

Extrait du Géologie et géo-tourisme

<http://jfmoyen.free.fr>

Variations géologiques du niveau de la mer

- Textes et documents pédagogiques - Fragments -

Date de mise en ligne : lundi 28 ao²006

Description :

Dans quelles limites le niveau de la mer a-t-il varé au cours des temps géologiques ?

Géologie et géo-tourisme

Texte écrit pour fsg, Avril 2004

> La superficie des terres et le volume de l'eau (solide, liquide, gazeux) > sur la Terre ont ils étaient (sont ils et seront ils) toujours constants > ou ont ils subi des variations.

Groupes... Ca c'est une question simple qui appelle des réponses complexes...

1) Le volume de l'eau.

En première approximation, tu peux en effet considérer que la masse (plutôt que le volume) totale d'eau sur terre est constante. Tu as bien des petites pertes (par photolyse $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$, puis perte par agitation thermique de H_2 dans la haute atmosphère vers l'espace), et des petits gains (arrivée de météorites glacées), mais c'est a priori négligeable en première approximation ... du moins à l'heure actuelle. On peut penser que dans les premières périodes de formation de la Terre, disons entre -4.5 et -4 Ga, le système solaire n'était pas encore bien nettoyé et pas mal de météorites arrivaient sur Terre.

Donc tu travaille à masse constante... encore faut il voir comment se répartit cette eau. Un grand classique de la géochimie, c'est que la majorité de n'importe quel élément se trouve dans le manteau. Pourquoi ? Parce que le manteau représente 82 % (de mémoire) de la masse terrestre, le noyau 17 %, et donc la croûte et le système atmosphère/hydrosphère le % restant. Même si la concentration de l'eau dans le manteau est très minime (10 à 100 ppm, à tout casser, sous forme de radicaux OH^- dans des minéraux "théoriquement anhydres"), ça représente quand même au final une masse d'eau considérable.

Selon les hypothèses sur la teneur en eau du manteau, tu arrives donc à une répartition de l'eau sur Terre de l'ordre de la moitié dans le système océan-calottes glaciaires polaires (océan 90 %, glaces 10 %), la moitié (???) dans le manteau, un poil dans la croûte (eau constitutive des minéraux comme les micas), un micropoil dans le système continental (rivières, lacs et nappes souterraines), un nanopoil dans l'atmosphère (nuages).

2) Les échanges entre réservoirs (= le cycle de l'eau)

En fait, il y a plutôt trois cycles emboîtés, qui se déroulent à des vitesses différentes.

Le plus rapide, c'est celui qu'on apprend à l'école primaire, c'est le cycle "océan-atmosphère-rivières". Il se déroule en qq jours à qq années, un petit peu plus si tu considères les stockages longs dans les lacs ou les nappes. Si tu regardes les choses à l'échelle de l'année, le volume total de l'eau impliquée dans ce cycle "rapide" ne varie pas de façon appréciable, il s'évapore autant d'eau de l'océan que les rivières n'en ramènent.

Un cycle un peu moins rapide est le cycle [océan-nuages-rivières]- calottes glaciaires. Ce cycle correspond à l'évaporation d'eau des océans qui tombent en neige aux pôles, et restent là jusqu'à ce que la calotte libère des icebergs qui fondent dans l'océan. A l'échelle de 10 à 100 000 ans, tu as des échanges entre ces deux réservoirs, qui se traduisent par des fluctuations du volume relatif des océans et des glaciers. Donc, à l'échelle de 10-100 ky, la masse totale de l'eau impliquée dans ce cycle est constante, mais sa répartition change, ce qui revient à dire que la première approximation, faite plus haut, d'un volume constant du système [océan-nuages-rivières], n'est pas

parfaitement exacte : il y a des petites "fuites" (vers, ou en provenance, des glaciers), trop faibles pour être visibles si on ne considère des périodes que de qq années, mais suffisantes pour avoir un effet en 10-100 ky. J'y reviendrais plus bas.

Enfin, le plus lent, c'est le cycle manteau-[eaux superficielles], où les eaux superficielles regroupent le système [océan-nuages-rivières] d'une part, et les glaces polaires, d'autre part. Les échanges entre ces deux réservoirs, c'est dans un sens la formation de magmas originaires du manteau (zones de subduction, en particulier, avec leurs magmas riches en eau) qui arrivent à la surface et libèrent des gaz (dont H₂O) ; dans l'autre sens, c'est la subduction de sédiments hydratés qui réinjecte de l'eau dans le manteau. De la même façon que tout à l'heure, à l'échelle de 100 Ma - 1 Ga, la masse totale d'eau sur Terre (manteau+eaux sups.) ne varie pas, mais sa répartition entre manteau et eaux sups évolue ; de la même façon encore, ces échanges sont trop faibles pour être appréciables à l'échelle de l'année ou même de 100 ky, mais sont suffisants pour avoir un effet en 0.1 - 1 Ga. En fait, ce qu'on voit au cours du temps, c'est d'abord un dégazage important du manteau (libération d'eau) dans les premières périodes de l'histoire de la Terre (4.5 - 4 Ga sans doute ? On pense que à 4.1 Ga il y avait déjà de l'eau libre sous forme liquide à la surface de la Terre, en tout cas) ; puis depuis, apparemment un équilibre entre les pertes et les apports d'eau dans le système superficiel, dont la masse globale ne semble pas avoir variée significativement depuis ... hmmm. Pas depuis 2.5 Ga en tout cas ; a-t-elle variée entre 4.0 et 2.5 Ga ? Je ne m'avancerais pas. Sans doute assez peu.

3) Le cycle "glace-eaux libres" et la surface continentale

Si on se place à l'échelle de 10-100 ky, il y a donc des variations significatives de la répartition de l'eau entre les glaces polaires d'une part, le reste du réservoir superficiel (c'est à dire principalement l'océan) d'autre part. Tu comprends aisément que plus il y a d'eau dans les océans, plus leur niveau est élevé ; en période de haut niveau marin, les océans débordent donc sur les continents, et la surface des terres émergées se réduit. Ceci correspond à des périodes chaudes : fonte des calottes glaciaires, remontée du niveau marin. A l'inverse, en période froide les calottes se forment (neige) plus vite qu'elles ne fondent (icebergs) ; leur volume augmente donc, ce qui du coup réduit le volume des océans et fait baisser leur niveau, augmentant ainsi la surface continentale émergée. On observe des traces de ces phénomènes sur toutes les côtes françaises (le dernier épisode documenté est une remontée du niveau marin, dit "transgression flandrienne"). Exemple classique, la grotte Cosquer, naguère accessible à pied sec et maintenant sous l'eau ! (Mais la, je laisse notre éminent quaternariste prendre le relai... ;-)

Quantitativement, les variations documentées sont de l'ordre de + ou - qq dizaines de mètres, 200 m au grand maximum. En fait, on peut calculer facilement que même si on fait fondre toutes les glaces des pôles, on ne fera monter le niveau de la mer que de, je crois, 200 ou 300 m (au temps pour "Waterworld"...).

Pour compliquer encore les choses, d'autres facteurs peuvent influencer le niveau de la mer : par exemple, la quantité de dorsales océaniques joue un rôle. Plus il y a de dorsales au fond des océans, moins il y a de place pour l'eau, et donc on va vers des périodes de haut niveau marin ; donc, les périodes de dispersion importante des continents (Jurassique sup. et Crétacé inf.) sont des périodes de haut niveau marin, de façon globale (même si à l'intérieur de ces périodes de haut niveau, il y a des variations à court terme, d'origine glaciaire, comme décrit plus haut) ; c'est la raison de la présence de tout ces sédiments marins et même de milieux "marins ouverts" un peu partout en France au Js et Ci.

Enfin, il peut y avoir des causes locales de variations du niveau de la mer, des causes tectoniques : un bassin d'effondrement par exemple aura, c'est évident, une altitude plus basse que ses rebords et aura tendance à former un golfe. A l'inverse, la surrection d'une chaîne de montagne contribuera à faire émerger les terres voisines (c'est le

cas de la côte méditerranéenne Française, qui globalement remonte au Quaternaire : on retrouve des plages fossiles à +50 ou +100 m près de Nice. Mais à cette remontée régulière se superposent les oscillations "glaciaires" du niveau de la mer, que j'évoquais plus haut, si bien qu'au final on observe une série d'oscillations du niveau *relatif* de la mer, chaque oscillation se finissant un peu plus bas que la précédente).

4) Et de combien ça a fluctué ?

> Ce sont ces fluctuations entre la part captive et la part libre que j'ai > en tête, à masse totale constante, donc de la répartition entre les > enveloppes, comme tu dis.

D'accord. Alors, comme souvent ça dépend de l'échelle de ce que tu regardes.

- Si tu considères les variations du cycle "intermédiaire" de mon premier message, c'est à dire glaciers «-> océan+atmosphère, elles sont assez bien contraintes au moins pour tout le quaternaire. On a des arguments géomorphologiques, qui permettent de bien retracer les variations du trait de côte ... mais tu soulignes à juste titre que le trait de côte dépend non seulement du niveau des mers, mais aussi des phénomènes tectoniques ou érosifs locaux. En revanche, on a des arguments sur la base des isotopes de l'oxygène dans les calottes glaciaires, je ne me rappelle plus des détails de la méthode ici mais admettons sans démonstration [flemme de chercher les détails, mais je suis sûr du résultat] que ce soit assez fiable pour connaître la répartition glace/océan [on peut en première approche négliger les autres réservoirs, continentaux et atmosphériques], avec une très bonne précision pour en gros le Quaternaire. En faisant le même genre de choses sur des sédiments marins, on peut avec une précision un peu moins bonne remonter plus loin dans le temps, jusqu'au Primaire il me semble, plus ou moins selon les endroits...
Bref, dans les 500 derniers Ma, ce cycle-la, et la répartition glaces/océan, est assez bien connues pour établir des courbes globales de variations du niveau de la mer, par exemple (ou des courbes d'abondance des glaces, ce qui est pareil !) qui semblent tout à fait fiables. Et qui montrent des variations de niveau de la mer n'excédant pas 200 à 300 m dans chaque sens.
- Pour le cycle long (manteau «-> océan+glaces, $T = 0.1$ à 1 Ga), les choses sont moins bien contraintes. Disons simplement que aussi loin que l'on regarde, on trouve des sédiments déposés sur des continents et dans des milieux "marins peu profonds" (c'est assez facile à reconnaître : traces de dessiccation, marques de courant, etc.). Les plus vieux connus sont en Australie et en Afrique du Sud, à 3.5 Ga ; ensuite on en a un paquet à 3.2 Ga, puis à peu près en continu depuis cette date là.
Autrement dit, depuis le début de l'histoire de la Terre, le niveau des mers était tel qu'il arrivait, plus ou moins, comme maintenant, au niveau du sol des continents : on peut donc à priori exclure des variations de grande ampleur (de l'ordre de qq kilomètres, en gros vider ou remplir entièrement un océan). En dessous, on ne sait pas ; disons que les variations du volume d'eau ne peuvent pas avoir excéder, mettons qq centaines de mètres, donc au pire + ou - 20 à 30 % du volume global. Du reste, des variations plus importantes auraient, la aussi, des effets isotopiques sans doute assez marqués.

> On a vu l'importance des dorsales et l'impact sur le niveau des océans, > comment peut-on faire la part des choses dans tout ça ? Dans le climat > actuel la moyenne des précipitations est assez stable et de l'ordre de > 3mm/m2/jour. Une tendance au réchauffement pourrait faire croître cette > moyenne par intensification de l'évaporation, mais tout ça à masse > constante, ma question est : saurait-on repérer dans l'histoire des > périodes où une majeure partie de l'eau était captive ou d'autres où la > part libre étaient nettement plus grande qu'aujourd'hui ?

Oui, cf plus haut, dans le Tertiaire et le Quaternaire on voit très bien des variations significatives du volume des

glaces. Mais ça ne joue que sur qq dizaines ou centaines de mètres de niveau de la mer, donc qq pour-cents du volume total.

Ce genre de courbes se trouvent assez facilement dans les bouquins, j'ai pas de ref sous la main mais si tu demandes à google ("relative changes of sea level" ou "eustatism", voire "Vail curves" du nom d'un des inventeurs de la chose) tu devrais trouver ton bonheur.

> Une activité > tellurique importante avec des dégazages intenses pourrait libérer des > quantités énormes d'eau, cette eau "nouvelle" aurait un impact sur > l'environnement, saurait-on en identifier univoquement la trace et que > faudra t-il pour qu'elle se retrouve à nouveau piégée dans la roche, > etc, etc ?

On repasse à l'échelle du cycle "long", la. Oui, c'est évident que des variations majeures auraient des effets notables : modification de l'effet de serre par exemple, changement sans doute des régimes d'érosion (donc de la nature des sédiments), etc. Ca, on ne le voit pas. D'un autre côté des variations plus faibles (de l'ordre de la dizaine de %) passeraient largement inaperçues dans les domaines anciens, en l'absence de bonnes courbes isotopiques du niveau de la mer.

> Du laboratoire, sait-on quelles sont (statistiquement) les capacités et > l'amplitude de la variabilité de la masse d'eau libre qu'on pourrait > attendre de tels mécanismes ?

Cycle intermédiaire : les calottes glaciaires représentent 10-20 % des océans, je crois. Donc au pire on augmente de 20% le volume océanique, soit +500 m de niveau de la mer, à la louche. Les observations laissent supposer un maxi de variation de 200-300 m, donc il y a du avoir des périodes où les calottes étaient à peu près totalement fondues.

Cycle long : ça dépend de la teneur en eau du manteau, dont on ne sait pas grand chose. Selon les hypothèses, le manteau peut contenir de 10 à 100 % de la masse d'eau contenue dans les océans, donc on peut conceptuellement doubler le niveau des océans (ou les assécher complètement). En pratique, comme je l'ai dit plus haut on ne semble pas s'être bcp écarté du niveau moyen actuel (+ ou - 500-1000 m, au pire).

> Quels sont ces mécanismes qui incorporent > la molécule H₂O au sein d'autres molécules et peut la restituer

Dans le cas du cycle long, donc ? Ce sont surtout les formations/destructions de cristaux. Dans ce genre de milieux à HP/HT, les radicaux OH⁻ ont un comportement pas fondamentalement différent de celui de bien des autres ions (enfin, si, mais pas au niveau de détail qui nous intéresse ici...).

> Le réservoir des nappes n'est qu'un tampon, une > sorte de cave à plus ou moins long terme mais n'est pas ce "réservoir > captif" dont j'aimerais bien connaître la capacité (par rapport à celui > de l'eau libre) Les nappes ? C'est tout petit, par rapport au reste. Tu trouvera les chiffres un peu partout (dans le Caron par exemple, sinon demande "cycle de l'eau" à Google) ; de mémoire les chiffres sont qq chose comme

(unités arbitraires) océans : 100
glaces polaires : 10-20
atmosphère : 0.01
eaux continentales libres : 0.1
nappes : 0.1 - 0.2

et donc manteau : ?10-100