapo 23**

Près des côtes australiennes l'air chaud et humide monte et se condense en précipitations en se déplaçant vers l'est. Un air sec descend sur le Pérou et Chili. C'est une boucle convective ou **cycle de walker**.

En période El Niño, les alizés s'affaiblissent, l'eau chaude accumulée à l'ouest revient vers l'est, bloquant l'upwelling. Il pleut sur les côtes du Pérou et Chili, avec sécheresse en Australie.

Les eaux froides sont remplacées par des eaux plus chaudes pauvres en nutriments et les poissons disparaissent des côtes, affectant lourdement l'activité des pêcheurs et la faune piscivore.

Cependant, autrefois, une année El Niño pluvieuse était considérée pour l'agriculture dans ces régions comme une année d'abondance.

De par son ampleur : augmentation de température de l'ordre de 1°C des couches océaniques superficielles sur une zone large de plus de 10 000 km au niveau de l'équateur, El Niño affecte le climat mondial dans son ensemble. Lors des épisodes précédents, différents types de phénomènes ont été observés :

- déficit pluviométrique en Australie orientale, Indonésie, Inde, Afrique australe, Caraïbes, nord-est du Brésil ;
- tempêtes tropicales plus à l'est qu'à l'habitude et venant affecter la Polynésie française ;
- excédent pluviométrique sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, dans le nord de l'Argentine et en Uruguay, en Afrique de l'Est équatoriale, dans les îles du centre du Pacifique tropical et dans le sud des États-Unis pouvant entraîner inondations et glissement de terrain.

Par ailleurs, à l'échelle du globe, la température moyenne a tendance à être anormalement élevée pendant les années concernées par ces épisodes. Ce fut le cas en 1998, année qui a suivi un fort épisode El Niño.

## IX Les tsunamis

Le terme tsunami est un mot d'origine japonaise. Il est composé de tsu qui signifie le port, la baie ; et de nami, l'onde, la vague. On le traduit donc littéralement par "vague portuaire".

Ce sont les pêcheurs japonais qui l'ont nommée ainsi car, n'ayant rien observé d'anormal en haute mer, ils retrouvaient à leur retour, leur ville portuaire ravagée.

Ces vagues sont en fait une onde de gravité qui se déplacent rapidement (de 700 à 800 km/h), de grande longueur d'onde (300 à 500 km).

### 1-Les causes

Il y a 4 grandes causes aux tsunamis : **Diapo 24**

-Dans la plupart des cas recensés, les tsunamis sont provoqués par des séismes sous-marins (rupture de faille) : le niveau du plancher océanique le long d'une faille s'abaisse ou s'élève brutalement,

-Une éruption volcanique sous-marine ou proche du rivage

- Un glissement de terrain soit littoral dans la mer, soit sous-marin sur les talus continentaux (souvent déclenché par une secousse sismique)

- Un impact de météorite (improbable)

### 2-Les caractéristiques

-La hauteur de la vague est insignifiante en haute mer alors qu'elle peut atteindre rapidement plusieurs mètres près des côtes. Au large, un tsunami passe ainsi pratiquement inaperçu. 1 m de hauteur au large correspond à 10-20 m à terre, 2 m à + de 30m à terre.

-Les vagues de tsunamis se propagent en eaux profondes avec une vitesse qui peut dépasser les 900 km/h, la vitesse d'un avion. Les vagues contenant une grande quantité d'énergie, elles peuvent traverser l'océan d'un bout à l'autre. **Diapo 25**

-Ce n'est pas seulement la hauteur du tsunami qui en fait sa force destructrice mais la durée de l'élévation du niveau de l'eau et la quantité d'eau déplacée à son passage.

-La période (durée entre le passage au même endroit, de deux vagues successives) s'étire entre 10 minutes et plus d'une heure (par contre, une houle générée par le vent a une période de 10 secondes environ et une longueur d'onde de 150 m).

-La hauteur et l'impact des vagues dépendent de la configuration de la côte et du littoral. La direction de provenance des vagues à également une influence.

-On observe souvent un retrait considérable (jusqu'à 200 m horizontalement) de l'eau avant l'apparition de la première vague. Mais parfois ce n'est pas le cas.

-La première vague n'est pas forcément la plus forte, mais aucun tsunami ne se ressemble (1 à 4 vagues en moyenne).

### 3-Le mécanisme

En eaux profondes, la vitesse de la vague est très importante donc l'**énergie cinétique** (de vitesse) est très **forte** et l'**énergie potentielle** (de hauteur) **très faible**. A l'approche des côtes, la profondeur de l'eau y étant plus faible, les vagues sont ralenties.

Il se produit un **échange** entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle : la première diminue (la vitesse de propagation descend jusqu'à 30-40 km/h) et par conservation de l'énergie la seconde augmente, permettant de monter des centaines de millions de tonnes d'eau à plusieurs mètres de hauteur, jusqu'à 30 mètres parfois. **Diapo 26**

Plus le rivage sera éloigné de la source du tsunami, plus faible sera l'énergie du train de vagues au moment du déferlement. Ainsi, les vagues de tsunamis les plus élevées ont une origine proche.

Les plus grandes hauteurs de tsunami ont pu atteindre 30 mètres, voire 40 pour le tsunami déclenché par l'éruption du volcan Krakatoa (Indonésie, 1883). Le record semble appartenir au tsunami du 17 octobre 1737 dans le nord des Kouriles avec 60 m.

On notera que sur les 157 tsunamis des 20 dernières années du vingtième siècle, 138 se sont produits dans le Pacifique.

### X Les marées

Sur Terre la marée est la variation de hauteur des eaux due aux forces de gravitation de la Lune et du Soleil d'une part, et à l'inertie de rotation du système Terre-Lune d'autre part. La force gravitationnelle attire l'eau d'un côté de la Terre, la force centrifuge la chasse du côté opposé. **Diapo 27**

Lorsque le Soleil et la Lune sont alignés, les forces de marées sont amplifiées : ce sont des **marées de vives eaux**.

Si les deux sont en quadrature, leurs forces gravitationnelles se contrarient : ce sont les **marées de mortes eaux**. **Diapo 28**

Les marées affectent aussi les continents, mais elles ne dépassent pas les 30 cm.

On parle de **flux** ou **flot** pour le courant de marée montante, et de **reflux** ou **jusant** pour le courant de marée descendante. On parle de pleine mer, de basse mer et d'étale.

Sur le globe on trouve des zones à 2 pleines mer (et basses mer) par jour et des zones à 1 pleine mer. D'autres zones sont mixtes. **Diapo 29**

La différence de hauteur entre pleine et basse mer est appelée **marnage**. Celui-ci dépend de nombreux facteurs : la forme des côtes, les courants marins, la profondeur des mers, le sens du vent local etc. Les records de marnage se situent au Canada : dans la baie d'Ungava (20 m) et dans la baie de Fundy (18m). En France, c'est dans la baie du Mont-Saint-Michel en Normandie (15m). **Diapo 30**

La hauteur s'exprime en **coefficient de marée** où **20** définit la plus faible marée possible, aux alentours des solstices d'été et d'hiver (soleil loin de la Terre) et **120** définit la plus forte marée possible, aux alentours des équinoxes de printemps et d'automne (soleil dans le plan de l'équateur) (70 étant le coefficient moyen).

Les masses océaniques sont soumises à d'autres effets, habituels ou exceptionnels tels que : les courants de marées, la houle, les ondes de tempêtes, les vagues scélérates, éventuellement les mascarets...